

NOTITIE: TOELICHTING BOUWFYSICA

AMSTERDAM, 09.03.2024

AANTAL PAGINA'S: 8

Betreft: Renovatie **5.1, 2, e** Amsterdam

1. INLEIDING

De **5.1, 2, e** van het herenhuis aan de **5.1, 2, e** te Amsterdam heeft Serge Schoemaker Architects (hierna: "de architect") opdracht gegeven tot een hoogwaardige, met zorg uitgevoerde renovatie van het huis, waarbij het Rijksmonument wordt aangepast aan de wensen van de opdrachtgever, evenals de hedendaagse eisen ten aanzien van comfort, duurzaamheid en veiligheid. De installaties worden daarbij vernieuwd en het huis inpandig geïsoleerd, zodat het energiegebruik afneemt en het binnenshuis behaaglijker aanvoelt.

Voor de uitvoering van de plannen, zoals weergegeven in de tekeningen van de architect, is een Omgevingsvergunning aangevraagd. De gemeente stelt bij de beoordeling van de aanvraag vast dat er aangetoond dient te worden dat het na-isoleren geen gevolgen heeft: "Het isoleren van monumenten leidt vaak tot problemen. Aangezien monumentale gebouwen thermisch lek zijn, zullen koudebruggen, bijvoorbeeld bij vloeren en stabiliteitswanden, onvermijdelijk zijn. Hierdoor inwendige condensatie optreden; vaak is dit het geval bij balkopleggingen en gevelankers, wat tot ernstige schade leidt en wat die duurzaamheid van materialen die al eeuwen meegaan, aantast.

Doel van deze notitie is dan ook om aan te tonen dat deze renovatie geen schadelijke gevolgen heeft voor de bestaande historische constructie en materialen.

2. PROBLEEMSTELLING

De buitenmuren van het herenhuis aan de Bloemgracht bestaan uit ongeïsoleerde bakstenen buitenmuren, 21 cm dik. Er is geen spouw aanwezig, waardoor het aanbrengen van spouwisolatie niet mogelijk is. De voorgevel is van hoge monumentale waarde, dus ook het plaatsen van isolatie aan de buitenzijde is geen optie. Aan de achterzijde is het aanbrengen van isolatie aan de buitenzijde evenmin gewenst.

Het isoleren aan de binnenzijde van de gevels is echter wel mogelijk, mede omdat er geen historisch behang of originele lambrisering aanwezig is en de gevels van het huis in goede technische conditie zijn. Er zitten geen scheuren in het metselwerk.

Muren van historische panden kunnen middels verschillende methoden van isolatie worden voorzien. In principe zijn er drie manieren te onderscheiden waarmee men aan de binnenzijde van de gevels kan isoleren:

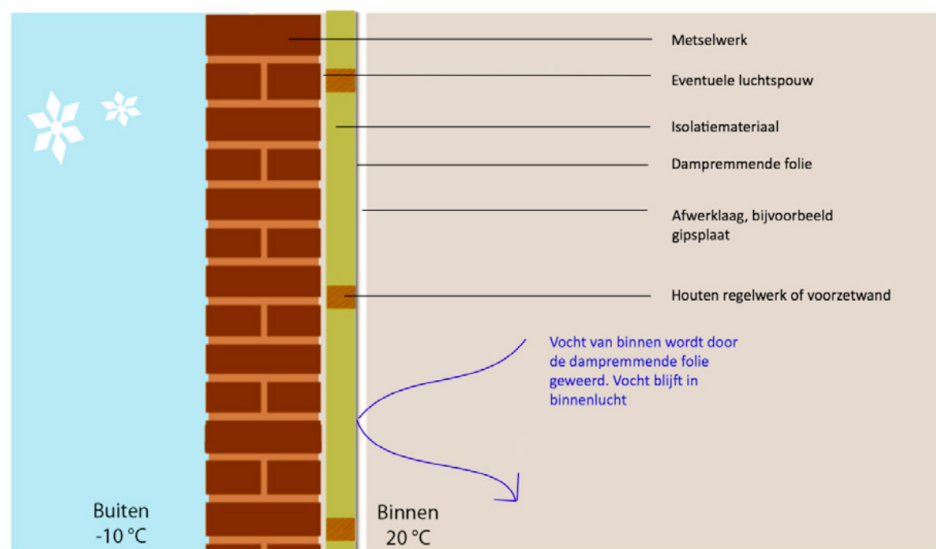
- 1 - Dampdicht (of traditioneel) isoleren
- 2 - Dampopen isoleren
- 3 - Capillair actief isoleren

De vraag is welke methode het meest geschikt is bij dit project.

3. DAMPDICHT, DAMPOPEN OF CAPILLAIR ACTIEF ISOLEREN?

1 - Dampdicht (of traditioneel) isoleren aan de binnenzijde

Bij dampdicht isoleren aan de de binnenzijde wordt de bestaande constructie aangevuld met een isolatielaag met aan de binnen-of warme zijde een dampremmende laag (al dan niet op spouw). Daarna volgt een binnen afwerking. Zie de onderstaande afbeelding.



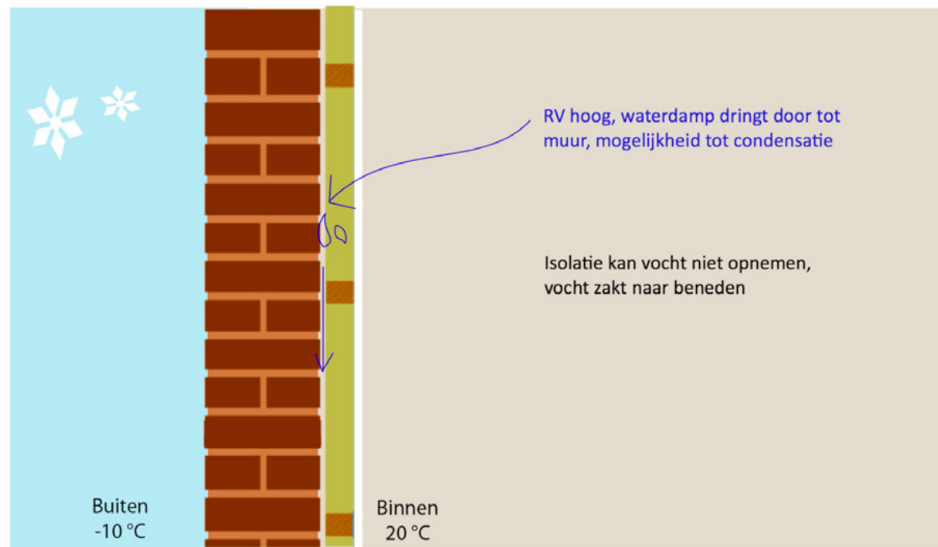
Dampdicht isoleren aan de binnenzijde (bron: RCE, Groene Gids, Na-isolatie van historische woonhuizen)

- warmtegeleidings-coëfficiënt (lambda-waarde): laag, 0,03-0,04 W/mK
- waterdampdiffusie-weerstandsgetal (mu-waarde): zeer hoog, typisch $\mu \Rightarrow 60.0000$
- waterabsorptie-coëfficiënt: n.v.t.
- geschikte isolatiematerialen: o.a. PUR PIR, EPS, XPS of minerale wol met dampremmende laag

2 - Dampopen isoleren aan de binnenzijde

Dampopen isoleren aan de binnenzijde is te vergelijken met dampdicht isoleren, maar zonder dampremmende laag. Voor buitenwanden is deze methode zeer risicovol vanwege de inwendige condensatie. Hij wordt om die reden vaak afgeraden

bij monumenten.

