

**Bepaling van een puntvormige thermische  
koudebrug van een doorgaande staalconstructie  
door gevels met en zonder toepassing van een  
thermische onderbreking aan de hand van  
gesimuleerde 3D koudebrugberekeningen**

**in opdracht van de onderneming Schöck Bauteile GmbH**

Dr.-Ing. M. Kuhnhenne

Aken, 1 januari 2015

<b>Inhoud</b>	<b>Pagina</b>
<b>1 Algemeen</b>	<b>3</b>
<b>2 Het warmtedoorgangscoefficiënt door transmissie bepalen</b>	<b>3</b>
<b>3 Gesimuleerde 3D berekeningen</b>	<b>4</b>
3.1 Algemeen	4
3.2 Parameters	4
3.3 Warmtegeleiding van de materialen	5
3.4 Aansluitgeometrieën	5
3.5 Bepalen van het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt	7
3.6 Bepaling van de minimale thermische isolatie ter vermijding van schimmelvorming	12
<b>4 Experimentele onderzoeken</b>	<b>14</b>
4.1 Algemeen	14
4.2 Resultaten van de experimentele onderzoeken	15
<b>5 Vergelijking meting en gesimuleerde 3D berekening</b>	<b>18</b>
5.1 Meetpunten	18
5.2 Vergelijking meting en FEM-berekening	19
5.3 Analyse van de vergelijkende berekeningen	23
<b>6 Aanvullende gesimuleerde 3D berekeningen</b>	<b>24</b>
6.1 Algemeen	24
6.2 Bepalen van het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt	25
6.3 Bepaling van de minimale thermische isolatie ter vermijding van schimmelvorming	26
<b>7 Samenvatting</b>	<b>31</b>
<b>8 Literatuur</b>	<b>31</b>

# 1 Algemeen

In het kader van dit project worden gesimuleerde 3D koudebrugberekeningen uitgevoerd voor het bepalen van een thermische koudebrug van een doorgaande staalconstructie door geïsoleerde gevels met en zonder toepassing van een thermische ontkoppeling.

Daarbij wordt onderzoek gedaan naar verschillende aansluitgeometrieën van een doorgaande stalen ligger HEA220 door de warmte-isolerende laag.

Doel van deze onderzoeken is het bepalen van het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt  $\chi$  als onderdeel van het specifieke warmtedoorgangscoefficiënt door transmissie volgens NEN EN ISO 13789, en het bepalen van de minimale thermische isolatie volgens DIN 4108-2 rondom puntvormige koudebruggen.

## 2 Het warmtedoorgangscoefficiënt door transmissie bepalen

Het bepalen van het specifieke warmtedoorgangscoefficiënt door transmissie vindt plaats conform NEN EN ISO 13789: "Het specifieke warmtedoorgangscoefficiënt door transmissie via constructiedelen die de geïsoleerde ruimte scheiden van de buitenlucht, wordt ofwel rechtstreeks berekend met behulp van numerieke methodes volgens NEN EN ISO 10211, ofwel met de volgende formule:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \Psi_k + \sum_j \chi_j$$

Daarbij is

$A_i$  het oppervlak van het constructiedeel  $i$  in de gebouwschil, in  $m^2$ ;

$U_i$  het warmtedoorgangscoefficiënt van constructiedeel  $i$  van de gebouwschil, in  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$l_k$  de lengte van de lijnvormige koudebrug  $k$ , in  $m$ ;

$\Psi_k$  het lineaire warmtedoorgangscoefficiënt, in  $W/(m \cdot K)$ , de koudebrug  $k$  volgens NEN EN ISO 14683 of berekend volgens NEN EN ISO 10211;

$\chi_j$  het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt, in  $W/K$ , de puntvormige koudebrug  $j$ , berekend volgens NEN EN ISO 10211 (puntvormige koudebruggen, die gewoonlijk deel uit maken van vlakke constructiedelen en al zijn verrekend voor het warmtedoorgangscoefficiënt, mogen hier niet worden toegevoegd)."

De verliescoefficient voor puntvormige koudebruggen  $\chi$  geeft zo het extra warmteverlies weer rondom een puntvormige koudebrug, zoals een stalen ligger die door de warmte-isolerende laag doorloopt.

### 3 Gesimuleerde 3D berekeningen

#### 3.1 Algemeen

Om te beginnen worden voor dit project de warmteverliezen rondom de doorgaande staalconstructie bepaald met behulp van gesimuleerde 3D koudebrugberekeningen volgens NEN EN ISO 10211. Aansluitend wordt het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt  $\chi$  bepaald voor diverse aansluitgeometrieën van een stalen ligger HEA220 die door de warmte-isolerende laag gaat.

Daarna wordt volgens dezelfde methode de minimale warmte-isolatie bepaald rondom puntvormige koudebruggen volgens DIN 4108-2.

#### 3.2 Parameters

##### 3.2.1 Berekening van het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt

Voor het berekenen van het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt  $\chi$  worden de volgende parameters gehanteerd:

Tabel 3.1: Parameters conform NEN EN ISO 6946

	$\theta$ [ °C ]	$R_s$ [ (m <sup>2</sup> ·K)/W ]
Binnen	20,0	0,13
Buiten	0,0	0,04

##### 3.2.2 Bepaling van de minimale thermische isolatie ter vermindering van schimmelvorming

Voor het bepalen van de minimale thermische isolatie ter vermindering van schimmelvorming worden de volgende parameters gehanteerd:

Tabel 3.2: Parameters conform DIN 4108- 2

	$\theta$ [ °C ]	$R_s$ [ (m <sup>2</sup> ·K)/W ]
Binnen	20,0	0,25
Buiten	-5,0	0,04

### 3.3 Warmtegeleiding van de materialen

Voor de gesimuleerde 3D koudebrugberekening wordt uitgegaan van de volgende materiaaleigenschappen:

Tabel 3.3: Warmtegeleiding  $\lambda$  [ W/(m.K) ]

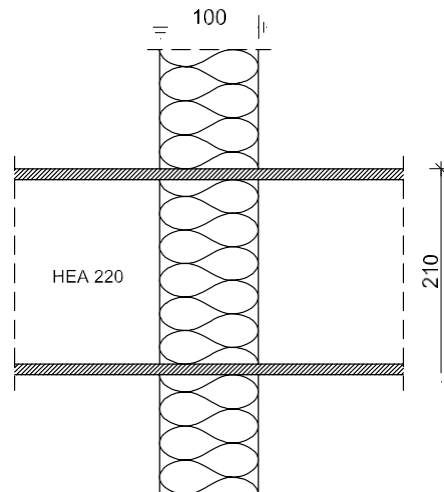
Materiaal	Warmtegeleiding $\lambda$ [ W/(m.K) ]	Bron
Staal	50,0	NEN EN ISO 10456
Roestvrij staal (materialen 1.4571, 1.4404, 1.4401)	15,0	Merkblatt 821 van de Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Elastomeer	0,23	NEN EN ISO 10456
Warmte-isolatie buitenwand	0,035	DIN 4108-4
Warmte-isolatie Isokorf	0,035	DIN 4108-4

Het berekenen van de warmtegeleiding van de luchtruimten gebeurt conform NEN EN ISO 6946.

### 3.4 Aansluitgeometrieën

#### 3.4.1 Doorgaande stalen ligger HEA220

Afbeelding 3.1 toont een doorgaande stalen ligger HEA220 door een warmte-isolerende laag van 100 mm dik (d).



Afbeelding 3.1: Doorgaande stalen ligger HEA220

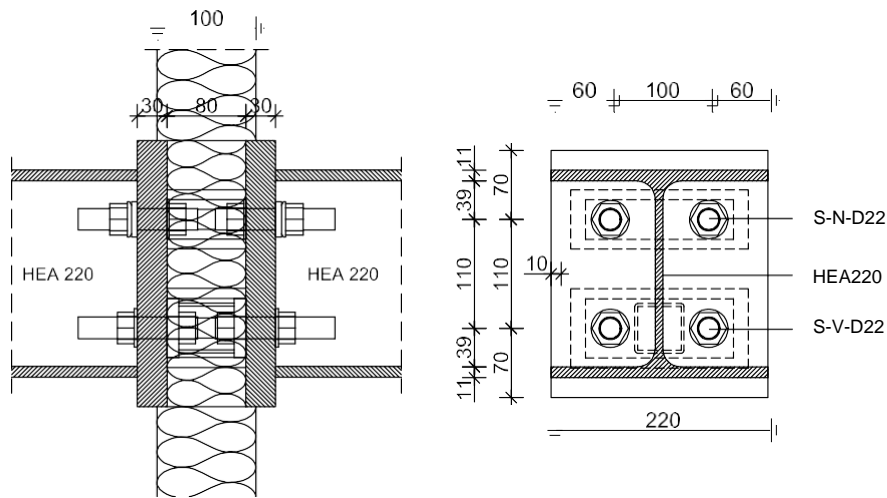
#### 3.4.2 Stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22

Schöck Isokorf T type S vormt een constructieve thermische onderbreking ter voorkoming van koudebruggen en warmteverlies bij vrij uitkragende staalconstructies en ondersteunde bouwdelen.

Dankzij het modulaire ontwerp van dit systeem wordt Isokorf T type S afgestemd op de project-specifieke eisen en het gebruikte formaat profiel. Als grondslag voor de onderstaande onderzoeken is gekozen voor het grootste basistype Isokorf T type S-D22, dat bestaat uit een S-N-D22-module en een S-V-D22-module, gecombineerd met isolerende tussenstukken.

De dikte van het isolatiemateriaal bedraagt bij de S-module 80 mm. Alle metalen constructiedelen van Schöck Isokorf T type S bestaan uit roestvrijstaal (materiaalnr. 1.4571, 1.4404, 1.4401).

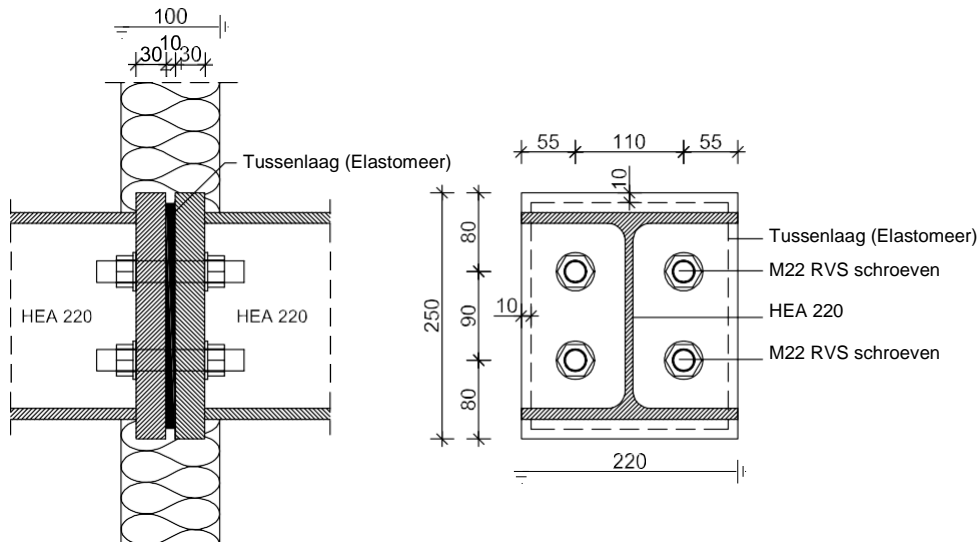
Afbeelding 3.2 toont de aansluitgeometrie van een stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22.



