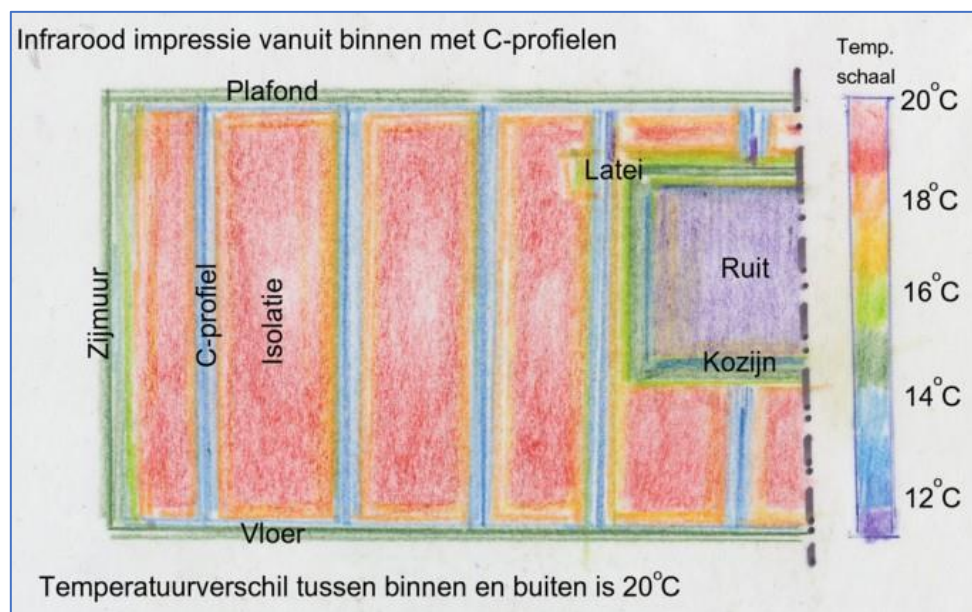


Lange Warmtelekken Vermijden bij Binnenzijdige Gevel Na-isolatie met berekening van verschillende constructie oplossingen.



Bij de toepassing van goede isolatie tussen metalen C-profielen (studs) ontstaan **lange warmtelekken**, die slechts 1/1000^{ste} van de isolatiewaarde hebben van het isolatiemateriaal. Hierdoor wordt de Rc-waarde van de gevel over lange stroken sterk verminderd. De isolatiewaarde van de hele muur met on-geïsoleerde C-profielen kan tot wel 25% minder zijn dan de beoogde isolatiewaarde. Deze **lange warmtebruggen** vanwege de ondersteuningsconstructies kunnen verminderd worden of zelfs vermeden door deze C-profielen op een isolatieplaat te zetten of op van stroken hoogwaardig isolatiemateriaal zoals Bluedec. In iets mindere mate geldt dat voor houten regels.

Aanbeveling: Het verschil tussen de isolatiewaarde van de gevel + isolatie en de isolatiewaarde van de gevel + ondersteuningsconstructie moet $\leq 10\%$ zijn.

1. Isolatie van de thermische buitenschil

Om verwarmingsenergie (en kosten) te besparen is een goede isolatie van de buitenschil (vloer, muren, ramen/deuren en het dak) van het gebouw essentieel.

Een on-geïsoleerde spouwmuur of steensmuur heeft een isolatiewaarde van $R_c \approx 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Een met isolatiemateriaal (korrels, vlokken) gevulde 5 cm spouwmuur heeft een $R_c \approx 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Dit is dus een isolatieverbetering van ongeveer driemaal¹ en heeft een erg hoog-energetisch/financieel rendement. De 2021 nieuwbouw minimumnorm voor gevelisolatie $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, dus nogmaals ongeveer drie keer zo goed.

Deze nieuwbouw norm-waarde is op zich nog geen garantie voor het bereiken van de voorgenomen (2021) BENG 1-eisen van een maximaal energie verbruik van 70 kWh/m² per jaar. De toepassing van balansventilatie speelt een belangrijke rol en ook het bewonersgedrag is mede bepalend.

De isolatiekosten van de binnenzijde van de gevel is meestal veel goedkoper per m² dan de vervanging van ruiten, ramen en kozijnen. Het energetisch/financiële rendement voor gevelisolatie is daardoor beter. Dit is vooral zo wanneer het met Doe Het Zelf (DHZ) wordt uitgevoerd.

Figuur 1.

Minimum nieuwbouwnormen
sinds 2021 met R_c -waarde.

Begane grond vloer of
aansluitend op grond.

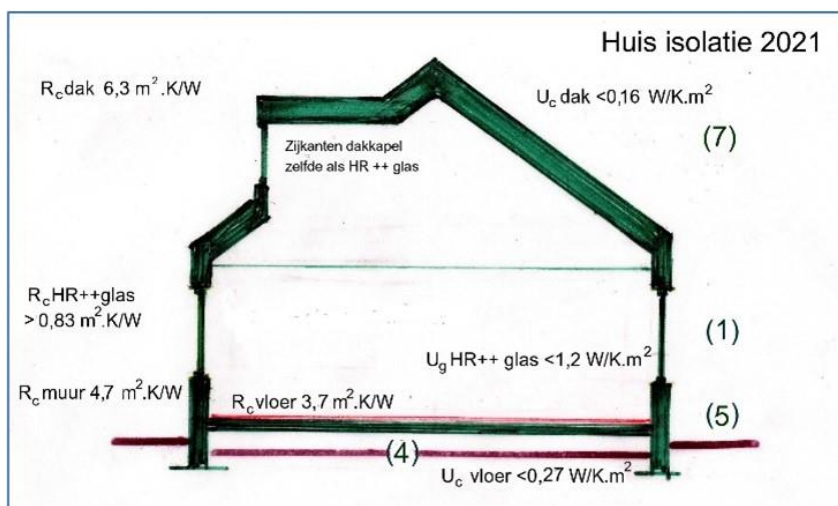
Minimumnorm

$R_c = 3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Buitenmuren minimumnorm $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Dakconstructie, plat of hellend
 $R_c = 6,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Ramen, deuren, dakkapel, glas
en kozijnen $U_g = < 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
oftewel $R_c > 0,833 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
(HR⁺⁺)



Voor informatie zie: https://www.milieuentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/isoleren-en-besparen/spouwmuurisolatie/?gclid=EAIaIQobChMI4daage2c6AIVVeN3Ch2m4AR1EAAYBCAAEgKo_PD_BwE

En bijvoorbeeld: <https://www.spouwmuurisolatie-info.nl/spouwmuur-minimale-dikte/>

Het verschil tussen binnenzijdige en buitenzijdige isolatie zie document www.nienhuys.info

De mogelijkheden voor de toepassing van DUNNE binnenzijdige muurisolatie zie www.nienhuys.info

¹ Dat is dan ook 1/3^{de} van de hoeveelheid warmte-energie die door dat oppervlakte verloren gaat.