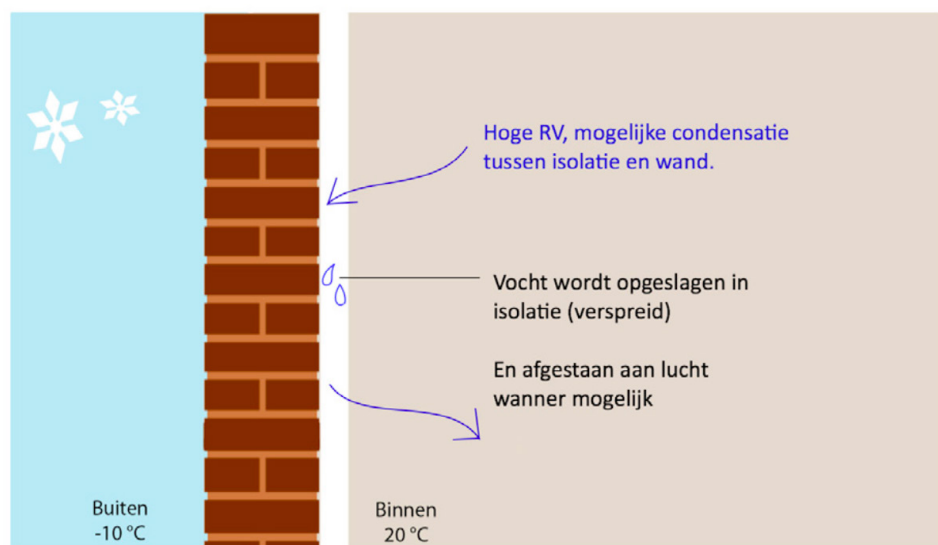


Dampopen isoleren aan de binnenzijde (bron: RCE, Groene Gids, Na-isolatie van historische woonhuizen)

- warmtegeleidings-coëfficiënt (lambda-waarde): laag, 0,03-0,04 W/mK
- waterdampdiffusie-weerstandgetal (mu-waarde): laag, typisch $\mu > 5-50$
- waterabsorptie-coëfficiënt: n.v.t. geschikte materialen: o.a. minerale wol zonder dampremmende laag

3 - Capillair actief isoleren

Bij capillair actief isoleren komt er op de bestaande constructie een nieuwe isolatielaag die in staat is waterdamp door te laten. De isolatielaag wordt volledig verlijmd met de ondergrond; dus zonder spouw of luchtholtes en zonder dampremmende laag. Het isolatiemateriaal moet in staat zijn water vast te houden. De ondergrond moet tegen water kunnen.



Dampopen isoleren aan de binnenzijde (bron: RCE, Groene Gids, Na-isolatie van historische woonhuizen)

- warmtegeleidings-coëfficiënt: matig, 0,06-0,065 W/mK
- waterdampdiffusie-weerstandsgetal: laag, typisch $\mu=5-15$
- waterabsorptie-coëfficiënt: hoog, $A>0,2 \text{ kg/m}^2\text{s}^{1/2}$
- geschikte materialen: o.a. houtvezelplaten of calcium silicaat

De methode van dampopen isoleren (methode 2) is voor buitenwanden risicovol vanwege de hoge kans op inwendige condensatie. Warme en vochtige lucht van binnen kan bij deze methode het isolatie materiaal indringen. Bij het meer dampdichte metselwerk, dat door het naisoleren kouder is geworden, zal de vochtige lucht afkoelen en condenseren. Een teveel aan condenswater kan afstromen en verzamelen op een meer vochtgevoelig gebouwonderdeel zoals een vloer of balk en daar schade aanrichten. Denk aan het rotten van balkkoppen, corrosie van muurankers en schimmelgroei. Deze methode is om die reden af te raden.

Bij capillair actief isoleren (methode 3) leidt de condensatie niet tot problemen, omdat het vocht kan worden opgenomen (gebufferd) door het isolatiemateriaal en op gunstige momenten, wanneer de waterdampconcentratie binnen laag genoeg is (zoals in de zomer), door verdamping weer kan verdwijnen. Het vochtgedrag van de woning blijft hierdoor nagenoeg ongewijzigd en koudebruggen door balkopleggingen zijn iets minder problematisch.

Capillair actief isoleren heeft echter wel nadelen ten opzichte van dampdicht isoleren (methode 1): het isoleert namelijk minder goed (0,06-0,065 W/mK t.o.v. 0,03-0,04 W/mK), neemt relatief meer ruimte in (gemiddeld 15cm i.p.v. 10cm) en is veel kostbaarder. Bij houtvezelplaten, met een beperkte capillaire activiteit, liggen de kosten ongeveer 3,5 keer hoger dan bij traditionele isolatiematerialen. Bij platen van calcium silicaat, met een hoge capillaire activiteit, zijn de kosten ongeveer 18 keer hoger.

Daarom is er voor de renovatie van dit woonhuis aan de Bloemgracht in Amsterdam gekozen voor dampdicht isoleren aan de binnenzijde, zowel bij de gevels als het dak. Slechts op een tweetal plekken gebruiken we een capillair actief systeem, bestaande uit op de muur verlijmd calcium silicaat platen, omdat er op deze locaties maar enkele centimeters aan ruimte beschikbaar is voor na-isolatie.

4. OPBOUW VAN HET GEÏSOLEERDE GEVEL- EN DAKPAKKET

De onderstaande detailtekeningen laten de gekozen opbouw zien van de geïsoleerde gevels en daken, evenals de berekening van de Rc-waarde en de hoeveelheid condens.

Isolatie bestaande buitenmuren

Bij de bestaande gevels is gekozen voor een geïsoleerde voorzetwand met een smalle, niet geventileerde luchtspouw tussen de (koude) buitenmuur en de (warme) voorzetwand. Dit om met een zo dun mogelijke voorzetwand een zo goed mogelijke isolatiewaarde te bereiken.

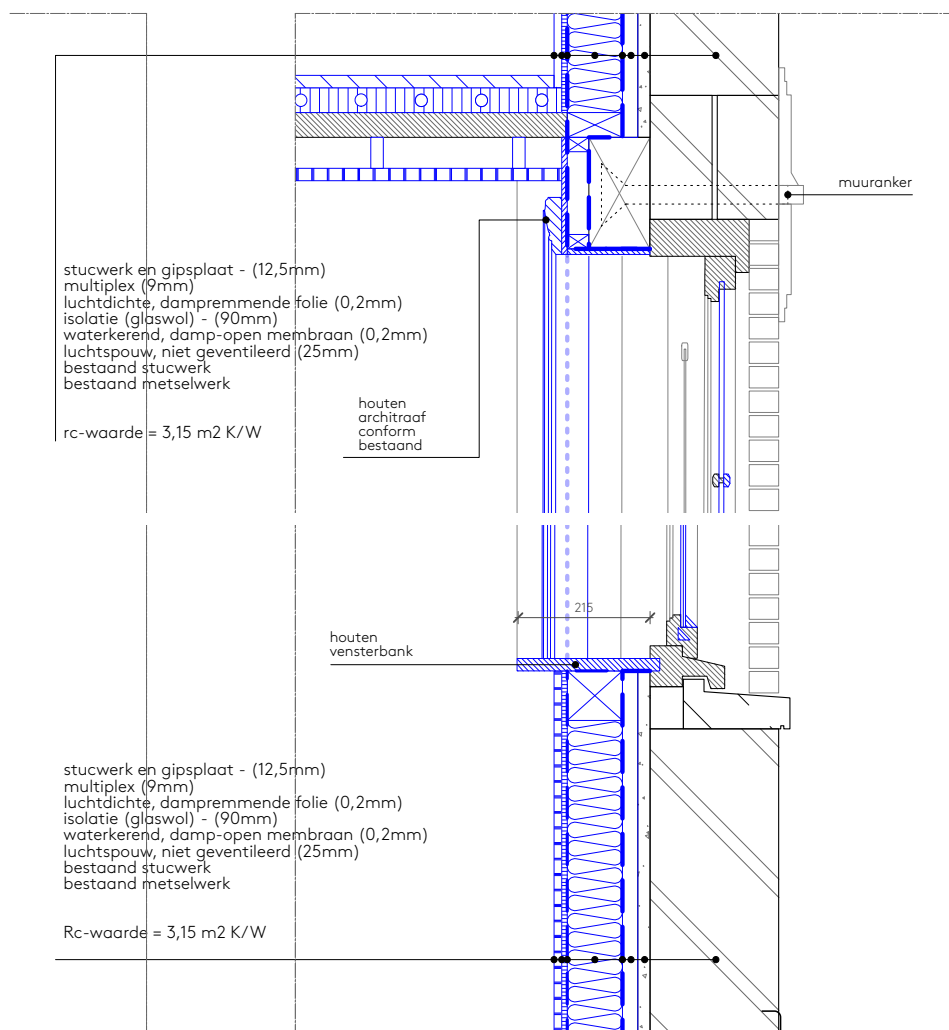
De opbouw van de geïsoleerde buitenmuren wordt dan als volgt:

(ook wel: warmtebrug of warmtelek), een punt- of lijnvormige onderbreking van de isolatielaag. De warmtestroomdichtheid neemt op die plek toe, waardoor de temperatuur daalt. Voorbeelden van koudebruggen zijn verankeringen, delen van een draagconstructie die door de isolatie heen steken en uitkragingen.

Koudebruggen vergroten het warmteverlies door transmissie. Aan het binnenoppervlak ter hoogte van de koudebrug zal de temperatuur lager zijn. Er moet dus op worden gelet dat er daar geen condensatie en hoge relatieve luchtvochtigheden optreden.

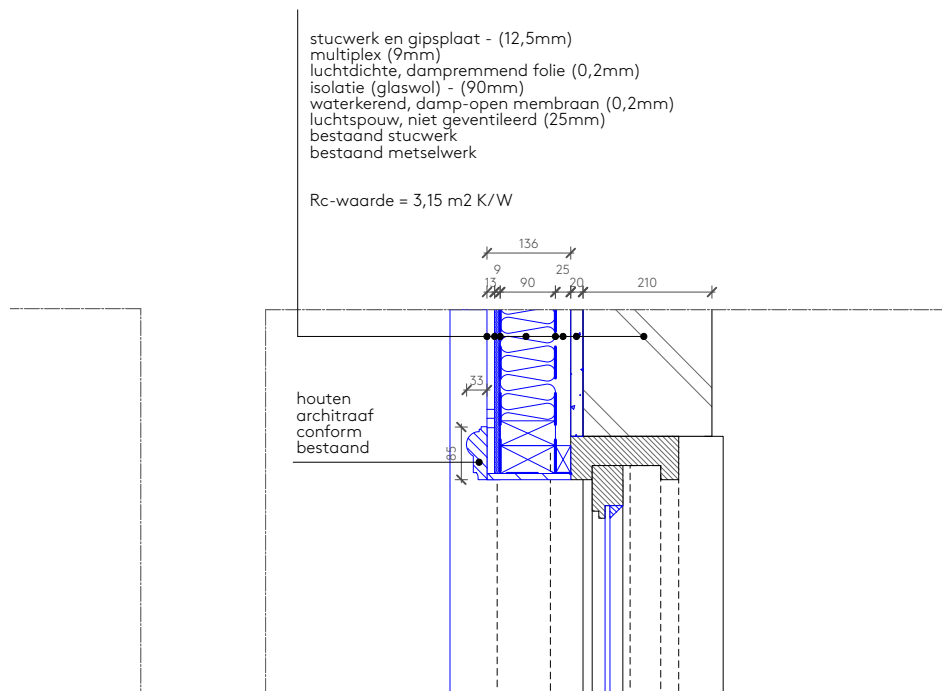
Waar koudebruggen onvermijdelijk zijn, moet zorgvuldig nagedacht worden over de consequenties. In het geval van deze renovatie is dat alleen bij de voor- en achtergevel, ter plaatse van de aansluitingen van de vloeren op de gevels. Aan weerszijden van het pand staan huizen, dus van koudebruggen is bij de zijwanden (en aansluitingen van de binnenmuren) geen sprake.

Bij de aansluiting van de vloeren op de buitengevels hebben we ervoor gekozen om de isolatie niet door te zetten. De balk, die aan de binnenzijde tegen de gevel aan ligt blijft daardoor relatief warm. Om te zorgen dat er tussen de warme balk en de koude buitenmuur (evenals rondom de gevelankers) geen condensatie optreedt, laten we de dampremmende folie wel helemaal doorlopen. Zo blijft de relatieve vochtigheid rondom de balk en gevelankers laag.



Principedetail van de na-isolatie t.p.v. de voorgevel (verticale doorsnede)

Hetzelfde geldt voor de dagkanten van de vensters. Ook hier pakken we de dagkanten in en laten we de dampremmende folie doorlopen tot aan het raamkozijn.



Principedetail van de na-isolatie t.p.v. de voorgevel (horizontale doorsnede)

7. VENTILATIE

Tot slot: het is bij alle ingrepen van belang dat er aandacht wordt besteed aan ventilatie. Niet ventileren of verkeerde ventilatie leidt tot een hoge relatieve luchtvochtigheid in een gebouw en kan bovendien tot gezondheidsklachten leiden.

De bij deze renovatie behorende ventilatieberekeningen en -voorzieningen zijn terug te vinden in de betreffende bijlagen (berekeningen en tekeningen ventilatie) bij deze aanvraag.