Afbeelding 3.2: Aansluitgeometrie stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22

### 3.4.3 Stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm) in het midden van de warmte-isolerende laag

In deze variant wordt de stalen ligger HEA220 ontkoppeld met een tussenlaag van elastomeer. Om een directe vergelijking te kunnen maken met Isokorf T type S wordt verder rekening gehouden met de aanzienlijk lagere warmtegeleiding van roestvrijstaal bij de bouten. Afbeelding 3.3 toont de geselecteerde aansluitgeometrie van een stalen ligger HEA220 met een elastomeer tussenlaag van 10 mm dik (d) in het midden van de warmte-isolerende laag.



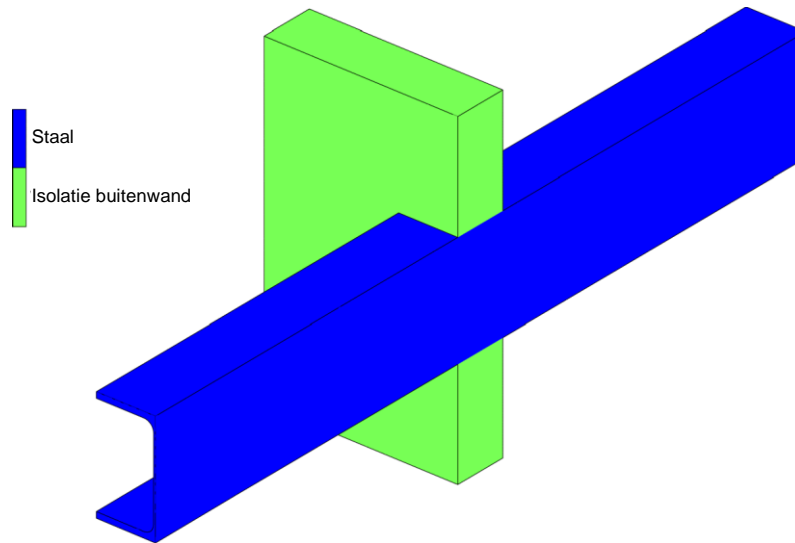
Afbeelding 3.3: Aansluitgeometrie stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm) in het midden van de warmte-isolerende laag

### 3.5 Bepalen van het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt

Aan de hand van gesimuleerde 3D koudebrugberekening wordt het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt bepaald. Daarbij worden de parameters volgens punt 3.2.1 en de materiaaleigenschappen volgens punt 3.3 aangehouden.

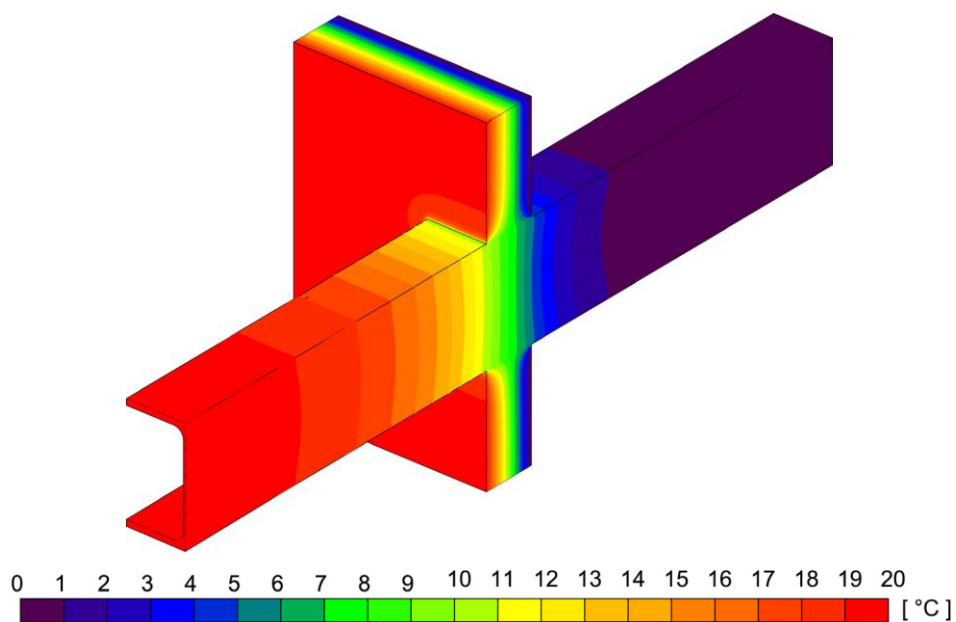
#### 3.5.1 Doorgaande stalen ligger HEA220

Afbeelding 3.4 toont het FE-model.



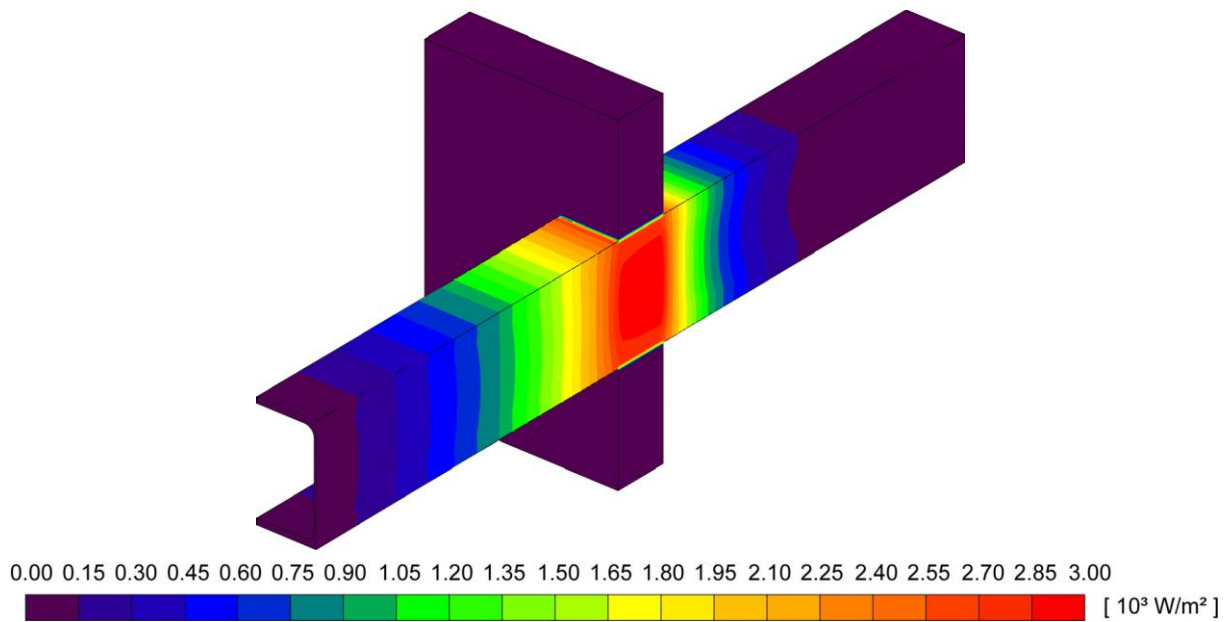
Afbeelding 3.4: FE-model HEA220

Afbeelding 3.5 toont de temperatuurverdeling volgens de numerieke berekening.



Afbeelding 3.5: Temperatuurverdeling HEA220

Afbeelding 3.6 toont de warmtestroomverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening.

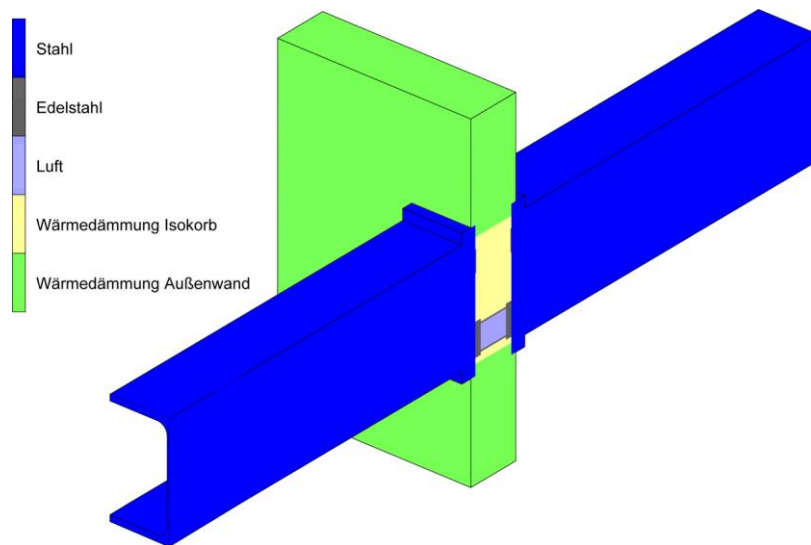


**Afbeelding 3.6: Warmtestroomverdeling HEA220**

Het puntvormig warmtedoorgangscoefficiënt voor de doorlopende stalen ligger HEA220 heeft volgens de gesimuleerde 3D berekening een waarde van  $\chi = 0,86 \text{ W/K}$  (55kW/jaar).

### 3.5.2 Stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22

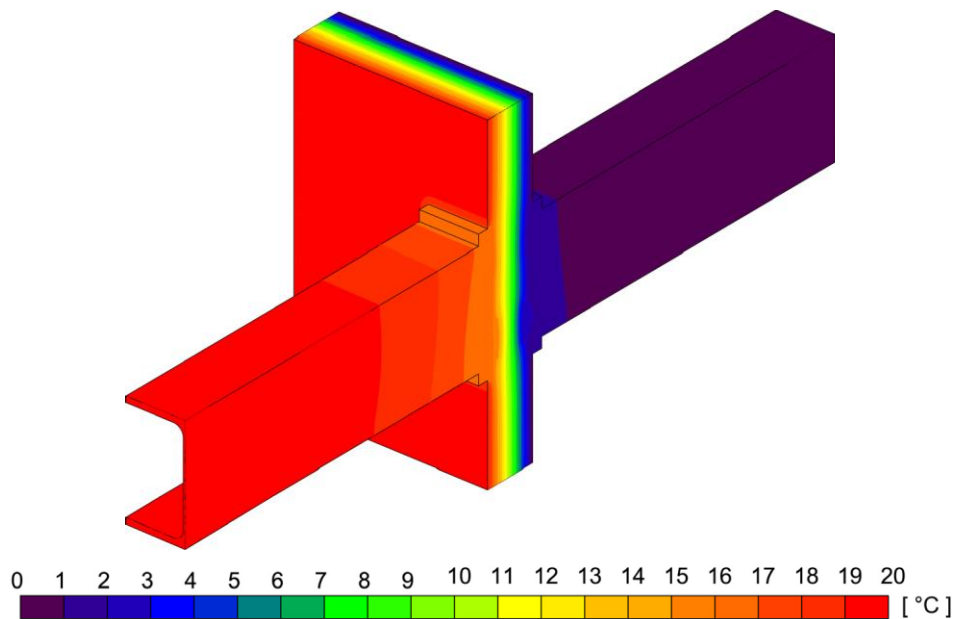
Afbeelding 3.7 toont het FE-model.