2. Lange warmtelekken vermijden bij binnenzijdige gevelisolatie

Een specifiek probleem van binnenzijdige gevelisolatie is de dikte van conventionele bouwmaterialen zoals glaswol en steenwol die een toegevoegde isolatiedikte van 10 cm ($R_c = 2,5$), 15 cm ($R_c = 3,75$) of 20 cm ($R_c = 5,0$) vragen om de 2021 nieuwbouw isolatienorm te halen voor de vloer, de muren of het dak. Door de grote dikte wordt de woonruimte kleiner, hetgeen een serieus probleem oplevert in kleine woningen of onder schuine daken.

Een algemeen probleem van de meeste constructies van binnenzijdige gevelisolatie is dat de vele ondersteuningsregels voor die binnenafwerking (gipsplaat, OSB², MDF etc.) direct op de binnenzijde van de slecht geïsoleerde buitenmuur of dakbeschot worden bevestigd en daarmee warmtebruggen³ vormen tussen de on-geïsoleerde gevel/dak en de binnenkant.

Figuur 2.
Internetfoto's:
Links een voorbeeld van houten regels of staanders (met steenwolisolatie 10-12 cm) en rechts metalen studs of C-profielen (met glaswolisolatie 8-10 cm).



In beide situaties zitten de verticale regels of steunen direct tegen de buitenmuur aan, waardoor de warmte van binnen via deze regels sneller afvloeit naar die koude buitenmuur dan via het dikke isolatiemateriaal. In een warme zomer en met de zon op de buitenmuur/dak gaat het andersom; de warmte van de buitenmuur komt dan via deze regels naar binnen.

De volgende Internet afbeeldingen adviseren gelijksoortige isolatiemethoden (dus fout).



Figuren 3. Plat dak met alleen isolatiemateriaal tussen de dakbalken en de dakbedekking op de balken. De houten balken hebben 1/5^{de} van de isolatiewaarde van het isolatiemateriaal (glaswol/steenwol) en veroorzaken daarom lange warmtelekken.

Rechts: De stalen balk heeft slechts 1/1000^{ste} van de isolatiewaarde van de glaswol. In deze situatie kan erin de winter condens op het plafond ter plaatse van de stalen balk optreden.

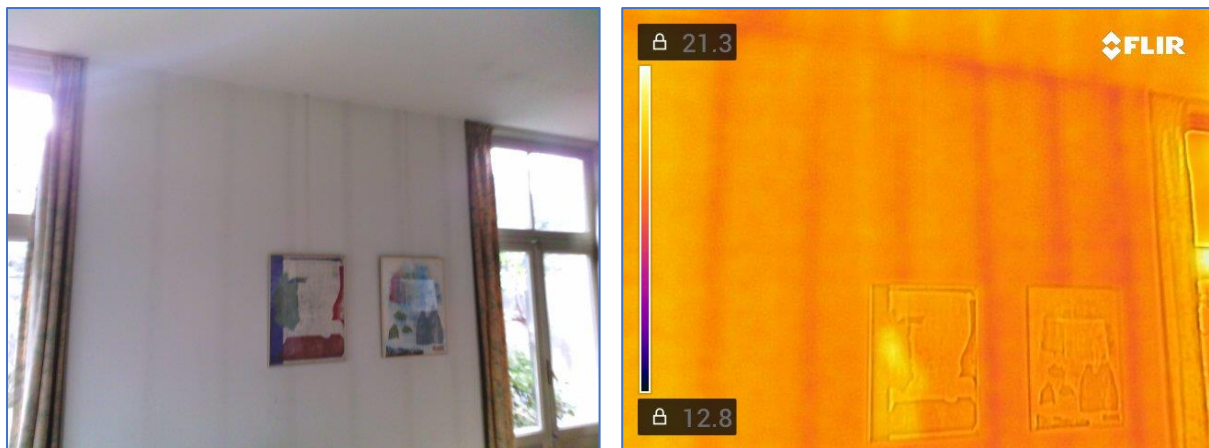
² OSB = Oriënted Strand Board is een sterke spaanplaat met extra lange vezels.

³ Sommige leken gebruiken de ingeburgerde term 'koudebrug' maar dat is fysisch onjuist, want het is niet de koude die zich verplaatst of binnenkomt, maar de warmte die er uitgaat (warmtestroom). Warmte is een sterke moleculaire trilling en koude het gebrek daaraan. De uitdrukkingen 'thermische brug' of 'thermisch lek' zijn ook correct. Via conductie (door materiaal), convectie (via stroming b.v. lucht) of straling verdwijnt de warmte.

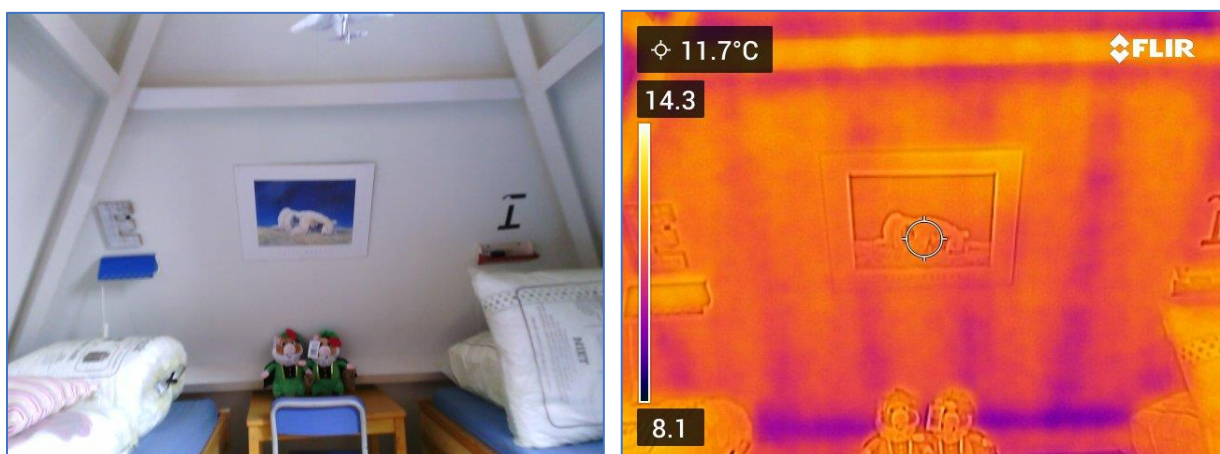


Figuren 4. Schuine dakisolatie tussen de gordingen creëert lange warmtelekken. Links: Hier is het beter om tussen de kepers, over de gordingen eveneens een laag isolatiemateriaal toe te passen waardoor er slechts op de kruisingen tussen kepers en gordingen een klein warmtelek overblijft. Slechts door op de gordingen (binnen of buiten) een hoogwaardig isolatiemateriaal te plaatsen wordt warmtelek dit voorkomen.

Het effect van de hierboven geïllustreerde isolatiemethoden is zichtbaar bij buitenmuren en daken met behulp van een Infraroodcamera. De temperatuurschaal geeft de relatie kleur en temperatuur.