5.1, 2, e

9 maart 2024

Bloemgracht - Existing brick wall - updated

Buitenwand
aangemaakt op 15.3.2024

Thermische isolatie

$R_c = 3,16 \text{ m}^2\text{K/W}$

Bouwbesluit 2015*: $R_c > \text{m}^2\text{K/W}$



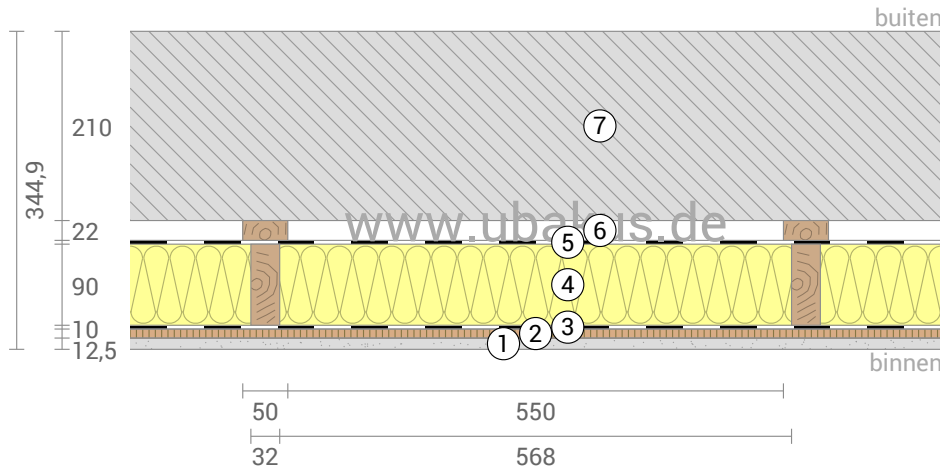
Vochtbescherming

Geen condensatiewater



Hittebescherming

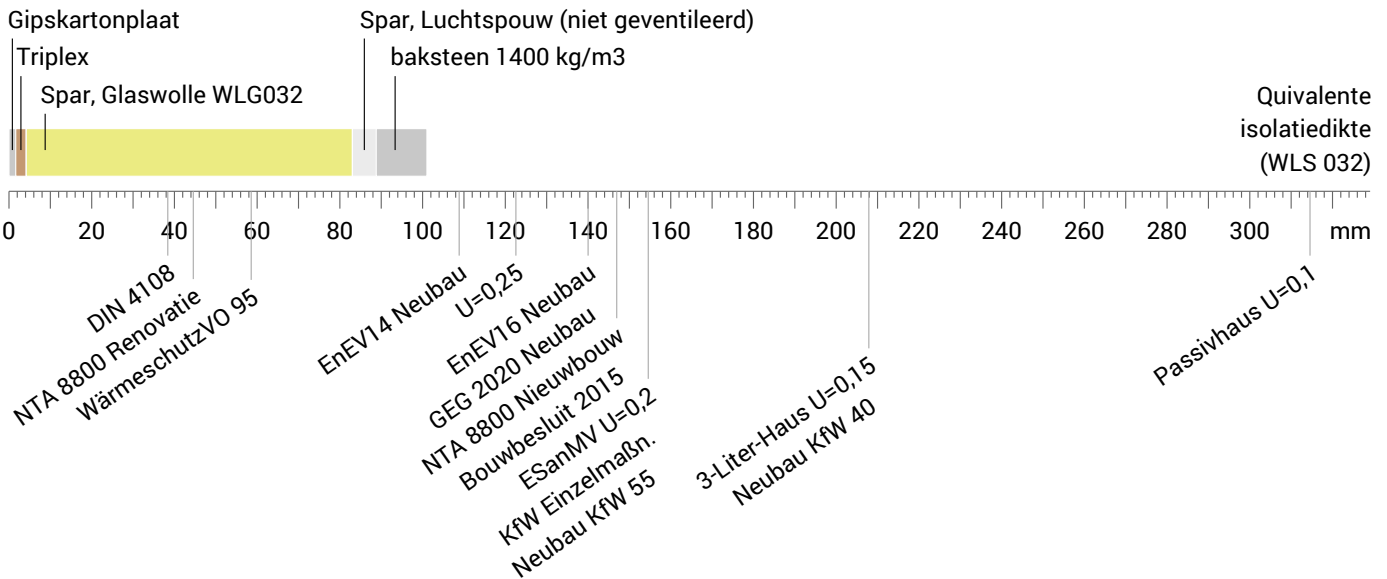
Temperatuur amplitude demping: 14
Faseverschuiving: 12,8 h
Warmtecapaciteit binnen: 38 kJ/m²K



- ① Gipskartonplaat (12,5 mm)
- ② Triplex (10 mm)
- ③ Knauf Insulation LDS 100
- ④ Glaswolle WLG032 (90 mm)
- ⑤ Knauf Insulation LDS 0.04
- ⑥ Luchtspouw (22 mm)
- ⑦ baksteen 1400 kg/m³ (210 mm)

Isolatie-effect van afzonderlijke lagen en vergelijking met referentiewaarden

De thermische weerstand van de afzonderlijke lagen is omgebouwd tot millimeters isolatiemateriaal. De weegschaal heeft betrekking op isolatiemateriaal van warmtegeleidingsvermogen 0,032 W/mK.



Kamerlucht: 20,0°C / 50%
Omgevingslucht: -5,0°C / 80%
Oppervlaktetemperatuur.: 17,3°C / -4,7°C

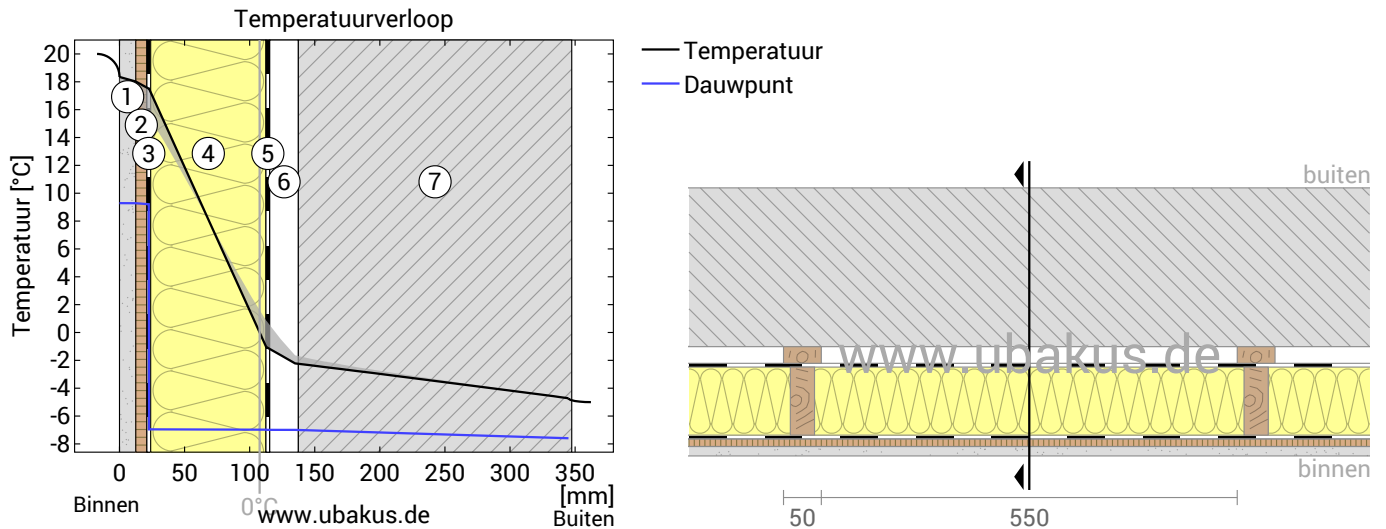
µd-waarde: 103,1 m

Dikte: 34,5 cm
Gewicht: 313 kg/m²
Warmtecapaciteit: 317 kJ/m²K

*Vergelijking met de grenswaarde volgens Bouwbesluit 2015 voor verticale uitwendige scheidingsconstructies van een verblijfsgebied, een toiletruimte of een badruimte.

Bloemgracht - Existing brick wall - updated, $R_c=3,16 \text{ m}^2\text{K/W}$

Temperatuurverloop



- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|
| ① Gipskartonplaat (12,5 mm) | ④ Glaswolle WLG032 (90 mm) | ⑦ baksteen 1400 kg/m ³ (210 mm) |
| ② Triplex (10 mm) | ⑤ Knauf Insulation LDS 0.04 | |
| ③ Knauf Insulation LDS 100 | ⑥ Luchtspouw (22 mm) | |

Links: Verloop van temperatuur en dauwpunt op het gemarkeerde punt in de afbeelding rechts. Het dauwpunt is de temperatuur waarbij waterdamp condenseert en condenswater wordt gevormd. Zolang de temperatuur van de constructie op elk punt boven de dauwpunt temperatuur ligt, wordt er geen condenswater geproduceerd. Als de twee curves elkaar raken, wordt er op de raakpunten condenswater geproduceerd.

Rechts: Schaaltekening van de constructie.

Lagen (van binnen naar buiten)

#	Materiaal	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatuur [°C]		Gewicht [kg/m ²]
				min	max	
Warmteovergangswaarde*						
1	1,25 cm Gipskartonplaat	0,250	0,050	17,3	20,0	8,5
2	1 cm Triplex	0,130	0,077	15,5	18,0	4,7
3	0,02 cm Knauf Insulation LDS 100	0,170	0,001	15,5	17,5	0,2
4	9 cm Glaswolle WLG032	0,032	2,813	-1,0	17,5	2,6
	9 cm Spar (5,3%)	0,130	0,692	0,9	15,8	2,2
5	0,02 cm Knauf Insulation LDS 0.04	0,270	0,001	-1,0	0,9	0,1
6	2,2 cm Luchtspouw (niet geventileerd)	0,124	0,177	-2,2	-0,1	0,0
	2,2 cm Spar (8,3%)	0,130	0,169	-1,7	0,8	0,8
7	21 cm baksteen 1400 kg/m ³	0,580	0,362	-4,7	-1,6	294,0
Warmteovergangswaarde*				-5,0	-4,7	
34,49 cm Gehele constructie			3,314			313,1

Warmteovergangswaarden volgens DIN 6946 voor de U-waardeberekening. Voor vochtbescherming en temperatuurverloop zijn $R_{si}=0,25$ en $R_{se}=0,04$ volgens DIN 4108-3 gebruikt.