**Afbeelding 3.7: FE-model HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22**

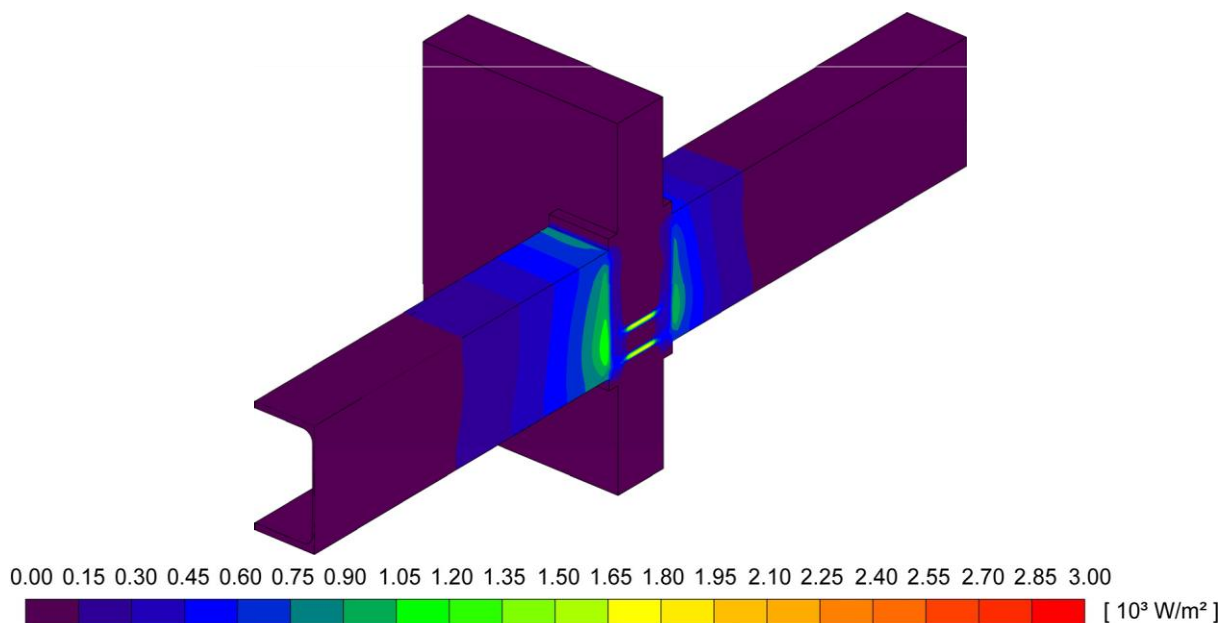


Afbeelding 3.8 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening.



**Afbeelding 3.8: Temperatuurverdeling HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22**

Afbeelding 3.9 toont de warmtestroomverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening.

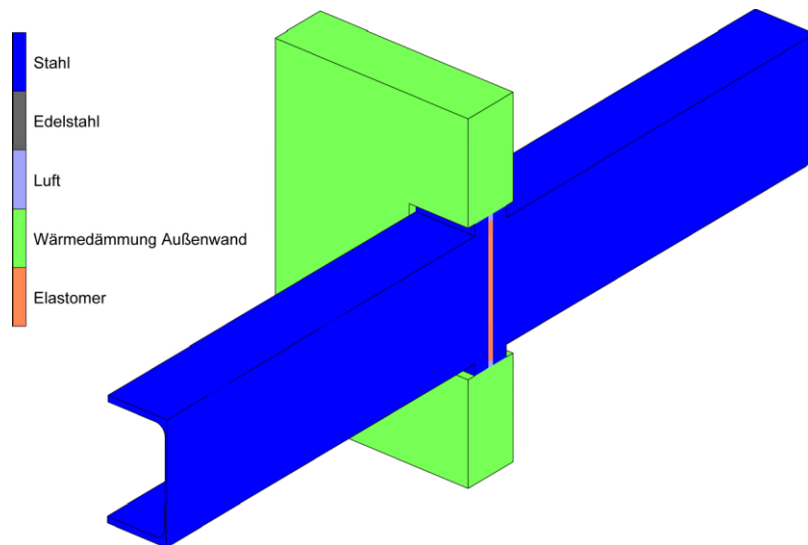


**Afbeelding 3.9: Warmtestroomverdeling HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22**

Het puntvormig warmtedoorgangscoefficient voor de stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22 heeft volgens de gesimuleerde 3D berekening een waarde van  $\chi = 0,41 \text{ W/K}$  (26 kW/jaar).

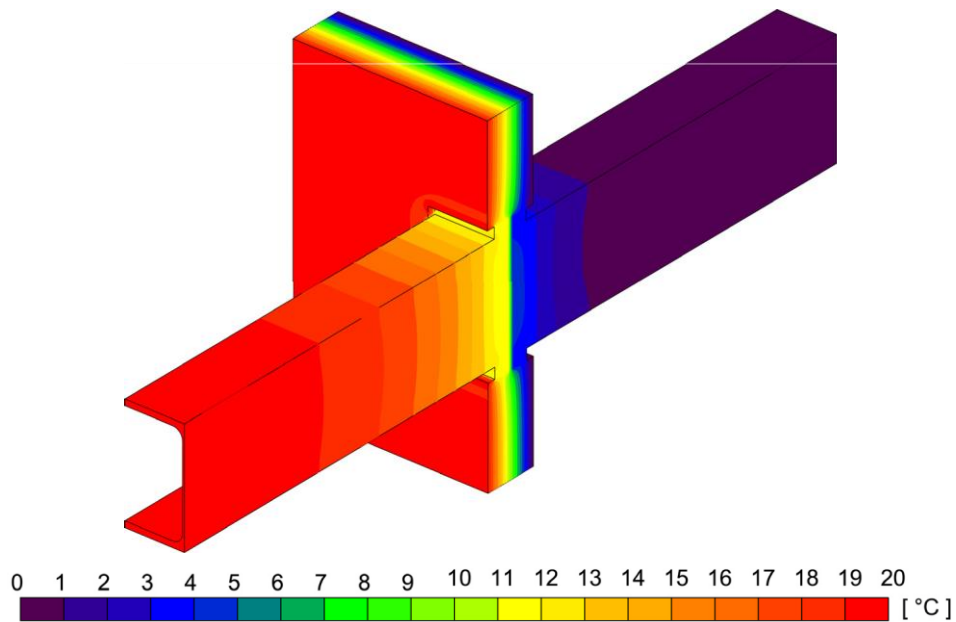
### 3.5.3 Stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm) in het midden van de warmte-isolerende laag

Afbeelding 3.4 toont het FE-model.



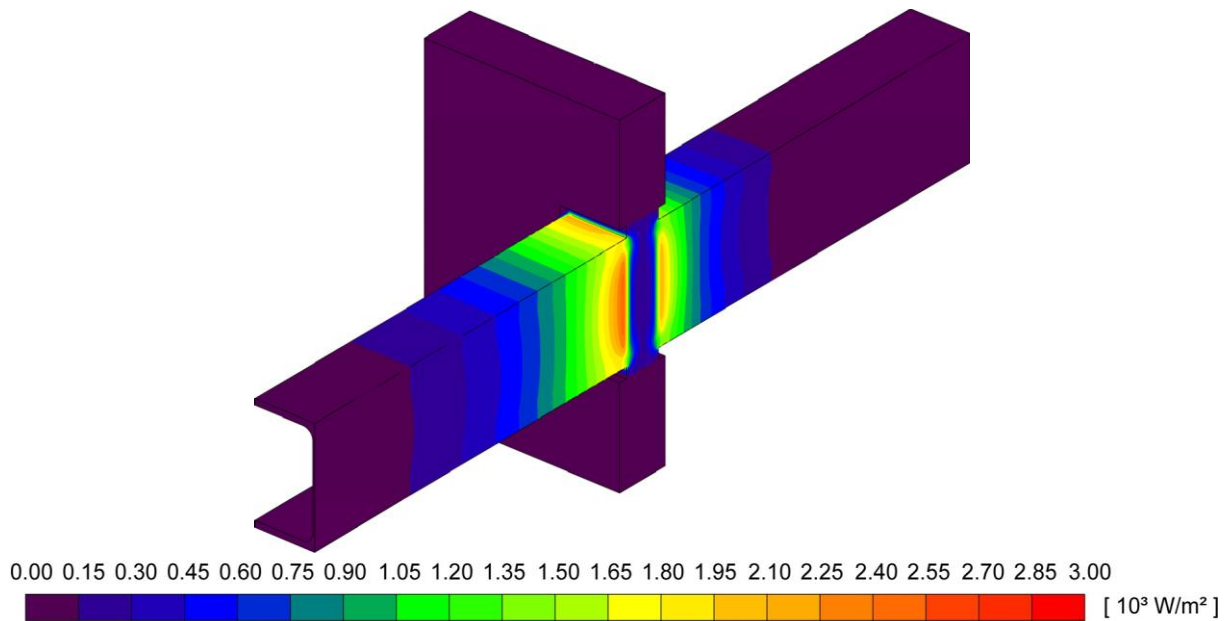
Afbeelding 3.10: FE-model HEA220 met elastomeer tussenlaag

Afbeelding 3.5 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening.



Afbeelding 3.11: Temperatuurverdeling HEA220 met elastomeer tussenlaag

Afbeelding 3.12 toont de warmtestroomverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening.



**Afbeelding 3.12: Warmtestroomverdeling HEA220 met elastomeer tussenlaag**

Het puntvormig warmtedoorgangscoefficiënt voor de stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag ( $d = 10 \text{ mm}$ ) in het midden van de warmte-isolerende laag heeft volgens de gesimuleerde 3D berekening een waarde van  $\chi = 0,92 \text{ W/K}$  (59 kW/jaar).