Figuren 5. Steens buitenmuur met tengels, steenwol en gipsplaat. Vanwege de warmtelekken zijn de regels kouder en treedt er in de winter condens op ter plaatse van deze regels. Omdat er in deze woning veel gerookt werd, kleefde de teer van de rook op de condens en veroorzaakte op de duur de donkere strepen.



Figuren 6. Zolder slaapkamer. Dakbeschot met beperkte isolatie tussen de gordingen. Ook hier is te zien dat de regels voor de bevestiging van de gipsplaten niet geïsoleerd zijn en daarom lange warmtelekken veroorzaken. De gemiddelde isolatiewaarde van de constructie wordt hierdoor sterk verminderd. Door isolatiemateriaal ook op de regels toe te passen worden dit soort lange warmtelekken verminderd.



Figuren 7. Bij begane grondvloer isolatie is het effect van gebrek aan isolatie op of onder de balken minder omdat het temperatuurverschil met de bodem hier minder is dan buiten bij de gevel of het dak.

Links: Bij metalen profielen of betonbalkjes in combinatie met EPS-invalblokken wordt meestal onder de balkjes ook EPS aangebracht. Bij een betonnen druklaag zal het beton temperatuurverschillen nivelleren.

Midden: In deze situatie zullen de balken extra afkoelen en zullen er wel lange warmte lekken ontstaan.

Rechts: Onder de vloer moet de isolatie bij voorkeur onder de balken doorlopen zoals bij Tonzon of PIF-dekens.

De problematiek van deze isolatiemethode wordt in de volgende berekeningen aangetoond voor binnenzijdige voorzetwanden, maar het principe geldt eveneens voor daken en vloeren.

Met een eenvoudige rekensom is dit aan te tonen (schets). Dikte in m x $1/\lambda$ of dikte x R m.K/W.

Geïsoleerde muurdoorsnede a-a

Inclusief de overgangswaarden is de Rc spouwmuur = 1,70 m².K/W

Pleisterlaag binnenzijde 2 cm Rc = 0,02 m x 1 m.K/W = 0,02 m².K/W

16cm steen/glaswol Rc = 0,16 m x 25 m.K/W = 4,00 m².K/W

Damp-remmende PE-folie geen waarde.

12mm gipsplaat Rc = 0,012 m x 1,7 m.K/W = 0,02 m².K/W

Totale isolatiewaarde 90% muuroppervlak = 5,74 m².K/W

Geïsoleerde muurdoorsnede b-b

Inclusief de overgangswaarden is de Rc spouwmuur = 1,70 m².K/W

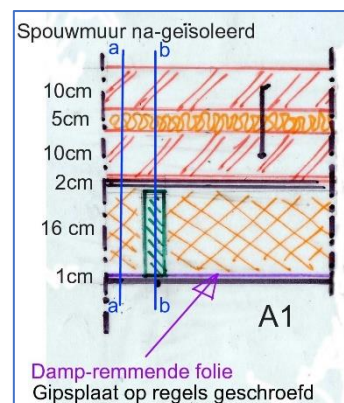
Pleisterlaag binnenzijde 2 cm Rc = 0,02 m x 1 m.K/W = 0,02 m².K/W

16cm houten regel⁴ Rc = 0,16 m x 5 m.K/W = 0,80 m².K/W

Damp-remmende PE-folie geen waarde.

12mm gipsplaat Rc = 0,012 m x 1,7 m.K/W = 0,02 m².K/W

Totale isolatiewaarde 10% van muuroppervlak = 2,54 m².K/W



De doorsnede b-b is minder dan de helft geïsoleerd vergeleken de rest van het a-a oppervlak en zal daardoor bij een infrarood camerabeeld de warmtelekken vertonen ter plaatse van de regels.

Eventueel condensatie op deze zones is mogelijk. Zie afbeeldingen figuren 5 en 6.

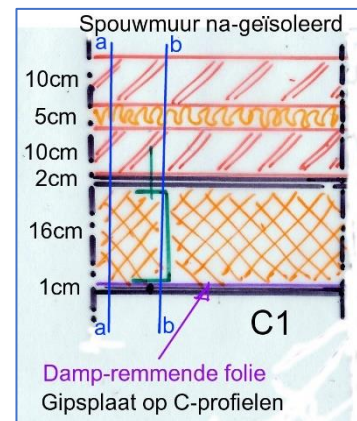
Als de 5 cm brede regels h.o.h. 60 cm zitten (maatvoering gipsplaten) dan is de tussenruimte 55 cm. De gemiddelde isolatiewaarde van de muur is dan $(55 \times 5,74 + 5 \times 2,54)/60 = 5,47 \text{ m}^2.\text{K/W}$, echter de warmte kiest de weg van de minste weerstand en zal daarom via deze lange warmtelekken (regels) wegvloeien, en ook langs de twee horizontale regels onder en boven waar ze bevestigd zijn.

Voor een na-geïsoleerde spouwmuur met C-profielen kan de volgende berekening gemaakt worden:

⁴ De isolatiewaarde van massief hout is 1/5^{de} de van de isolatiewaarde van steenwol/glaswol.

Geïsoleerde muurdoorsnede a-a

Inclusief de overgangswaarden is de Rc spouwmuur = 1,70 m².K/W
Pleisterlaag binnenzijde 2 cm Rc = 0,02 m x 1 m.K/W = 0,02 m².K/W
16cm steen/glaswol Rc = 0,16 m x 25 m.K/W = 4,00 m².K/W
Damp-remmende PE-folie geen waarde.
12 mm gipsplaat Rc = 0,012 m x 1,7 m.K/W = 0,02 m².K/W
Totale isolatiewaarde = 5,74 m².K/W



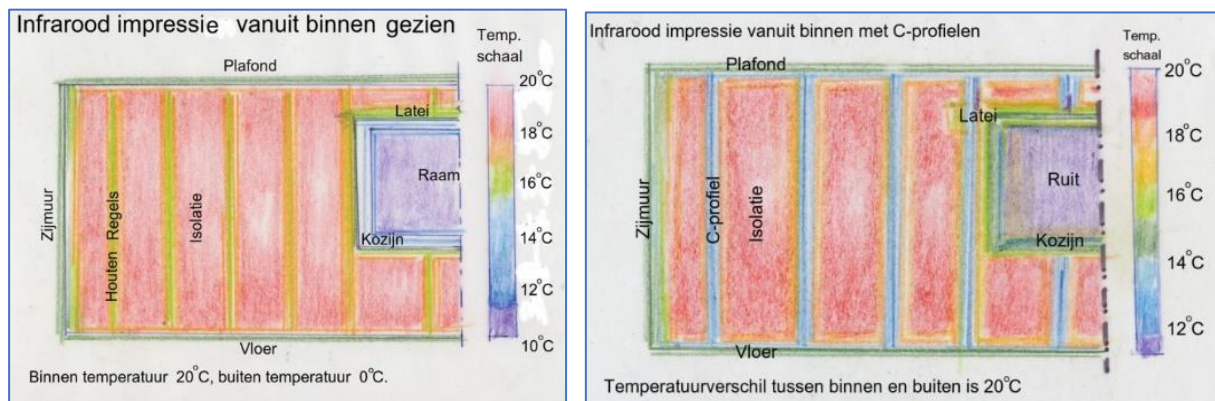
Geïsoleerde muurdoorsnede b-b

Inclusief de overgangswaarden is de Rc spouwmuur = 1,70 m².K/W
Pleisterlaag binnenzijde 2 cm Rc = 0,02 m x 1 m.K/W = 0,02 m².K/W
16cm metalen C-profiel Rc = 0,16 m x 0,02 m.K/W = 0,0032 m².K/W
Damp-remmende PE-folie geen waarde.
12 mm gipsplaat Rc = 0,012 m x 1,7 m.K/W = 0,02 m².K/W
Totale isolatiewaarde = 1,743 m².K/W