Oppervlaktetemperatuur binnen (min. / medium / max.)	17,3°C	18,2°C	18,4°C
Oppervlaktetemperatuur buiten (min. / medium / max.)	-4,7°C	-4,7°C	-4,7°C

Bloemgracht - Existing brick wall - updated, $R_c=3,16 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vochtbescherming

Voor de berekening van de hoeveelheid condensatiewater werd de component gedurende 90 dagen blootgesteld aan het volgende constante klimaat: binnen: 20°C und 50% Luchtvochtigheid; buiten: -5°C und 80% Luchtvochtigheid. Dit klimaat voldoet aan DIN 4108-3.

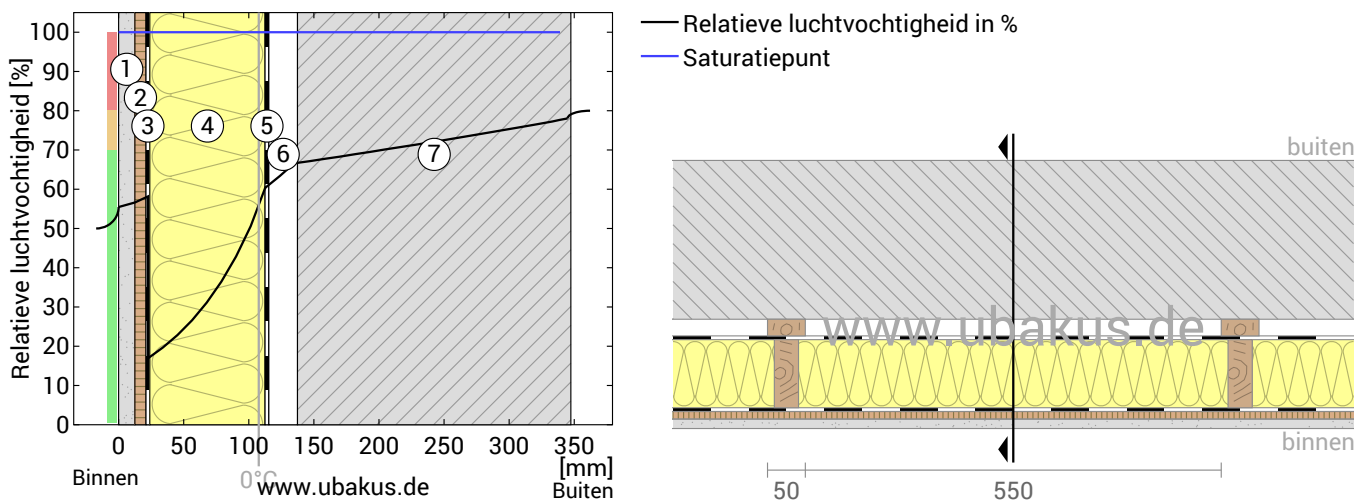
Onder de veronderstelde omstandigheden zal zich geen condensatie vormen.

#	Materiaal	μ -waarde [m]	Condenswater		Gewicht
			[kg/m ²]	[Gew.-%]	[kg/m ²]
1	1,25 cm Gipskartonplaat	0,05	-		8,5
2	1 cm Triplex	0,70	-	-	4,7
3	0,02 cm Knauf Insulation LDS 100	100,00	-		0,2
4	9 cm Glaswolle WLG032	0,09	-		2,6
	9 cm Spar (5,3%)	1,80	-	-	2,2
5	0,02 cm Knauf Insulation LDS 0.04	0,04	-		0,1
6	2,2 cm Luchtspouw (niet geventileerd)	0,01	-		0,0
	2,2 cm Spar (8,3%)	1,10	-	-	0,8
7	21 cm baksteen 1400 kg/m ³	2,10	-		294,0
	34,49 cm Gehele constructie	103,11	0		313,1

Luchtvochtigheid

De oppervlaktetemperatuur aan de kamerzijde is 17,3°C, wat resulteert in een relatieve luchtvochtigheid op het oppervlak van 59%. Onder deze omstandigheden is schimmelgroei niet te verwachten.

Het volgende diagram toont de relatieve luchtvochtigheid binnen de component.



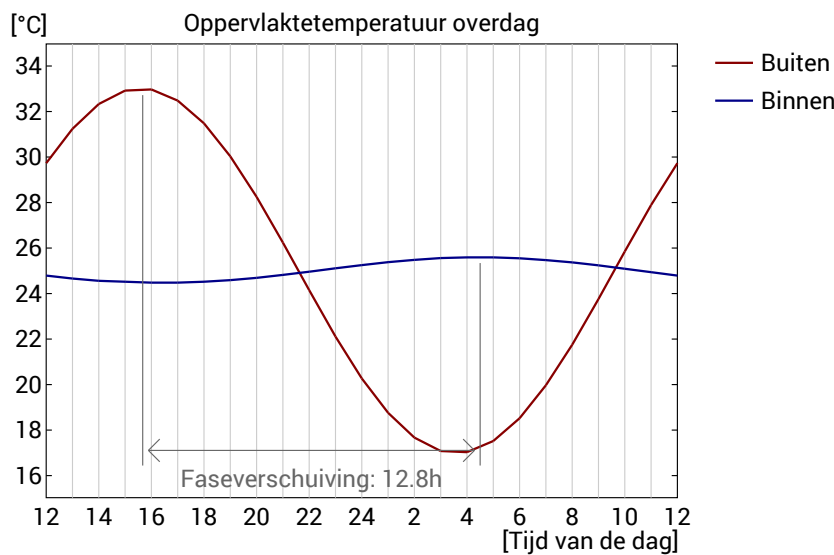
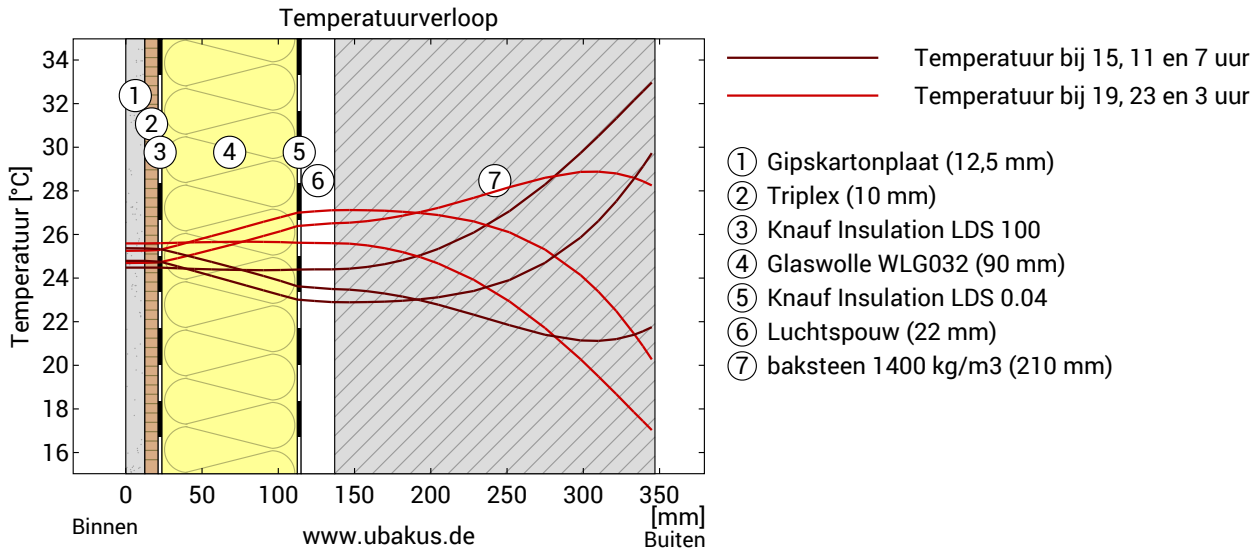
- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|
| ① Gipskartonplaat (12,5 mm) | ④ Glaswolle WLG032 (90 mm) | ⑦ baksteen 1400 kg/m ³ (210 mm) |
| ② Triplex (10 mm) | ⑤ Knauf Insulation LDS 0.04 | |
| ③ Knauf Insulation LDS 100 | ⑥ Luchtspouw (22 mm) | |

Opmerkingen: Berekening met behulp van de 2D-FE-methode van Ubakus. Convection en de capillariteit van de bouwmaterialen werden niet overwogen. De droogtijd kan langer duren onder ongunstige omstandigheden (schaduw, vochtige / koele zomers) dan hier berekend.