### 3.5.4 Samenvatting van de resultaten

**Tabel 3.4: Puntvormig warmtedoorgangscoefficiënt  $\chi$**

Constructie	Puntvormig warmtedoorgangscoefficiënt $\chi$ [ W/K ]
Doorlopende stalen ligger HEA220	0,86
Stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22	0,41
Stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag ( $d = 10 \text{ mm}$ ) in het midden van de warmte-isolerende laag	0,92

### 3.6 Bepaling van de minimale thermische isolatie ter vermijding van schimmelvorming

#### 3.6.1 Samenvatting van de resultaten

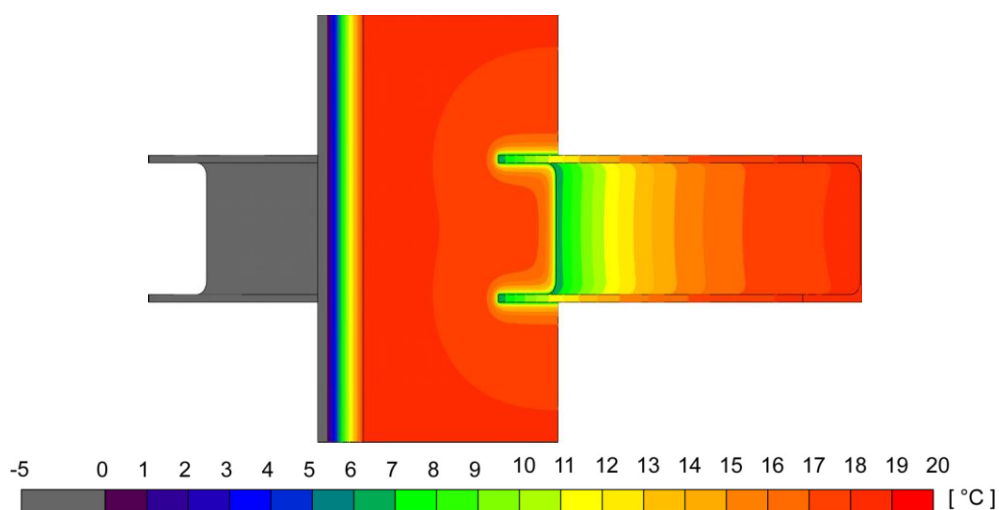
De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in tabel 3.5. Aan de vereiste volgens DIN 4108-2 is voldaan wanneer bij de in tabel 3.2 vermelde parameters de minimale oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde niet lager is dan 12,6 °C en de temperatuurfactor daarmee voldoet aan de voorwaarde  $f_{0,25} \geq 0,7$ .

Tabel 3.5: Bepaling van de minimale thermische isolatie volgens DIN 4108-2

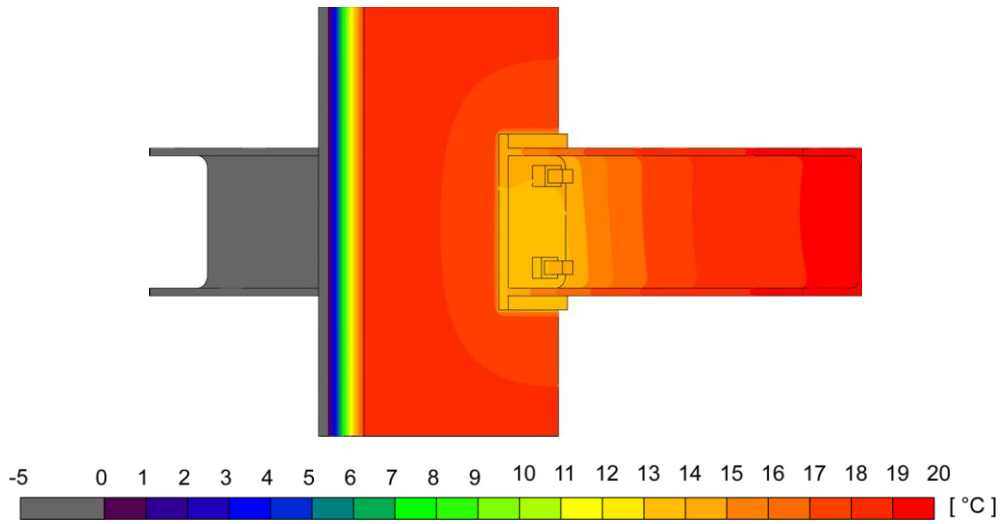
Constructie	Minimale oppervlakte-temperatuur binnenzijde $\theta_{si,min}$ [ °C ]	Temperatuurfactor $f_{0,25}$ [ - ]	Vereiste
Doorlopende stalen ligger HEA220	6,1	0,44	voldoet niet
Stalen ligger HEA220 met Isokorf T type S-D22	13,6	0,74	voldoet
Stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm) in het midden van de warmte-isolerende laag	6,9	0,48	voldoet niet

#### 3.6.2 Temperatuurverdelingen

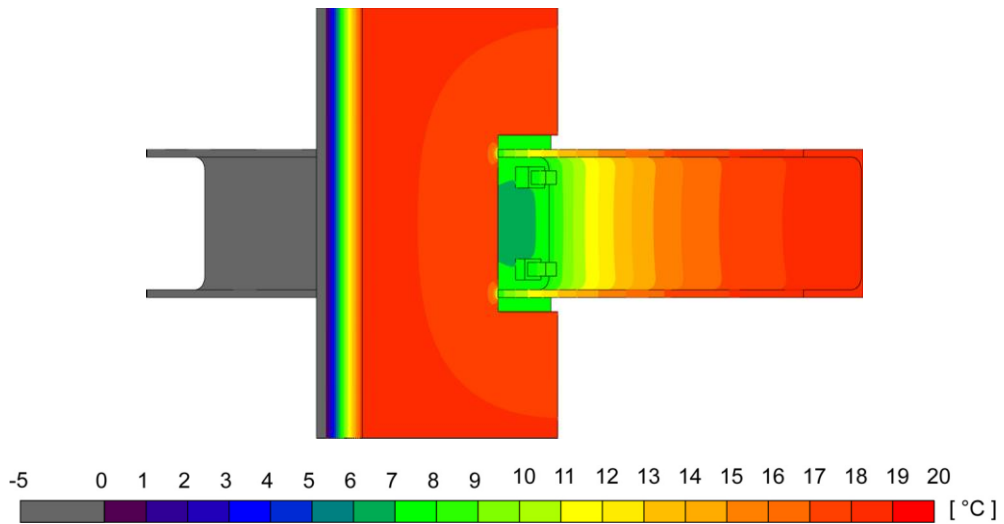
Afbeeldingen 3.13 tot 3.15 tonen de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekeningen.



Afbeelding 3.13: Temperatuurverdeling doorgaande stalen ligger



Afbeelding 3.14: Temperatuurverdeling stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22



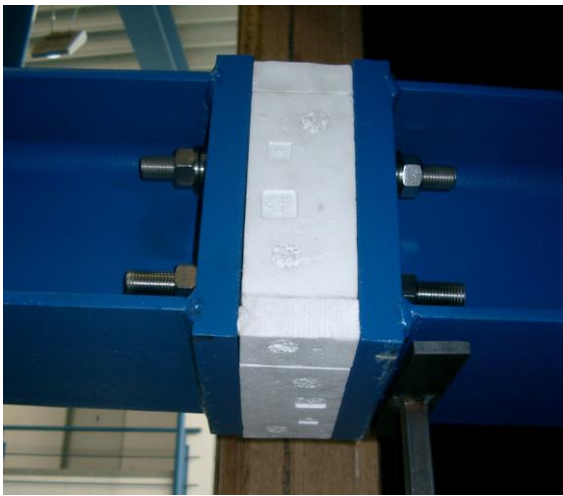
Afbeelding 3.15: Temperatuurverdeling stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm) in het midden van de warmte-isolerende laag

## 4 Experimentele onderzoeken

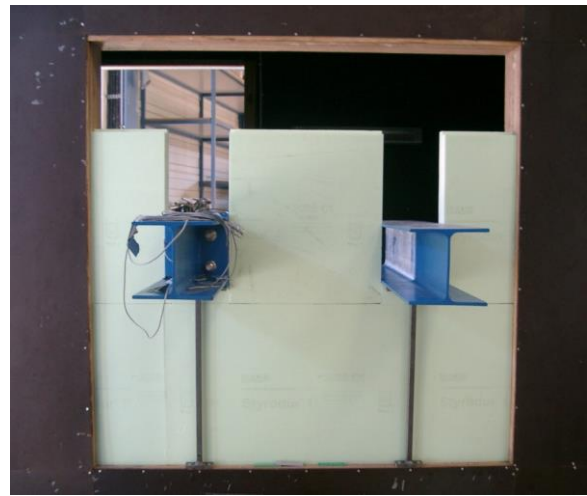
### 4.1 Algemeen

In het kader van dit project zijn bij de Lehrstuhl für Stahlbau und Leichtmetallbau - RWTH Aachen experimentele onderzoeken gedaan volgens de Hotbox-methode. De proefstand wordt in het algemeen gebruikt voor experimenten ter bepaling van de warmtedoorgangseigenschappen van niet-homogene constructiedelen. Tijdens de meting bevinden de proefvoorwerpen zich tussen twee ruimtes met verschillende temperaturen. Bij elke meting worden de luchttemperaturen aan de koude en aan de warme zijde van het proefvoorwerp gemeten. Op meerdere geselecteerde plaatsen wordt op de proefvoorwerpen de oppervlaktetemperatuur gemeten met PT100-sensoren. Daarnaast wordt de verdeling van de oppervlaktetemperaturen aan de warme zijde bepaald met behulp van een infraroodcamera.

Afbeeldingen 4.1 t/m 4.4 tonen verschillende foto's van Schöck Isokorf T type S-D22 gemonteerd in een stalen ligger HEA220 (links) en een doorgaande stalen ligger HEA220 (rechts).