De doorsnede b-b heeft iets minder dan 1/3^{de} van de berekende waarde van doorsnede a-a en is daarmee ook onvoldoende. De gemiddelde isolatiewaarde van de muur is dan (55 x 5,74 + 5 x 1,74)/60 = 5,4 m².K/W.

Hoe dunner de aan de spouwmuur toegevoegde isolatie is, hoe meer effect het warmtelek heeft. Bij een isolatiedikte van 10 cm glaswol wordt de berekening: Doorsnede a-a Rc = 4,25 . De gemiddelde isolatiewaarde van de muur is dan (55 x 4,25 + 5 x 1,74)/60 = 4,04 m².K/W.

Met een warmtebeeldcamera zouden de beelden van beide muren er ongeveer als volgt uitzien:



Figuren 10. Links met de houten regels en binnenzijdige muurisolatie.

Rechts met de C-profielen toont een veel hoger warmteverlies t.p.v. de metalen C-profielen.

Hoe dunner het isolatiemateriaal zal zijn, hoe groter de invloed is van de ondersteuningsregels en hoe groter het temperatuurverschil zal tonen. Hoe slechter de isolatiewaarde van de regels zelf ook.

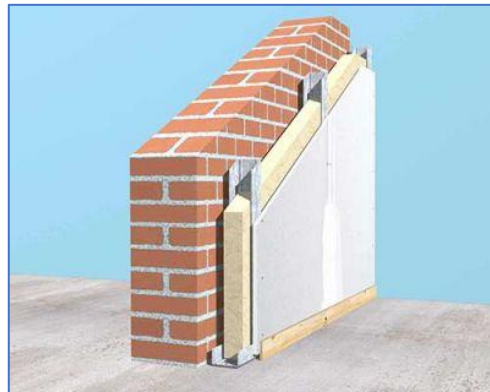
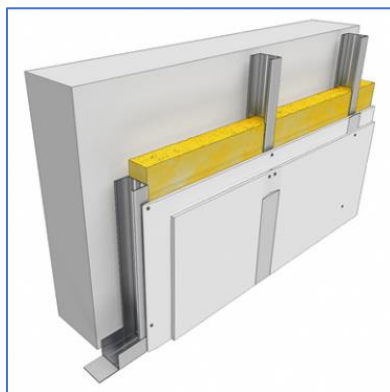
Het bovengeschetste probleem zal zich voordoen bij de zowel binnenzijdige muurisolatie als buitenzijdige muurisolatie. Bij buitenzijdige muurisolatie zijn de dragende profielen meestal zoveel mogelijk los van de muur om warmte contactverlies te voorkomen.

Figuur 11. Isolatie op kale bouwblokken.



In iets mindere mate zal het warmteverlies in de volgende ontwerpen minder zijn, omdat er een ruimte zit (isolerende luchtlaag) tussen de C-profielen en de buitenmuur. Een verticale spouw > 2 cm geeft een isolatiewaarde van ongeveer $R_c = 0,2$.

Figuren 12. Bij deze twee ontwerpen creëert de verticale luchtlaag van 25 mm een isolatiewaarde van $R_c = 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, hetgeen echter niet voldoende is om de grote warmtedoorgang van de C-profielen te compenseren. Het dikker maken van die luchtspouw dan 2 cm verhoogt niet de isolatiewaarde.



Luchtspouwen hebben een beperkte isolerende werking afhankelijk van de dikte en positie en kunnen gebruikt worden om de isolatie in een constructie te verhogen. De onderstaande tabel geeft de verschillen weer voor droge lucht zonder circulatie (convectie). Bij het dikker worden van de spouw ontstaat convectie en reduceert de isolatiewaarde. De gemiddelde overgangswaarde van een vrijstaand oppervlak in een woning (niet in de buitenlucht) is $R_c = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ voor een niet-glad oppervlak.

Reflecterende folies (HRF) in combinatie met een luchtspouw aan de reflecterende kant hebben hoger isolerend effect dan alleen een luchtspouw bij gewoon bouw materiaal. Dat komt omdat HRF een extra lage emissiewaarde heeft van $\epsilon \approx 0,1$ en bouwmaterialen een $\epsilon \approx 0,95$.

#	Dikte luchtlaag in mm	Horizontale spouw met warmtebron onder: weerstand naar boven ↑	Verticale spouw met horizontaal warmte transport ← & →	Horizontale spouw met warmtebron boven: weerstand naar beneden ↓	Tonzon reflecterende folie (HRF2) ← & →
a	5	0,11	0,11	0,11	0,3
b	7	0,13	0,13	0,13	0,4
c	10	0,15	0,15	0,15	0,5
d	15	0,16	0,17	0,17	0,6
e	20	0,16	0,175	0,18	0,7
f	25	0,16	0,18	0,19	0,7
g	> 50	0,16	0,18	0,21	0,7

Hoog Reflecterende Folie, 2-zijdig (HRF2) heeft een extreem lage emissiecoëfficiënt en blokkeert daarmee de warmteafgifte. In combinatie met een >2 cm luchtlaag is het een effectieve isolator. Door meerdere lagen toe te passen wordt een hoge isolatiewaarde verkregen.

Wanneer de warmtestraling van boven naar beneden is (vloeren) loopt de isolatiewaarde op tot 1,0. Bij een warmtestraling van onderen naar boven is de isolatiewaarde iets minder met $\approx 0,6$.