Bloemgracht - Existing brick wall - updated, $R_c=3,16 \text{ m}^2\text{K/W}$

Hittebescherming

De volgende resultaten zijn eigenschappen van de geteste component alleen en doen geen uitspraak over de hittebescherming van de hele kamer:



Bovenste figuur: Temperatuurprofiel binnen het component op verschillende tijdstippen. Bruine lijnen van boven naar beneden, bruine lijnen: om 15,11 en 7 uur en rode lijnen om 19,23 en 3 uur's ochtends.

Onderste figuur: Temperatuur aan de buitenkant (rood) en binnenzijde (blauw) oppervlak gedurende een dag. De zwarte pijlen geven de positie van de maximale temperatuurwaarden aan. De maximale binnentemperatuur dient zo mogelijk in de tweede helft van de nacht te worden bereikt.

Faseverschuiving*	12,8 h	Thermische opslagcapaciteit (complete constructie):	317 kJ/m ² K
Amplitude demping**	14,3	Warmteopslagcapaciteit van de binnenlagen:	38 kJ/m ² K
TAV****	0,070		

* De faseverschuiving geeft de tijd aan in uren waarna de maximale middagwarmte de binnenzijde van het constructie bereikt.

** Amplitude demping beschrijft de demping van de temperatuurgolf tijdens het passeren van de component. Een waarde van 10 betekent dat de temperatuur aan de buitenkant 10 keer zo hoog is als aan de binnenkant, bijv. 15-35°C buiten, binnen 24-26°C.

*** De temperatuuramplitude ratio TAV is de onderlinge verhouding van de demping: $TAV = 1/\text{Amplitude demping}$

Aanwijzing: De hittebescherming van een ruimte wordt beïnvloed door verschillende factoren, maar hoofdzakelijk door de directe zonnestraling door ramen en de totale hoeveelheid opslagmassa (inclusief vloer, binnenmuren en fittingen / meubels). Een enkele component heeft meestal slechts een zeer kleine invloed op de hittebescherming van de kamer.

Bovenstaande berekeningen werden gemaakt voor een 1-dimensionale dwarsdoorsnede van de component.

Bloemgracht - Existing roof - updated

Dakconstructie
aangemaakt op 15.3.2024

Thermische isolatie

$R_c = 3,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Bouwbesluit 2015*: $R_c > \text{m}^2\text{K/W}$



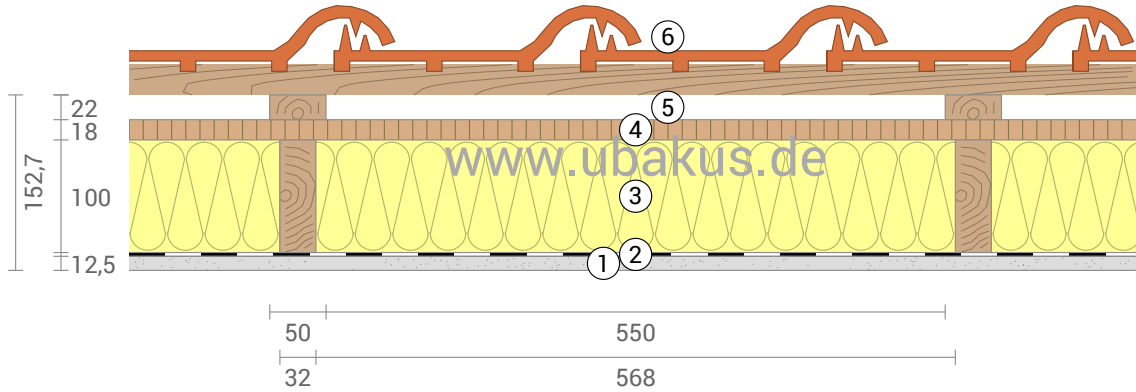
Vochtbescherming

Geen condensatiewater



Hittebescherming

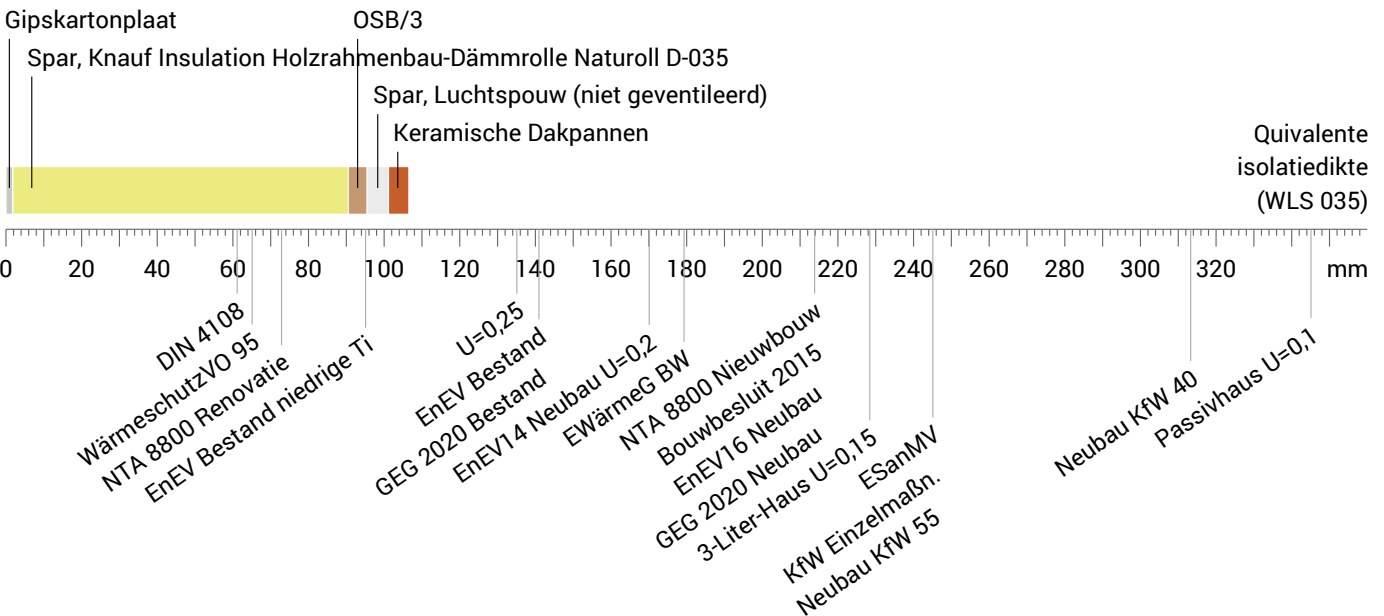
Temperatuur amplitude demping: 2,7
Faseverschuiving: 7,0 h
Warmtecapaciteit binnen: 14,8 kJ/m²K



- ① Gipskartonplaat (12,5 mm)
- ④ OSB/3 (18 mm)
- ② Knauf Insulation LDS 100
- ⑤ Luchtpouw (22 mm)
- ③ Knauf Insulation Holzrahmenbau-Dämmrolle Naturoll D-035 (100 mm)
- ⑥ Keramische Dakpannen (103 mm)

Isolatie-effect van afzonderlijke lagen en vergelijking met referentiewaarden

De thermische weerstand van de afzonderlijke lagen is omgebouwd tot millimeters isolatiemateriaal. De weegschaal heeft betrekking op isolatiemateriaal van warmtegeleidingsvermogen 0,035 W/mK.