Afbeelding 4.1: Aansluiting stalen ligger HEA 220 met Schöck Isokorf type S-D22



Afbeelding 4.2: Inbouwen van de proefvoorwerpen



Afbeelding 4.3: Warme zijde proefstand met ingebouwde proefvoorwerpen



Afbeelding 4.4: Proefstand met koude zijde (links) en warme zijde (rechts)

## 4.2 Resultaten van de experimentele onderzoeken

### 4.2.1 Proef op 06-12-06 met Isokorf T type S-D22

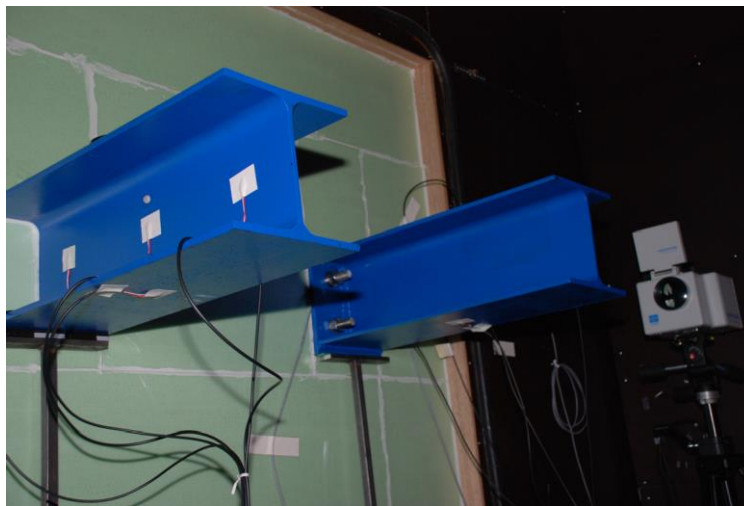
#### 4.2.1.1 Parameters

Tijdens de proef zijn de volgende parameters gemeten:

Tabel 4.1: Parameters proef 06-12-06

	Warme zijde	Koude zijde
Temperatuur [ °C ]	20,0	- 5,1
Relatieve luchtvochtigheid [ % ]	40,7	82,2

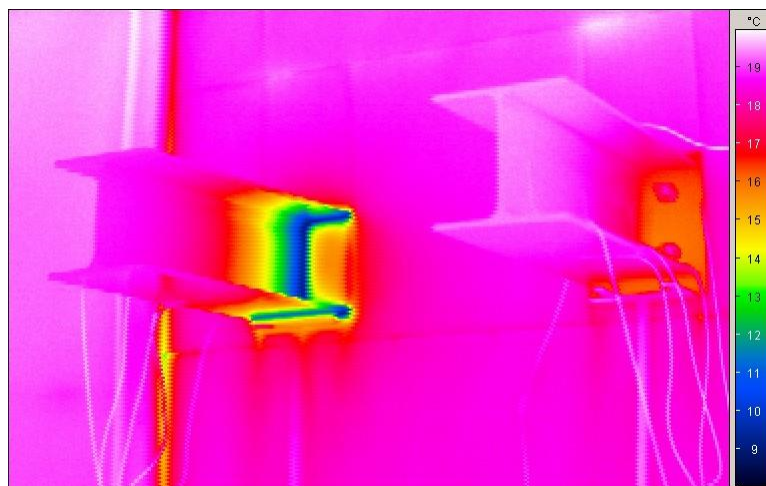
#### 4.2.1.2 Thermografie en minimale oppervlaktetemperaturen



Afbeelding 4.5: Foto proef 06-12-06

Doorlopende  
stalen ligger  
HEA220:

$$\theta_{si,min} = 8,9 \text{ °C}$$



Thermische  
onderbreking met  
T type S-D22

$$\theta_{si,min} = 15,8 \text{ °C}$$

Afbeelding 4.6: Thermografie proef 06-12-06

## 4.2.2 Proef op 29-01-07 met Isokorf T type S-D22

### 4.2.2.1 Parameters

Tijdens de proef zijn de volgende parameters gemeten:

Tabel 4.2: Parameters proef 29-01-07

	Warme zijde	Koude zijde
Temperatuur [ °C ]	20,8	- 14,8
Relatieve luchtvochtigheid [ % ]	40,9	76,9

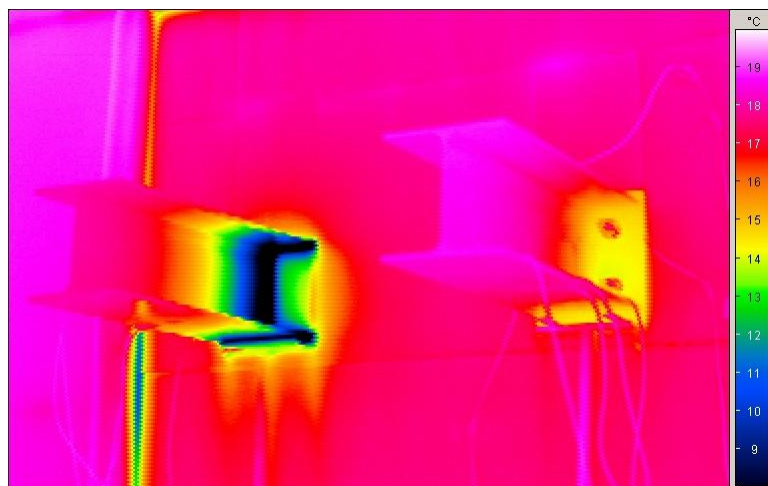
### 4.2.2.2 Thermografie en minimale oppervlaktetemperaturen



Afbeelding 4.7: Foto proef 29-01-07

Doorlopende stalen ligger HEA220:

$$\theta_{si,min} = 4,3 \text{ °C}$$



Thermische onderbreking met Isokorf T type S-D22:

$$\theta_{si,min} = 14,1 \text{ °C}$$

Afbeelding 4.8: Thermografie proef 29-01-07



## 4.2.3 Proef op 01-03-07 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm)

### 4.2.3.1 Parameters

Tijdens de proef zijn de volgende parameters gemeten:

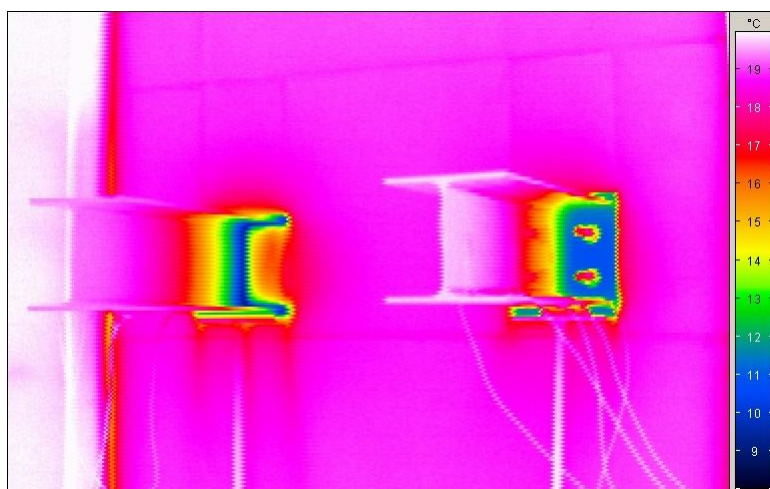
Tabel 4.3: Parameters proef 01-03-07

	Warme zijde	Koude zijde
Temperatuur [ °C ]	21,5	- 4,8
Relatieve luchtvochtigheid [ % ]	39,0	90,1

### 4.2.3.2 Thermografie en minimale oppervlaktetemperaturen

Doorlopende  
stalen ligger  
HEA220:

$$\theta_{si,min} = 9,2 \text{ °C}$$



Onderbreking  
met elastomeer  
tussenlaag:

$$\theta_{si,min} = 10,4 \text{ °C}$$

Afbeelding 4.9: Thermografie proef 01-03-07

## 4.2.4 Proef op 05-04-07 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm)

### 4.2.4.1 Parameters

Tijdens de proef zijn de volgende parameters gemeten:

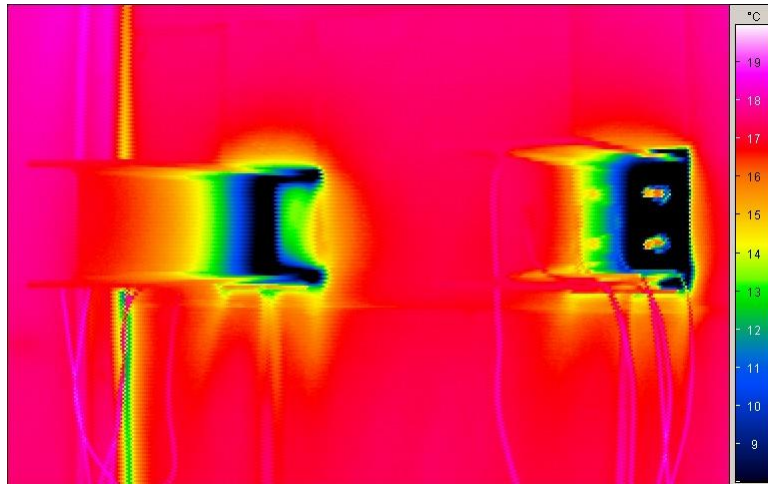
Tabel 4.4: Parameters proef 05-04-07

	Warme zijde	Koude zijde
Temperatuur [ °C ]	21,5	- 15,1
Relatieve luchtvochtigheid [ % ]	30,0	79,0

#### 4.2.4.2 Thermografie en minimale oppervlaktetemperaturen

Doorlopende  
stalen ligger  
HEA220:

$\theta_{si,min} = 3,4 \text{ } ^\circ\text{C}$



Onderbreking  
met elastomeer  
tussenlaag:

$\theta_{si,min} = 5,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

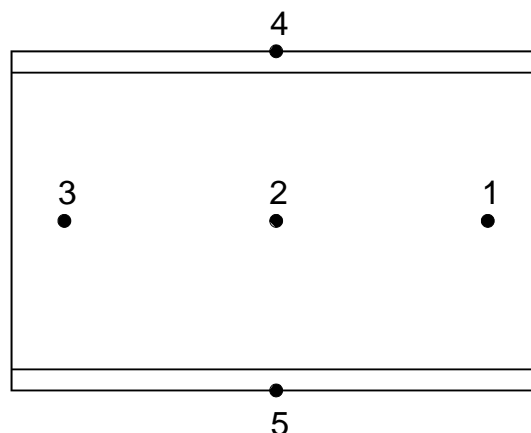
Afbeelding 4.10: Thermografie proef 05-04-07

## 5 Vergelijking meting en gesimuleerde 3D berekening

### 5.1 Meetpunten

Afbeelding 5.1 toont de meetpunten waar de Pt100-sensoren zijn aangebracht voor het meten van de oppervlaktetemperaturen. De geteste constructies (doorlopende stalen ligger en stalen ligger met KST 22 of elastomeer tussenlaag) steken 670 mm door in de warme zijde van de proefstand, gerekend vanaf het oppervlak van de warmte-isolerende laag. De meetpunten zijn als volgt verdeeld:

- MP 1: horizontaal op 100 mm afstand van het isolatie-oppervlak, verticaal in het midden van het lijf
- MP 2: horizontaal op 335 mm afstand van het isolatie-oppervlak, verticaal in het midden van het lijf
- MP 3: horizontaal op 570 mm afstand van het isolatie-oppervlak, verticaal in het midden van het lijf
- MP 4: horizontaal op 335 mm afstand van het isolatie-oppervlak, verticaal op de bovenste flens
- MP 5: horizontaal 335 mm verwijderd van het isolatie-oppervlak, verticaal op de onderste flens



Afbeelding 5.1: Verdeling van de meetpunten

## 5.2 Vergelijking meting en FEM-berekening

### 5.2.1 Algemeen

Voor alle vergelijkende berekeningen volgens FEM wordt uitgegaan van de materiaaleigenschappen uit tabel 3.3 en de temperaturen die tijdens de proeven zijn gemeten aan de warme en de koude zijde (zie punt 4.2).