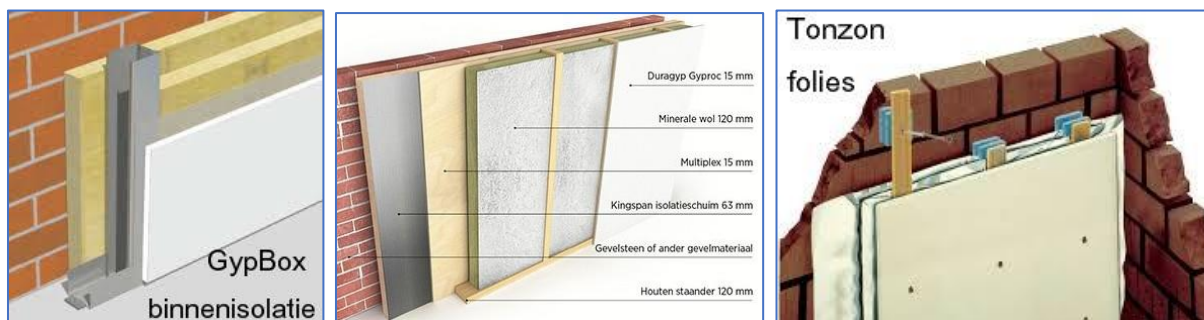
Multifolies zijn op dit principe gebaseerd, maar zijn vaak overgewaardeerd.

Voor gedetailleerde uitleg zie bijlage van DUNNE binnenzijdige muurisolatie op www.nienhuys.info

3. Isolatie tussen de muur en de houten regels of C-profielen (*studs*).

Vanwege de matige isolatie van de houten regels (1/5^{de} van steenwol), en de bijna nul-isolatie van de metalen C-profielen (1/1000^{ste} van steenwol) is het een betere maatregel om deze steunen op een goede isolatieplaat of hoogwaardige isolatie (Bluedec) te monteren (anders dan met alleen een luchtspouw), zodat er veel minder warmteoverdracht van deze regels op de muur is.

Bij de volgende ontwerpen zit er eerst (goed) isolatiemateriaal op de muur, en daarop de regels of C-profielen. Hoe dikker en beter het isolatiemateriaal is, hoe beter de isolatie.



Figuren 13. Bij de eerste afbeeldingen (GypBox) zit er een ≈ 60 mm steen-/glaswol/PIR isolatieplaat tegen de muur, het vrijstaande C-profiel (op de grond en het plafond geschroefd) met nog eens ≈ 60 mm steen-/glaswol, een damp-remmende laag en de gipsplaat. Daarop komt de afwerkdecoratie. Bij Tonzon zit er XPS op de muur.

De berekende isolatiewaarde over Gypbox twee lagen steenwol isolatie is als volgt:	m ² .K/W	De berekende isolatiewaarde over de C-profielen:	m ² .K/W
Inclusief de overgangswaarden is de Rc spouwmuur =	1,70	Inclusief de overgangswaarden is de Rc spouwmuur =	1,70
12 cm glaswol Rc = 0,12 m x 25 m.K/W =	3,00	6 cm glaswol Rc = 0,06 m x 25 m.K/W =	1,50
Damp-remmende PE-folie geen waarde.	0	6 cm C-profiel Rc = 0,06 m x 0,02 m.K/W	0,0012
12 mm gipsplaat Rc = 0,012 m x 1,7 m.K/W =	0,02	Damp-remmende PE-folie geen waarde.	0
		12 mm gipsplaat Rc = 0,012 m x 1,7 m.K/W	0,02
Muur + 132 mm Totale isolatiewaarde	4,72	Muur + 132 mm Totale isolatiewaarde	3,22

De gemiddelde nieuwe muurisolatie komt hiermee op $(55 \times 4,72 + 5 \times 3,22)/60 = 4,6$ m².K/W

Bij de middelste afbeelding heeft de gecacheerde PIR-plaat (Kingspan® 63 mm, Therma) de damp-remmende functie. De 15 mm multiplex plaat is met lange schroeven aan de muur bevestigd. Deze lange schroeven kunnen kleine spot-vormige warmtelekken veroorzaken.

De slecht isolerende multiplex plaat zal een spreiding van de warmte opleveren. Hierop zijn de regels bevestigd met de steen-/glaswol ertussen en daarop de 15 mm gipsplaat. De berekening is als volgt:

De berekende isolatiewaarde over de twee Kingspan isolatielagen is als volgt:	m ² .K/W	De berekende waarde over de isolatie en de C-profielen:	m ² .K/W
Spouwmuur =	1,70	Spouwmuur =	1,70
63 mm PIR plaat Rc = 0,063 m x 40 m.K/W =	2,52	63mm PIR plaat Rc = 0,063m x 40 m.K/W =	2,52
15 mm Multiplex plaat 0,015 m x 5 m.K/W =	0,075	15mm Multiplex plaat 0,015 x 5 m.K/W =	0,075
120 mm minerale wol 0,12 m x 25 m.K.W =	3,00	120mm C-profiel 0,12 x 0,02 m.K.W =	0,0024
15 mm gipsplaat Rc = 0,015 m x 1,7 m.K/W =	0,0255	15mm gipsplaat Rc = 0,015m x 1,7 m.K/W =	0,0255
Muur + 213 mm Totale isolatiewaarde	7,32	Muur + 213 mm Totale isolatiewaarde	4,32

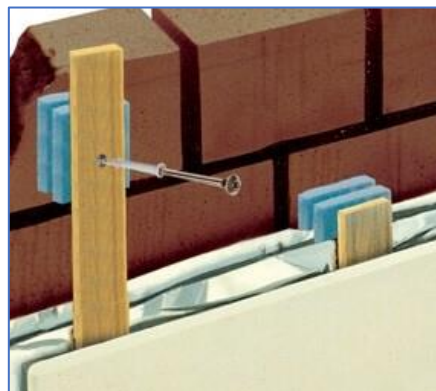
De gemiddelde muurisolatie komt hiermee op $(55 \times 7,3 + 5 \times 4,3)/60 = 7,04$ m².K/W

Bij een betere kwaliteit PIR-plaat of Recticel zal de isolatiewaarde nog hoger worden.

De binnenzijdige muurisolatie met Tonzon® folies (HRF2-folie) is gebaseerd op de lage emissiewaarde van deze gemetalliseerde polyester folies in combinatie met een luchtlaag. Zoals de bovenstaande tabel laat zien is 2 cm de optimale luchtlaag; bij dickere luchtlagen gaat convectie een rol spelen.

Om warmtebruggen tussen de folies te voorkomen zijn er in plaats van de slecht isolerende houten stroken, drukvaste stroken van 2 cm dik goed -isolierend materiaal gebruikt (Drukvast Polyethyleen PE of XPS). De binnenste lat wordt aan de muur geschroefd (afbeelding detail met 2 folies en gipsplaat). Bij deze methode is het belangrijk elke keer de 2 cm tussenruimtes te waarborgen, anders verminderd de isolatiewaarde; zie tabel pagina 7

Figuur 14. Toepassing van meerdere lagen Tonzon met 2cm luchtspouwen. De lage materiaalkosten in combinatie met de geringe isolatiedikte maken dit een economisch interessante oplossing vooral bij DHZ-oplossingen. Bij meer dan twee folies en contract arbeid is het de vraag of een multifolie deken niet sneller werkt.