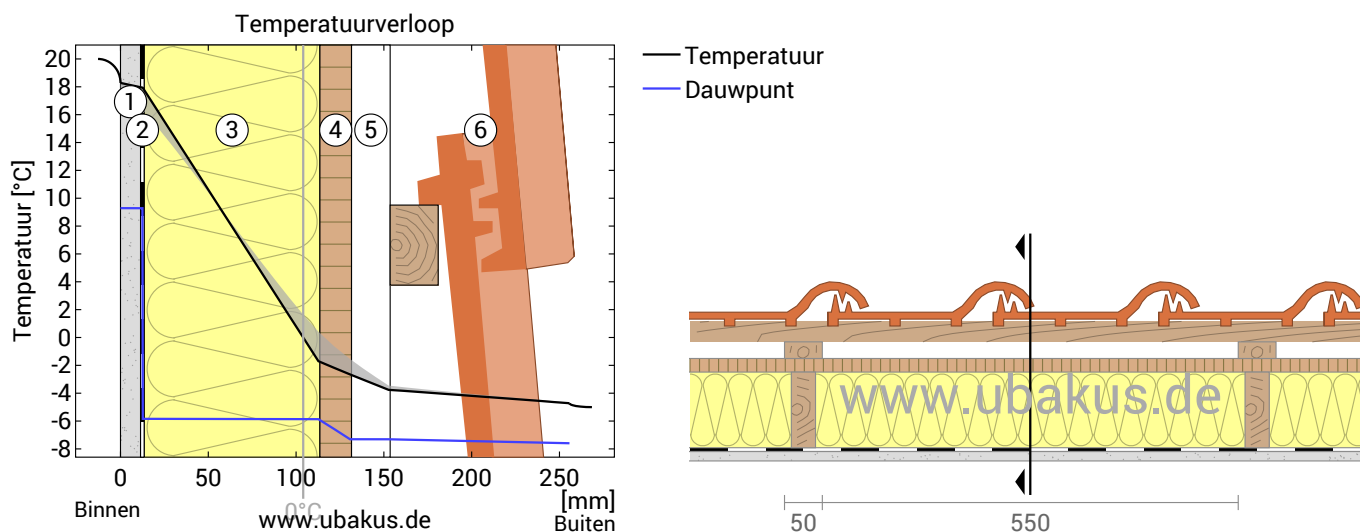


Kamerlucht:	20,0°C / 50%	Dikte:	25,6 cm
Omgevingslucht:	-5,0°C / 80%	Gewicht:	76 kg/m ²
Oppervlaktetemperatuur.:	17,1°C / -4,7°C	Warmtecapaciteit:	77 kJ/m ² K
	µd-waarde: 106,7 m		

*Vergelijking met de grenswaarde volgens Bouwbesluit 2015 voor horizontale en schuine uitwendige scheidingsconstructies.

Bloemgracht - Existing roof - updated, $R_c=3,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Temperatuurverloop



- ① Gipskartonplaat (12,5 mm) ③ Knauf Insulation Holzrahmenbau-D... ⑤ Luchtspouw (22 mm)
 ② Knauf Insulation LDS 100 ④ OSB/3 (18 mm) ⑥ Keramische Dakpannen (103 mm)

Links: Verloop van temperatuur en dauwpunt op het gemarkeerde punt in de afbeelding rechts. Het dauwpunt is de temperatuur waarbij waterdamp condenseert en condenswater wordt gevormd. Zolang de temperatuur van de constructie op elk punt boven de dauwpunt temperatuur ligt, wordt er geen condenswater geproduceerd. Als de twee curves elkaar raken, wordt er op de raakpunten condenswater geproduceerd.

Rechts: Schaaltekening van de constructie.

Lagen (van binnen naar buiten)

#	Materiaal	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatuur [°C]		Gewicht [kg/m ²]
				min	max	
	Warmteovergangswaarde*		0,100	17,1	20,0	
1	1,25 cm Gipskartonplaat	0,250	0,050	16,4	18,3	8,5
2	0,02 cm Knauf Insulation LDS 100	0,170	0,001	16,3	17,9	0,2
3	10 cm Knauf Insulation Holzrahmenbau-Dämmrolle Naturoll D-035	0,035	2,857	-1,7	17,9	1,9
	10 cm Spar (5,3%)	0,130	0,769	0,4	16,6	2,4
4	1,8 cm OSB/3	0,130	0,138	-2,7	0,4	11,2
5	2,2 cm Luchtspouw (niet geventileerd)	0,138	0,160	-3,8	-1,9	0,0
	2,2 cm Spar (8,3%)	0,130	0,169	-3,5	-1,5	0,8
6	10,3 cm Keramische Dakpannen	0,750	0,137	-4,7	-3,4	51,5
	Warmteovergangswaarde*		0,040	-5,0	-4,7	
	25,57 cm Gehele constructie		3,170			76,5

Warmteovergangswaarden volgens DIN 6946 voor de U-waardeberekening. Voor vochtbescherming en temperatuurverloop zijn $R_{si}=0,25$ en $R_{se}=0,04$ volgens DIN 4108-3 gebruikt.

Oppervlaktetemperatuur binnen (min. / medium / max.)	17,1°C	18,1°C	18,3°C
Oppervlaktetemperatuur buiten (min. / medium / max.)	-4,7°C	-4,7°C	-4,7°C

Bloemgracht - Existing roof - updated, $R_c=3,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vochtbescherming

Voor de berekening van de hoeveelheid condensatiewater werd de component gedurende 90 dagen blootgesteld aan het volgende constante klimaat: binnen: 20°C und 50% Luchtvochtigheid; buiten: -5°C und 80% Luchtvochtigheid. Dit klimaat voldoet aan DIN 4108-3.

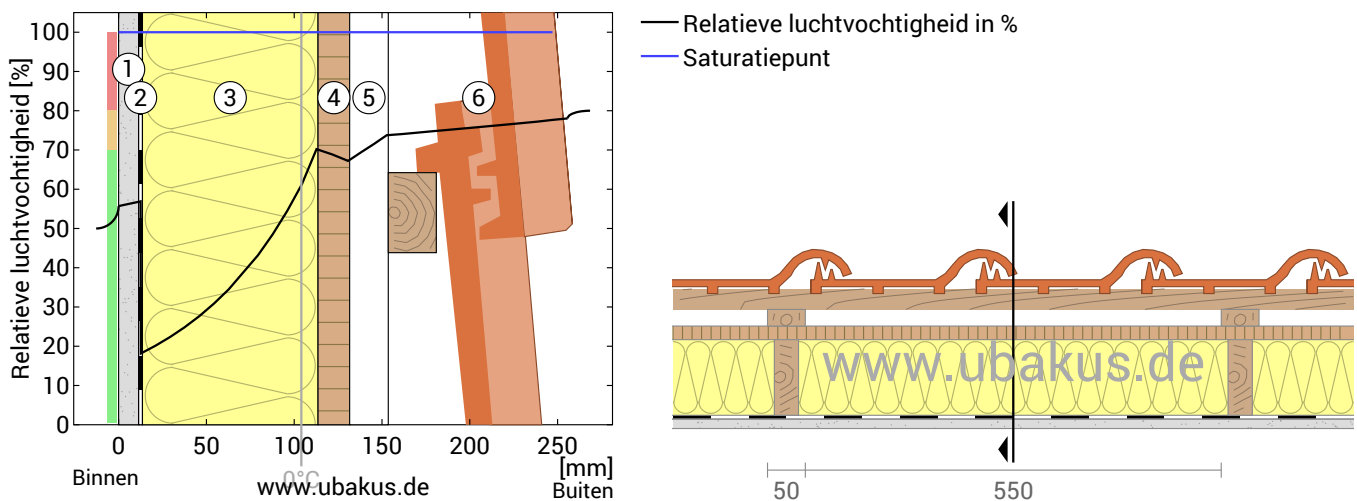
Onder de veronderstelde omstandigheden zal zich geen condensatie vormen.