Voor de vergelijkende berekeningen wordt aangenomen dat aan de warme zijde een natuurlijke convectie ontstaat. Aan de koude zijde wordt aangenomen dat er een lichte luchtstroming van  $v = 0,5$  m/sec. bestaat, veroorzaakt door het koelsysteem.

Bovendien wordt aangenomen dat er tot een horizontale afstand van 100 mm van de isolatielaag zowel aan de warme als aan de koude zijde sprake is van vergrote warmteovergangswaarden, omdat in dit gedeelte de warmteoverdracht wordt beperkt door convectie en straling.

Voor de vergelijkende berekening volgen daaruit de volgende warmteovergangswaarden:

Tabel 5.1: Warmteovergangswaarden voor de vergelijkende berekeningen

Warmteovergangswaarde $R_s$ [ (m <sup>2</sup> ·K)/W ]	Warme zijde	Koude zijde
Warmteovergangswaarde tussen lucht en stalen ligger / kopplaat / bouten tot op een horizontale afstand van 100 mm vanaf de isolatielaag	0,20	0,14
Warmteovergangswaarde tussen lucht en stalen ligger vanaf een horizontale afstand van 100 mm vanaf de isolatielaag	0,13	0,10

### 5.2.2 Proef 06-12-06 met T type S-D22

#### 5.2.2.1 Vergelijking van de oppervlaktetemperatuur van de meetpunten op doorlopende stalen ligger HEA220

Meetpunt j	Oppervlaktetemperatuur van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]	
	Proef 06-12-06 (PT100-sensor)	Vergelijkende berekening FEM
1	13,5	13,8
2	17,7	18,3
3	19,1	19,4
4	18,0	18,2
5	18,0	18,2

## stalen ligger HEA220 met Isokorf T type S-D22

Meetpunt j	Oppervlaktetemperatuur van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]	
	Proef 06-12-06 (PT100-sensor)	FEM- vergelijkingsberekening
1	18,1	17,0
2	19,4	19,2
3	19,7	19,7
4	19,5	19,1
5	19,4	19,1

### 5.2.2.2 Vergelijking van de minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte

	Minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte $\theta_{si,min}$ [ °C ]	
	Proef 06-12-06 (infraroodopname)	Vergelijkende berekening FEM
Doorlopende stalen ligger HEA220	8,9	9,4
stalen ligger HEA220 met Isokorf T type S-D22	15,8	15,0

### 5.2.3 Proef 29-01-07 met Isokorf T type S-D22

#### 5.2.3.1 Vergelijking van de oppervlaktetemperatuur van de meetpunten op doorlopende stalen ligger HEA220

Meetpunt j	Oppervlaktetemperatuur van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]	
	Proef 29-01-07 (PT100-sensor)	Vergelijkende berekening FEM
1	11,1	12,0
2	16,9	18,4
3	18,4	19,9
4	17,0	18,2
5	17,0	18,2

## stalen ligger HEA220 met Isokorf T type S-D22

Meetpunt j	Oppervlaktetemperatuur van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]	
	Proef 29-01-07 (PT100-sensor)	Vergelijkende berekening FEM
1	17,0	16,6
2	18,6	19,7
3	19,3	20,4
4	19,0	19,6
5	18,7	19,6

### 5.2.3.2 Vergelijking van de minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte

	Minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte $\theta_{si,min}$ [ °C ]	
	Proef 29-01-07 (infraroodopname)	Vergelijkende berekening FEM
Doorlopende stalen ligger HEA220	4,3	5,8
stalen ligger HEA220 met Isokorf T type S-D22	14,1	13,7

### 5.2.4 Proef 01-03-07 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm)

#### 5.2.4.1 Vergelijking van de oppervlaktetemperatuur van de meetpunten op doorlopende stalen ligger HEA220

Meetpunt j	Oppervlaktetemperatuur van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]	
	Proef 01-03-07 (PT100-sensor)	Vergelijkende berekening FEM
1	14,1	15,0
2	18,3	19,7
3	19,6	20,9
4	18,4	19,6
5	18,4	19,6

## Stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm)

Meetpunt j	Oppervlaktetemperaturen van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]	
	Proef 01-03-07 (PT100-sensor)	Vergelijkende berekening FEM
1	16,0	15,7
2	19,4	20,0
3	20,7	21,0
4	19,3	20,0
5	19,2	20,0

### 5.2.4.2 Vergelijking van de minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte

	Minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte $\theta_{si,min}$ [ °C ]	
	Proef 01-03-07 (infraroodopname)	Vergelijkende berekening FEM
Doorlopende stalen ligger HEA220	9,2	10,4
stalen ligger HEA220 met Isokorf T type S-D22	10,4	11,1

## 5.2.5 Proef 05-04-07 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm)

### 5.2.5.1 Vergelijking van de oppervlaktetemperatuur van de meetpunten op doorlopende stalen ligger HEA220

Meetpunt j	Oppervlaktetemperatuur van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]	
	Proef 05-04-07 (PT100-sensor)	Vergelijkende berekening FEM
1	11,6	12,5
2	17,1	19,0
3	18,5	20,6
4	17,3	18,9
5	17,1	18,9

## Stalen ligger HEA220 met elastomeer tussenlaag (d = 10 mm)

Oppervlaktetemperatuur van de meetpunten $\theta_{si,j}$ [ °C ]		
Meetpunt j	Proef 05-04-07 (PT100-sensor)	Vergelijkende berekening FEM
1	13,4	13,5
2	17,6	19,5
3	19,2	20,8
4	17,9	19,4
5	17,9	19,4

### 5.2.5.2 Vergelijking van de minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte

Minimale oppervlaktetemperatuur in de binnenruimte $\theta_{si,min}$ [ °C ]		
	Proef 05-04-07 (infraroodopname)	Vergelijkende berekening FEM
Doorlopende stalen ligger HEA220	3,4	6,0
stalen ligger HEA220 met Isokorf T type S-D22	5,6	7,0

## 5.3 Analyse van de vergelijkende berekeningen

- 1) De vergelijkende berekeningen dienen ter verificatie van de experimentele onderzoeken. Afwijkingen tussen meting en de gesimuleerde 3D berekeningen zijn daarbij onvermijdelijk, wat de volgende toelichting zal verduidelijken.
- 2) Aannames en conventies voor de gesimuleerde 3D vergelijkende berekeningen:
  - Er wordt aangenomen dat de warmtedoorgangscoefficienten per deel constant blijven.
  - De warmtedoorgangscoefficienten worden bepaald in overeenstemming met de normparameters.
  - In het overgangsgebied van stalen ligger en warmte-isolerende laag worden de warmtedoorgangscoefficienten verlaagd om rekening te houden met de daar aangenomen verlaging van de warmteoverdrachtsprocessen (convectie, straling).
  - Er worden de meetwaarden van de warmtegeleiding conform de norm toegepast, omdat er van de materialen die in de proef zijn opgesteld geen meetresultaten beschikbaar zijn van de feitelijke warmtegeleiding.
  - Er wordt uitgegaan van ideale contactpunten tussen de lagen van het constructiedeel en de verschillende materialen.
  - De in de proef gemeten luchttemperatuur geldt in de gesimuleerde 3D berekeningen als omgevingstemperatuur.
  - Er wordt aangenomen dat de omgevingstemperatuur gelijkmatig verdeeld is.

- 3) Naast de hierboven genoemde aannames kunnen de volgende aspecten leiden tot afwijkingen tussen meting en de gesimuleerde 3D berekening:
- De meetnauwkeurigheid van de PT100-sensoren is ongeveer  $\pm 0,2$  K.
  - De absolute nauwkeurigheid van de infraroodcamera (Varioscan 3021 ST) is 2 K, de relatieve nauwkeurigheid is 0,03 K.
  - Het contact van de PT100-sensoren op de oppervlakken en het contact tussen de lagen van het constructiedeel zijn niet ideaal.
  - De luchttemperatuur wordt op geselecteerde punten gemeten.
  - Tijdens deze temperatuurmeting wordt de deur aan de warme zijde van de proefstand geopend om met de infraroodcamera geschikte opnamen te kunnen maken. Dat heeft invloed op de omgevingsomstandigheden in het warme deel van de proefstand.
  - Vanwege de verschillen in warmte-isolerende werking reageren de onderzochte aansluitconstructies verschillend op veranderende omstandigheden. Zo hebben de reële warmteovergangswaarden zeer duidelijk invloed op de verdeling van de oppervlaktetemperatuur bij de doorlopende stalen ligger.
- 4) Op basis van de beschreven aannames en meetparameters kunnen afwijkingen tussen proef en gesimuleerde 3D berekening ontstaan, zoals die in de tabellen van punt 5.2 zijn vermeld.
- 5) Onafhankelijk van de hier beschreven aspecten bevestigen de experimentele onderzoeken onder punt 4 de beschreven resultaten van de gesimuleerde 3D berekeningen.

## 6 Aanvullende gesimuleerde 3D berekeningen

### 6.1 Algemeen

Om te bepalen wat de invloed is van de dikte van kunststof tussenlagen (zoals elastomeer of met glasvezelversterkte kunststof) worden de volgende parameters gevarieerd:

- Dikte van de tussenlaag  $d = 10$  mm, 20 mm en 30 mm
- Positie van de tussenlaag volgens afbeeldingen 3.3 en 6.1.
- Warmtegeleiding van de tussenlaag  $\lambda = 0,2$  W/(m.K) en  $\lambda = 0,3$  W/(m.K)

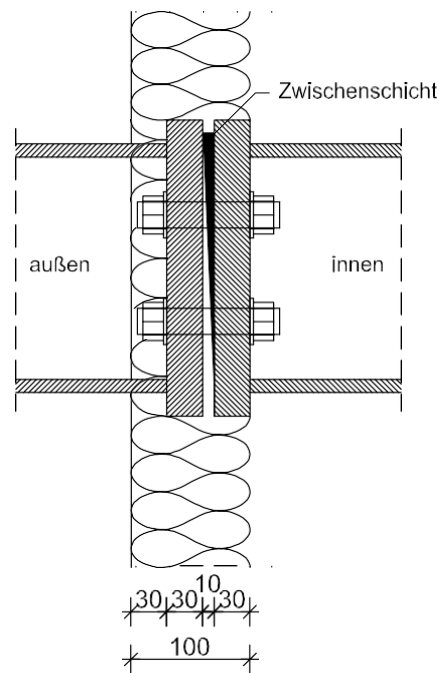
In de literatuur zien we voor warmtegeleiding van kunststof tussenlagen een bereik van  $\lambda = 0,2$  W/(m.K) tot  $\lambda = 0,5$  W/(m.K).

$\lambda$  Voor met glasvezelversterkte kunststof wordt bijvoorbeeld een warmtegeleiding van  $\lambda = 0,2$  W/(m.K) tot  $\lambda = 0,3$  W/(m.K) aangegeven.