De berekende isolatiewaarde voor 2 Tonzon folies (3x lucht) en gipsplaat is als volgt:	m ² .K/W	De berekende isolatiewaarde voor de doorsnede over de ondersteuning:	m ² .K/W
Spouwmuur =	1,70	Spouwmuur =	1,70
20 mm lucht + folie (een kant)	0,7	20 mm XPS 0,02 x 37 m.K/W	0,76
20 mm lucht + folie (twee kanten)	0,7	20 mm XPS 0,02 x 37 m.K/W	0,76
20 mm lucht + folie (een kant)	0,7	20 mm vurenhout 0,02 x 7 m.K/W	0,14
15 mm gipsplaat Rc = 0,015 m x 1,7 m.K/W =	0,0255	15 mm gipsplaat Rc = 0,015m x 1,7 m.K/W =	0,0255
Muur + 75 mm Totale isolatiewaarde	3,83	Muur + 75 mm Totale isolatiewaarde	3,39

Bij deze technologie is het verschil erg klein en zal niet leiden tot enige temperatuurverschillen aan de kamerzijde van de gipsplaat. Het voordeel van deze technologie is het minimale gewicht van de constructie vanwege het beperkte materiaalgebruik. Wanneer de arbeidskosten voor deze methode niet worden meegerekend is dit dan ook een van de goedkoopste oplossingen. De terugverdientijd op de energiekosten ligt voor deze isolatiemethode bij DHZ op ongeveer 2 jaar⁵, dus ongeveer een jaar per folie + 2cm spouw.

Om een hogere isolatiewaarde te verkrijgen kunnen een of meer folies met 2 cm tussenruimte worden toegevoegd. Met 1 extra folie (samen 4 luchtlagen) wordt $R_c = 3,8 + 0,7 = 4,5$ en heeft een totale na-isolatie dikte van 95 mm. Met 2 extra folies (samen 5 luchtlagen) komt deze na-geïsoleerde spouwmuur op $R_c = 4,5 + 0,7 = 5,2$ en met een totale toegevoegde dikte van 115 mm. Deze laatste optie is bijvoorbeeld relevant wanneer het een bestaande steens muur is of een spouwmuur zonder isolatie. Dat wordt dan $R_c 0,5 + R_c 5,2 = 5,7$ en bijna de BENG norm.

⁵ Deze schatting is gebaseerd op de kosten voor het aanbrengen en de energieprijzen

4. Wat is de huidige normstelling?

Er zijn hoofdzakelijk drie factoren die dit bepalen:

1. De uiteindelijke isolatiewaarde van de na-geïsoleerde muur.

De 2021 isolatienorm voor gevels is $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, voor vloeren is de norm $R_c = 3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, en voor daken is de norm $R_c = 6,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

De 2021 BENG⁶ bepaalt het energie verbruik per woning op drie manieren.

Tabel 1: Definitieve BENG-eisen woningbouw per 1 januari 2021

	A_{is}/A_g verhouding	BENG 1 ¹⁾ (kWh/m ² ·jr)	BENG 2 (kWh/m ² ·jr)	BENG 3 (%)	TO_{full} (-)
Woongebouw	$A_{is}/A_g \leq 1,83$	≤ 65	≤ 50	≥ 40	$\leq 1,0$
	$1,83 < A_{is}/A_g \leq 3,0$	$\leq 55 + 30 \cdot (A_{is}/A_g - 1,5)$			of GTO < 450 uur
	$A_{is}/A_g > 3,0$	$\leq 100 + 50 \cdot (A_{is}/A_g - 3,0)$			
Andere woonfunctie	$A_{is}/A_g \leq 1,5$	≤ 55	≤ 30	≥ 50	$\leq 1,0$
	$1,5 < A_{is}/A_g \leq 3,0$	$\leq 55 + 30 \cdot (A_{is}/A_g - 1,5)$			of GTO < 450 uur
	$A_{is}/A_g > 3,0$	$\leq 100 + 50 \cdot (A_{is}/A_g - 3,0)$			

1) Grondgebonden woningen en woongebouwen met een lichte bouwconstructie krijgen een toeslag van 5 kWh/m²·jr voor BENG-1

De tabel uit geeft de waarden aan die vanaf 2021 gelden. A_{is} is het oppervlakte van de buitenschil. A_g is het woonoppervlak. Het netto woonoppervlak heeft minimaal 150 cm vrije hoogte. Voor grondgebonden woningen (derde regel) komt BENG 1 neer op < 70 kWh/m²·jr waarbij BENG 2 ≤ 50 en BENG 3 $\geq 40\%$

De R_c -waarden zijn minimale waarden waarmee bij nieuwbouw per 1-1-2021 rekening gehouden moet worden. Hetzelfde geldt voor aanzienlijke verbouw. Wanneer een aannemer een oud gebouw gaat strippen en van binnen geheel gaat renoveren zijn deze waarden in principe ook van toepassing. Het is echter de opdrachtgever die hierop moet toezien. Vanwege de hoge kosten voor de woningeigenaar adviseren aannemers vaak om minder te isoleren. Het resultaat zijn dan hogere energie kosten voor de duur van de nieuwe situatie dan bij goede isolatie.

2. De uiteindelijke toegevoegde dikte van de constructie. Door aan de binnenzijde van een gebouw te isoleren gaat wat woonoppervlak verloren. Dit kan voor kleine woningen zoals appartementen en studio's een probleem zijn. Voor keukens, toilet en badkamer zijn er extra kosten voor de installaties en afwerking (tegels). De 10-15 cm dikke afwerkingen uit het vorige hoofdstuk zijn dan niet haalbaar of wenselijk.
3. De uiteindelijke kosten van de maatregel. Veel gebouweigenaren zullen de terugverdiendtijd van de maatregel in overweging nemen. De kosten zullen verschillen per materiaalsoort, de complexiteit van het aanbrengen en of men het d.m.v. zelfbouw of aannemers laat uitvoeren. Met veel kleine binnenruimtes en kasten gaat het aanbrengen langer duren. Door het werk zelf uit te voeren kan tot 50% op de kosten bespaard worden vergeleken met de kosten van het uitvoeren door een aannemer; een klussenbedrijf zit er ergens tussenin.

⁶ De energieprestatie bij BENG (Bijna Energie Neutrale Gebouwen; vervangen de EPC) wordt bepaald aan de hand van 3 individueel te behalen eisen: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng/indicatoren>

- de maximale energiebehoefte in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar (kWh/m²·jr)
- het maximale primair fossiel energiegebruik, eveneens in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar (kWh/m²·jr)
- het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten (%)

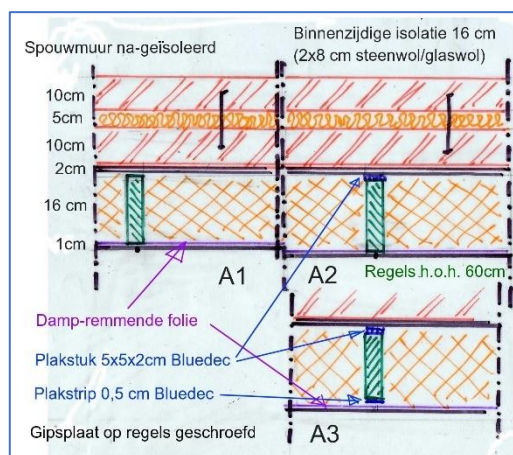
5. Vergelijking van verschillende ontwerpen.