#	Materiaal	μ -waarde [m]	Condenswater		Gewicht
			[kg/m ²]	[Gew.-%]	[kg/m ²]
1	1,25 cm Gipskartonplaat	0,05	-	-	8,5
2	0,02 cm Knauf Insulation LDS 100	100,00	-	-	0,2
3	10 cm Knauf Insulation Holzrahmenbau-Dämmrolle Naturoll D-035	0,10	-	-	1,9
	10 cm Spar (5,3%)	2,00	-	-	2,4
4	1,8 cm OSB/3	5,40	-	-	11,2
5	2,2 cm Luchtspouw (niet geventileerd)	0,01	-	-	0,0
	2,2 cm Spar (8,3%)	1,10	-	-	0,8
6	10,3 cm Keramische Dakpannen	1,03	-	-	51,5
	25,57 cm Gehele constructie	106,72	0	-	76,5

Luchtvochtigheid

De oppervlaktetemperatuur aan de kamerzijde is 17,1°C, wat resulteert in een relatieve luchtvochtigheid op het oppervlak van 60%. Onder deze omstandigheden is schimmelgroei niet te verwachten.

Het volgende diagram toont de relatieve luchtvochtigheid binnen de component.



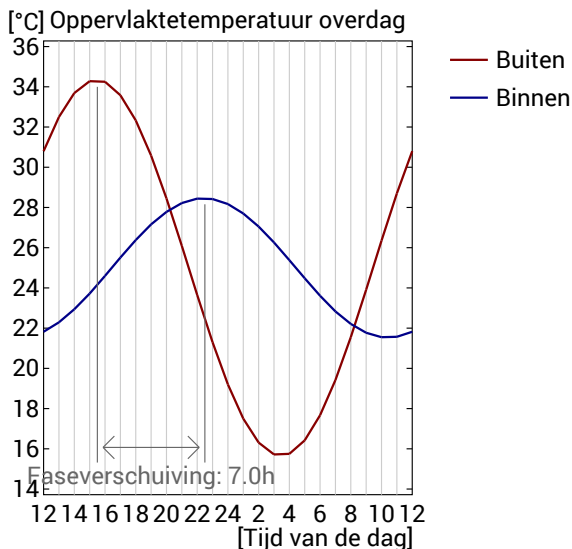
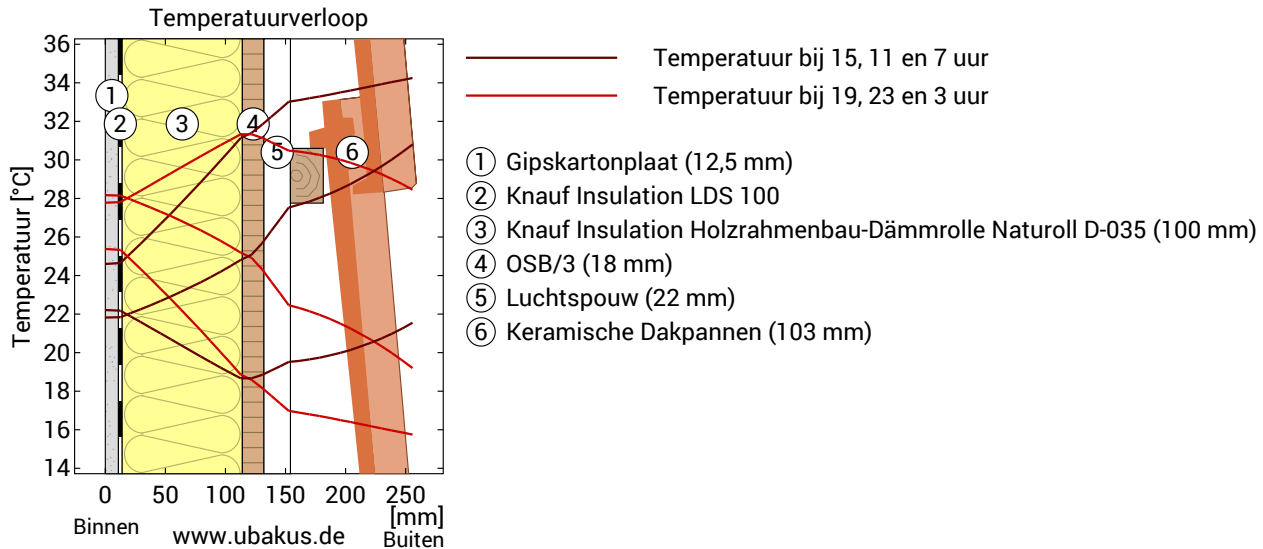
- ① Gipskartonplaat (12,5 mm) ③ Knauf Insulation Holzrahmenbau-D... ⑤ Luchtspouw (22 mm)
 ② Knauf Insulation LDS 100 ④ OSB/3 (18 mm) ⑥ Keramische Dakpannen (103 mm)

Opmerkingen: Berekening met behulp van de 2D-FE-methode van Ubakus. Convection en de capillariteit van de bouwmaterialen werden niet overwogen. De droogtijd kan langer duren onder ongunstige omstandigheden (schaduw, vochtige / koele zomers) dan hier berekend.

Bloemgracht - Existing roof - updated, $R_c=3,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Hittebescherming

De volgende resultaten zijn eigenschappen van de geteste component alleen en doen geen uitspraak over de hittebescherming van de hele kamer:



Bovenste figuur: Temperatuurprofiel binnen het component op verschillende tijdstippen. Bruine lijnen van boven naar beneden, bruine lijnen: om 15,11 en 7 uur en rode lijnen om 19,23 en 3 uur's ochtends.

Onderste figuur: Temperatuur aan de buitenkant (rood) en binnenzijde (blauw) oppervlak gedurende een dag. De zwarte pijlen geven de positie van de maximale temperatuurwaarden aan. De maximale binnentemperatuur dient zo mogelijk in de tweede helft van de nacht te worden bereikt.

Faseverschuiving*	7,0 h	Thermische opslagcapaciteit (complete constructie):	77 kJ/m ² K
Amplitude demping**	2,7	Warmteopslagcapaciteit van de binnenlagen:	14.8 kJ/m ² K
TAV****	0,371		

* De faseverschuiving geeft de tijd aan in uren waarna de maximale middagwarmte de binnenzijde van het constructie bereikt.

** Amplitude demping beschrijft de demping van de temperatuurgolf tijdens het passeren van de component. Een waarde van 10 betekent dat de temperatuur aan de buitenkant 10 keer zo hoog is als aan de binnenkant, bijv. 15-35°C buiten, binnen 24-26°C.

*** De temperatuuramplitude ratio TAV is de onderlinge verhouding van de demping: $TAV = 1/\text{Amplitude demping}$

Aanwijzing: De hittebescherming van een ruimte wordt beïnvloed door verschillende factoren, maar hoofdzakelijk door de directe zonnestraling door ramen en de totale hoeveelheid opslagmassa (inclusief vloer, binnenmuren en fittingen / meubels). Een enkele component heeft meestal slechts een zeer kleine invloed op de hittebescherming van de kamer.

Bovenstaande berekeningen werden gemaakt voor een 1-dimensionale dwarsdoorsnede van de component.