Voor de aanvullende numerieke onderzoeken voor het bepalen van het puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt wordt voor de zekerheid aangenomen dat de warmtegeleiding van de kunststof tussenlaag  $\lambda = 0,2$  W/(m.K) bedraagt.

Afbeelding 6.1 toont de extra geselecteerde aansluitgeometrie van stalen ligger HEA220 met een kunststof tussenlaag van 10 mm dik ( $d$ ) en externe warmte-isolatie voor de kopplaat.





Afbeelding 6.1: Aansluitgeometrie stalen ligger HEA220 met een kunststof tussenlaag van 10 mm dik (d) en externe warmte-isolatie voor de kopplaat

## 6.2 Bepalen van het puntvormige warmtedoorgangscoefficient

In tabel 6.1 zijn de resultaten van de aanvullende gesimuleerde 3D berekeningen samengevat.

Constructie	Dikte van de tussenlaag met $\lambda = 0,2 \text{ W/(m.K)}$ d [ mm ]	Puntvormig warmtedoorgangscoefficient $\chi$ [ W/K ]
Aansluiting volgens afbeelding 3.3	10	0,90
	20	0,70
	30	0,57
Aansluiting volgens afbeelding 6.1	10	0,76

Tabel 6.1: Puntvormig warmtedoorgangscoefficient  $\chi$  [ W/K ]

## 6.3 Bepaling van de minimale thermische isolatie ter vermijding van schimmelvorming

### 6.3.1 Warmtegeleiding van de tussenlaag $\lambda = 0,2 \text{ W/(m.K)}$

#### 6.3.1.1 Samenvatting van de resultaten

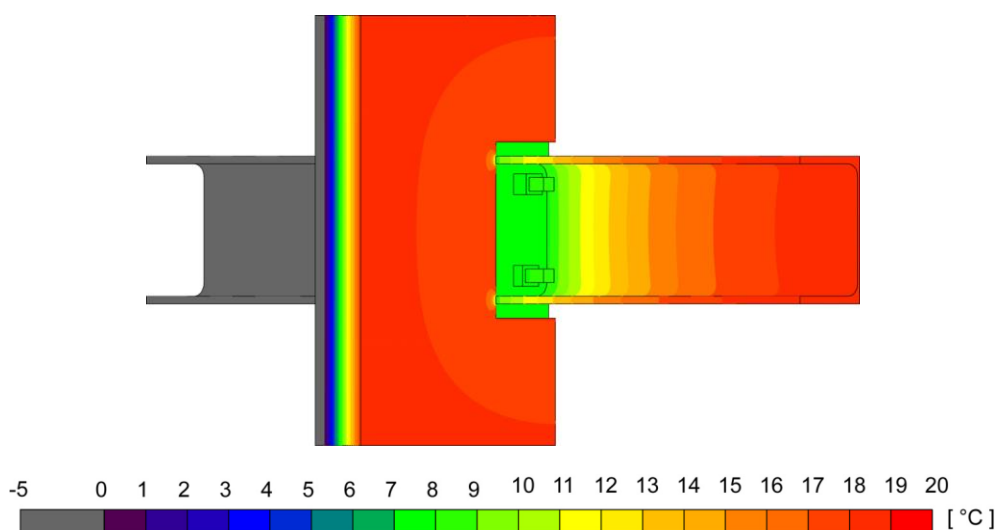
De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in tabel 6.2. Aan de vereiste volgens DIN 4108-2 is voldaan wanneer bij de in tabel 3.2 vermelde parameters de minimale oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde niet lager is dan  $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$  en de temperatuurfactor daarmee voldoet aan de voorwaarde  $f_{0,25} \geq 0,7$ .

Constructie	Dikte van de tussenlaag d [ mm ]	Minimale oppervlakte-temperatuur $\theta_{si,min} [^\circ\text{C}]$	Temperatuur factor $f_{0,25} [-]$	Vereiste
Aansluiting volgens afbeelding 3.3	10	7,1 $^\circ\text{C}$	0,48	voldoet niet
	20	9,6 $^\circ\text{C}$	0,58	voldoet niet
	30	11,2 $^\circ\text{C}$	0,65	voldoet niet
Aansluiting volgens afbeelding 6.1	10	8,7 $^\circ\text{C}$	0,55	voldoet niet

Tabel 6.2: Bepaling van de minimale thermische isolatie volgens DIN 4108-2

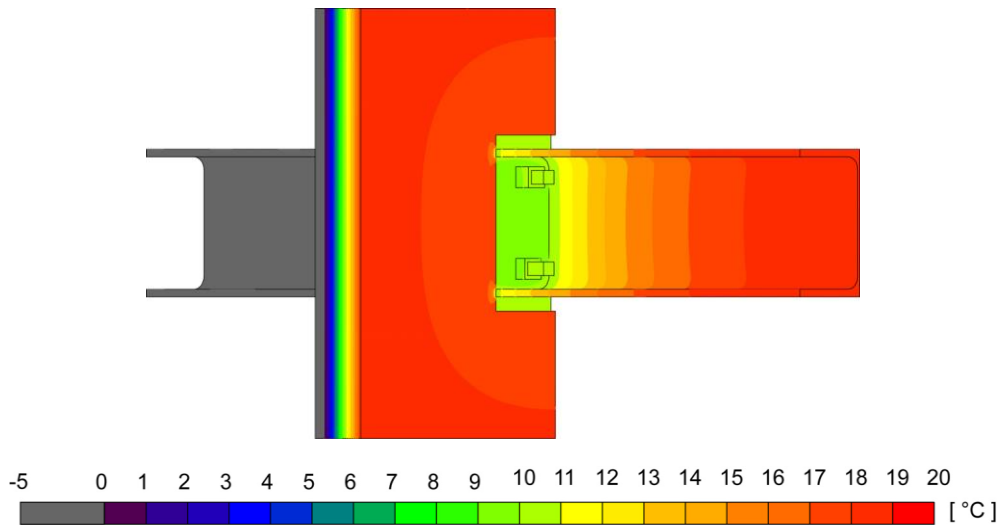
#### 6.3.1.2 Temperatuurverdelingen

Afbeelding 6.2 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting volgens afbeelding 3.3 met een kunststof tussenlaag van 10 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van  $0,2 \text{ W/(m.K)}$ .



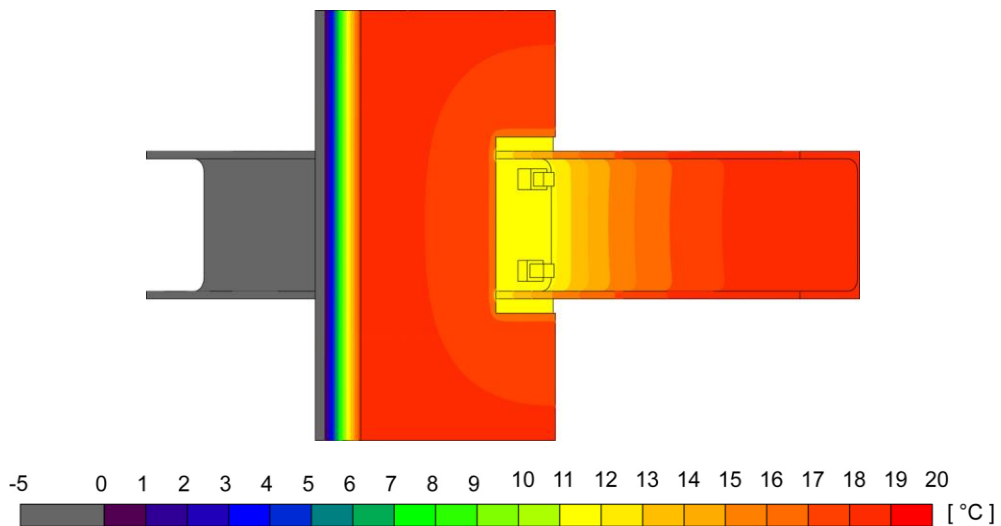
Afbeelding 6.2: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 4.3 (d = 10 mm,  $\lambda = 0,2 \text{ W/(m.K)}$ )

Afbeelding 6.3 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting volgens afbeelding 3.3 met een kunststof tussenlaag van 20 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van 0,2 W/(m.K).



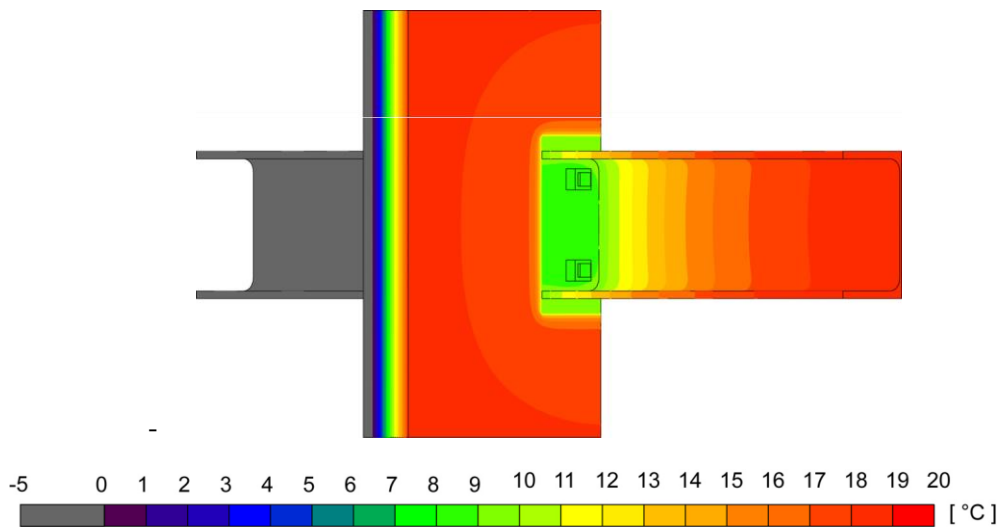
**Afbeelding 6.3: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 4.3  
(d = 20 mm,  $\lambda = 0,2$  W/(m.K))**

Afbeelding 6.4 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting volgens afbeelding 3.3 met een kunststof tussenlaag van 30 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van 0,2 W/(m.K).



**Afbeelding 6.4: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 4.3  
(d = 30 mm,  $\lambda = 0,2$  W/(m.K))**

Afbeelding 6.5 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting volgens afbeelding 6.1 met een kunststof tussenlaag van 10 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van 0,2 W/(m.K).