Verschillende opties van isolatietechniek worden hierna met elkaar vergeleken op hun effect en het ontstaan of vermijden van warmtelekken. Hetzelfde principe geldt voor daken en vloeren.

Op basis van deze algemene informatie kan men elke constructie uitrekenen en de kosten van die constructies daar tegenover zetten. Op deze manier kan men bepalen wat in de gegeven situatie de beste (meest economische of dunne) oplossing de voorkeur heeft.

Uit het ontwerp van Tonzon® (pagina. 9) blijkt dat het plaatsen van de houten (schroefbare) gipsplaat ondersteuning op een blokje drukvast isolatiemateriaal (XPS) lange thermische brugstroken vermijdt. Dit is ook het geval bij de ontwerpen waarbij de regels of C-profielen op een doorlopende isolatieplaat (PIR) zijn bevestigd.

Figuur 15. Op pagina 5 werd de berekening van de doorsnede A1 gemaakt inclusief de achterliggende muur. Voor de verdere berekeningen wordt alleen gekeken naar de netto toegevoegde isolatieconstructie, zonder de Rc-waarde van de achterliggende muur.



Detail A (met 16 cm glaswol + gipsplaat met een $R_c = 4,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) zijn alleen over de regels:

A1 doorsnede alleen over de houten regels	R_c	A2 doorsnede met aan een kant 2 cm Bluedec® blokje	R_c	A3 doorsnede met extra 5mm plakstrook op regel	R_c
160 mm regel @ 5 m.K/W	0,8	20 mm Bluedec @ 74 m.K/W	1,48	20 mm Bluedec @ 74 m.K/W	1,48
12 mm gips @ 1,7 m.K/W	0,02	160 mm regel @ 5 m.K/W	0,8	160 mm regel @ 5 m.K/W	0,8
		12 mm gips @ 1,7 m.K/W	0,02	5 mm plakstrook Bluedec	0,37
				12 mm gips @ 1,7 m.K/W	0,02
172 mm dikte isolatie	0,82	192 mm dikte over blokje, Alleen over regel -0,8+0,11	2,30	197 mm dikte over blokje	2,67
		Met Tonzon folie -0,8+0,7	2,29	Alleen maar over de regel	2,50
				Met Tonzon folie op regel	2,66

De 2 cm luchtlaag tussen de houten regel en de muur zal slechts een isolatiewaarde hebben van $R_c = 0,17$ volgens de tabel pagina 7. Dit kan verbeterd worden door een Tonzon® folie op de achterkant van de regel te plakken, waarmee de luchtlaag isolatiewaarde verhoogd tot $0,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Om de glasvezel in de 2 cm spouw te drukken zal een isolatiewaarde opleveren van $R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Als er zelfplakkende aluminium gemetalliseerde folie stroken zijn, werkt dat sneller.

De 2 cm open ruimte tussen de regel en de muur kan ook worden opgevuld met PIR, dat een isolatiewaarde heeft van $R_c = 0,02 \text{ m} \times 40 \text{ m.K/W} = 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ hetgeen dicht bij de isolatiewaarde komt van 1 cm Bluedec®. Van de drukvaste isolatiematerialen is Bluedec® de beste. www.Bluedec.nl

Een mogelijk ontwerp voor 16 cm glaswol muurisolatie is een houten regel van 12 x 5 cm; op de zijde een 4 cm dikke strook PIR plakken die dan tegen de muur zit⁷. De isolatie over zo'n constructie wordt dan als volgt: $R_c = 0,04 \times 40 + 0,12 \times 5 + 0,012 \times 1,7 = 1,6 + 0,6 + 0,02 = 2,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

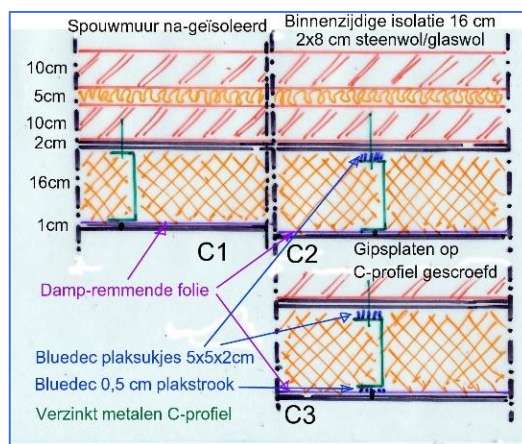
⁷De PIR of Recticel platen komen in minimale dikte van 40 mm. Hiervan zijn stroken te zagen van minimaal de regeldikte. Kingspan Kooltherm R $\approx 40 \text{ m.K/W}$. Kingspan Therma R $\approx 38 \text{ m.K/W}$.

Er zijn grote restantpartijen PIR op de 2^{de} keus markt verkrijgbaar die dezelfde isolatiewaarden hebben. Recticel (Eurowall) is beter isolerend met λ -waarde = 0,022 en een isolatiewaarde van $R = 45 \text{ m.K/W}$.

6. Zelfde ontwerp met C-profielen.

Overeenkomstig het rekenvoorbeeld van hoofdstuk 4 kan eenzelfde berekening gemaakt worden van dezelfde constructie met C-profielen.

Figuur 16. Omdat C-profielen een hele lage warmteweerstand hebben, is de toepassing van isolerende blokjes Bluedec of stroken hier nog belangrijker om warmtebruggen te voorkomen.



De opties van detail C (met 16 cm glaswol en gipsplaat met een $R_c = 4,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), **alleen over de C-profielen** zijn dan als volgt:

C1 doorsnede alleen over de C-profielen	R_c	C2 doorsnede met aan een kant 2cm Bluedec® blokje	R_c	C3 doorsnede met 5 mm plakstrook op het C-profiel	R_c
160 mm C @ 0,02 m.K/W 12 mm gips @ 1,7 m.K/W	0,003 0,02	20 mm Bluedec @ 74 m.K/W 160 mm CI @ 0,02 m.K/W 12 mm gips @ 1,7 m.K/W	1,48 0,003 0,02	20 mm Bluedec @ 74 m.K/W 160 mm C @ 0,002 m.K/W 5 mm plakstrook Bluedec 12 mm gips @ 1,7 m.K/W	1,48 0,003 0,37 0,02
172 mm dikte isolatie	0,023	192 mm dikte over blokje, Alleen over de C -0,8+0,11 Met Tonzon folie -0,8+0,7	1,5 0,81 1,4	197 mm dikte Alleen over het C-profiel en met Tonzon folie op regel	1,87 1,18 1,77

De 2 cm luchtlaag tussen het C-profiel en de muur zal slechts een isolatiewaarde hebben van $R_c = 0,17$ volgens de tabel bovenaan pagina 6. Dit kan verbeterd worden door een Tonzon® folie op de achterkant van de regel te plakken, waarmee de isolatiewaarde verhoogd tot $0,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