**Afbeelding 6.5: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 7.1 (d = 10 mm,  $\lambda = 0,2$  W/(m.K))**

### 6.3.2 Warmtegeleiding van de tussenlaag $\lambda = 0,3$ W/(m.K)

#### 6.3.2.1 Samenvatting van de resultaten

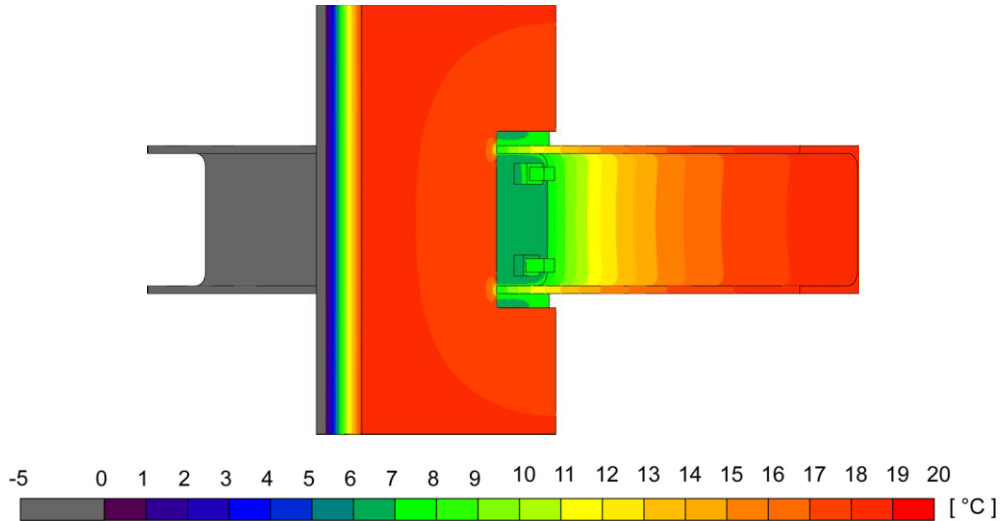
De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in tabel 6.2. Aan de vereiste volgens DIN 4108-2 is voldaan wanneer bij de in tabel 3.2 vermelde parameters de minimale oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde niet lager is dan 12,6 °C en de temperatuurfactor daarmee voldoet aan de voorwaarde  $f_{0,25} \geq 0,7$ .

**Tabel 6.3: Bepaling van de minimale thermische isolatie volgens DIN 4108-2**

Constructie	Dikte van de tussenlaag d [ mm ]	Minimale oppervlakte-temperatuur $\theta_{si,min}$ [°C]	Temperatuur factor $f_{0,25}$ [-]	Vereiste
Aansluiting volgens afbeelding 3.3	10	6,3	0,45	voldoet niet
	20	8,8	0,55	voldoet niet
	30	10,4	0,62	voldoet niet
Aansluiting volgens afbeelding 6.1	10	8,1	0,52	voldoet niet

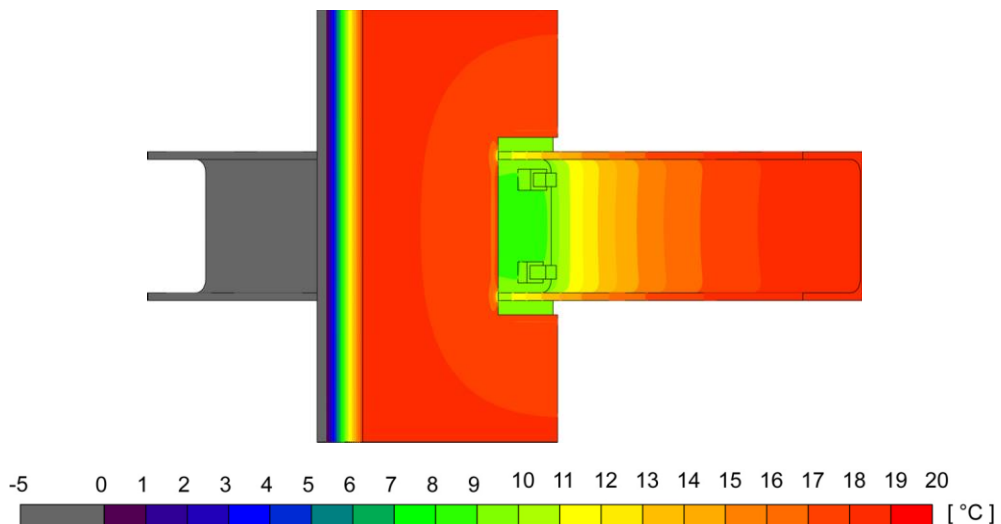
### 6.3.2.2 Temperatuurverdelingen

Afbeelding 6.6 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting zoals in afbeelding 3.3 met een kunststof tussenlaag van 10 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van 0,3 W/(m.K).



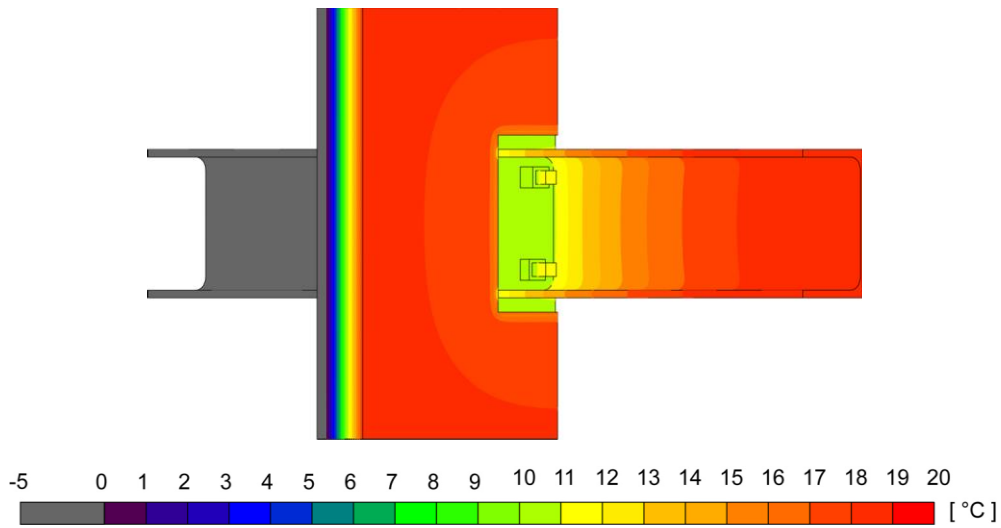
**Afbeelding 6.6: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 4.3  
(d = 10 mm,  $\lambda = 0,3$  W/(m.K))**

Afbeelding 6.7 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting zoals in afbeelding 3.3 met een kunststof tussenlaag van 20 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van 0,3 W/(m.K).



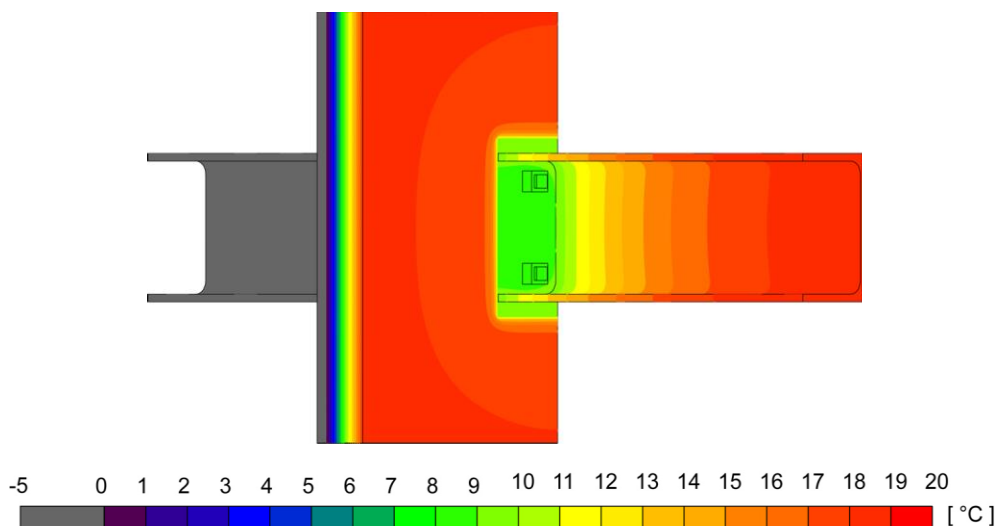
**Afbeelding 6.7: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 4.3  
(d = 20 mm,  $\lambda = 0,3$  W/(m.K))**

Afbeelding 6.8 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting zoals in afbeelding 3.3 met een kunststof tussenlaag van 30 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van 0,3 W/(m.K).



**Afbeelding 6.8: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 4.3**  
(d = 30 mm,  $\lambda = 0,3$  W/(m.K))

Afbeelding 6.9 toont de temperatuurverdeling volgens de gesimuleerde 3D berekening voor de aansluiting zoals in afbeelding 6.1 met een kunststof tussenlaag van 10 mm dik (d) en een warmtegeleiding  $\lambda$  van 0,3 W/(m.K).



**Afbeelding 6.9: Temperatuurverdeling aansluiting volgens afbeelding 7.1**  
(d = 10 mm,  $\lambda = 0,3$  W/(m.K))

## 7 Samenvatting

Voor dit project is met behulp van gesimuleerde 3D berekeningen conform NEN EN ISO 10211 de puntvormig warmtedoorgangscoefficiënt  $\chi$  bepaald voor verschillende aansluitgeometrieën van een stalen ligger HEA220 die door de warmte-isolerende laag gaat.

Daarnaast is met behulp van gesimuleerde 3D berekeningen conform NEN EN ISO 10211 de minimale warmte-isolatie bepaald die nodig is voor het vermijden van schimmel- en condensvorming.

Daarbij is vastgesteld dat de thermische onderbreking van een stalen ligger HEA220 met Schöck Isokorf T type S-D22 voor de geselecteerde aansluitconstructie voldoet aan de vereisten voor minimale warmte-isolatie volgens DIN 4108. De andere onderzochte constructies voldoen niet aan deze vereisten. (Dezelfde conclusie kan worden getrokken ten aanzien van de in het bouwbesluit gestelde eisen voor de onderwaarde van de temperatuurfactor voor verblijfsgebieden van woongebouwen ( $f \geq 0,65$ )).

De experimentele onderzoeken van de geselecteerde aansluitgeometrieën bevestigen deze resultaten.

## 8 Literatuur

NEN EN ISO 13789 april 2008 – Wärmetechnisches Verhalten – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

DIN 4108-2: februari 2013 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

NEN EN ISO 10211: april 2008 - Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen

NEN EN ISO 14683: april 2008 - Wärmebrücken im Hochbau - Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient - Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte

NEN EN ISO 6946: april 2008 - Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren

NEN EN ISO 10456: mei 2010 - Baustoffe und Bauprodukte - Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei: Merkblatt 821: Edelstahl Rostfrei – Eigenschaften, 2014

NEN 4108-4: februari 2013 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

Schöck Bauteile GmbH  
Schöckstraße 1  
76534 Baden-Baden  
Telefoon 07223 967-567  
Telefax 07223 967-251  
awt.technik@schoeck.de  
www.schoeck.de