De 2 cm open ruimte tussen de regel en de muur kan ook worden opgevuld met PIR, waarmee een isolatie bereikt wordt van $R_c = 0,02 \text{ m} \times 40 \text{ m.K/W} = 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Een mogelijk ontwerp voor 16 cm glaswol muurisolatie is een C-profiel van $12 \times 6 \text{ cm}$; op de smalle zijde een 4 cm dikke strook PIR plakken die dan tegen de muur zit. De isolatie over zo'n constructie C4 wordt dan als volgt: $R_c = 1,6 + 0,12 \times 0,02 + 0,37 + 0,02 = 1,6 + 0,0024 + 0,02 = 2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Een steensmuur of een niet-geïsoleerde spouwmuur heeft een isolatiewaarde van $\approx 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Een na-geïsoleerde spouwmuur (spouw 5 cm met EPS) heeft een isolatiewaarde van $\approx 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Voor de nieuwe 2021 BENG regels is een isolatiewaarde gewenst van $4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Naarmate de buitenmuur reeds een hogere isolatiewaarde heeft, zal het temperatuurverschil op het binnen-opervlak tussen de regels (of C-profielen) en het overige isolatievlak kleiner worden.

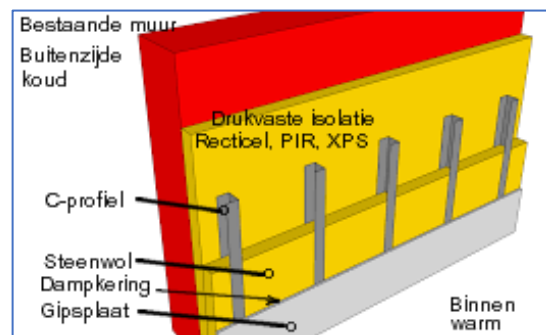
Om grote temperatuurverschillen op het binnen-opervlak van de extra na-geïsoleerde muur te voorkomen is het belangrijk dat de ondersteuningsconstructie (< 10% muur oppervlak) een isolatiewaarde heeft van ten minste 50% van het hoofdoppervlak (> 90%) om lange warmtelekken te voorkomen.

In de tabel op het einde worden een aantal voorbeeldberekeningen gegeven van constructies.

7. Verbeterde voorzetwand constructies

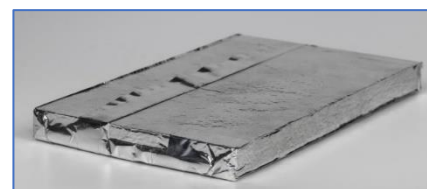
Van de eerdergenoemde commerciële producten zijn de opties waarbij de ondersteuning constructies van de voorzetwand op ongeveer de helft van de totale dikte van het isolatiemateriaal is verankerd een goede oplossing, waarbij de toepassing van houten regels beter scoort dan de metalen studs of C-profielen.

Figuur 17. Door drukvaste goede isolatiematerialen op de buitenmuur te bevestigen en daarop pas de andere helft van de binnen-isolatie met de afwerking, worden warmtelekken door de ondersteuningsconstructie grotendeels voorkomen. Wanneer vochtdoorslag bij de buitenmuur mogelijk is dan zal een vochtdoorslagremmende laag daar nodig zijn. Bij alle opties van binnenzijdige muurisolatie is een dampremmende laag aan de warmte kant van de constructie nodig.



Hoe hoger de isolatiewaarde van het isolatiemateriaal, hoe dunner de gehele constructie kan zijn. De besluitvorming omtrent de materiaalkeuze zal afhangen van de prijs, de dikte van de constructie en het arbeidsloon om het aan te brengen en af te werken.

De beste isolatiematerialen zijn de vacuümpanelen⁸. → Deze worden in de industrie gebruikt (koelcellen, koelwagens) en hebben een warmtedoorgangswaarde vanaf $\lambda = 0,0045 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (Bluedec, de beste). De netto isolatiewaarden voor 3 cm panelen van Bluedec $R_c = 250 \times 0,03\text{m} = 7,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, maar verschillende andere soorten (dunner) zijn beschikbaar.



De vacuümpanelen worden gebruikt in de hoogbouw (weinig ruimteverlies en lichtgewicht) en bij dunne gevelpanelen, maar zijn minder bekend bij de reguliere bouw⁹.

Randverliezen worden geminimaliseerd door de toepassing van Bluedec vaste isolatieplaten, doch fabrikanten bevelen vaak alleen hun eigen isolatiematerialen aan.

De volgende tabel geeft de gemiddelde isolatiedikte aan om een R_c van $4 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ te bereiken.



#	Omschrijving materiaal	λ -waarde	R-waarde	Dikte $R_c = 4\text{m}^2\cdot\text{K/W}$	R_c / cm	Materiaal kosten $R_c=4$
1	Vacuüm paneel	0,006	165	0,024 m = 2,4 cm	68	€€€€
2	Bluedec®	0,0135	74	0,054 m = 5,4 cm	14	€€€€
3	Recticel (Eurowall®)	0,02	50	0,08 m = 8 cm	6,3	€€€
4	PIR, verschillende soorten	0,025	40	0,10 m = 10 cm	4	€€€
5	PUR, met variaties 10%	0,030	33	0,12 m = 12 cm	2,7	€€€
6	Tonzon® 5x Thermosheets	nvt	nvt	0,12 m = 12 cm	3	€€
7	XPS, extruded polystyreen	0,035	28,5	0,14 m = 14 cm	0,5	€€
8	Glas-steenwol, 20% variatie	0,045	22,2	0,23 m = 23 cm	1	€
9	EPS, schapenwol, cellulose	0,05	20 en <	0,25 m = 25 cm	0,8	€€

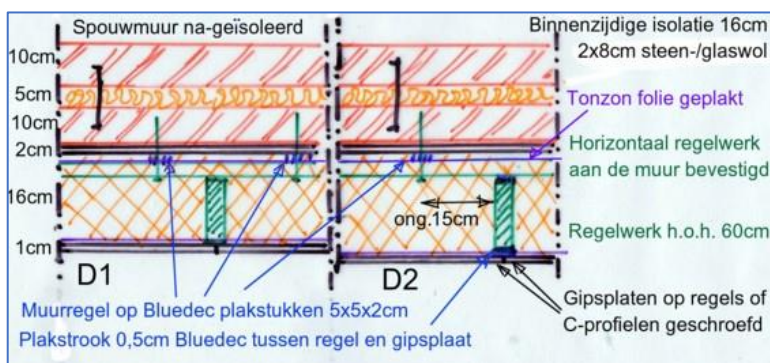
Kosten zijn bij benadering en zonder kosten aanbrengen. Belangrijk is de uiteindelijke dikte van de constructie.

⁸ https://bouwdetails.bouwformatie.nl/nieuws/vacuumislatie-oplossingen-opgenomen-in-bouwdetails-online?utm_source=Nieuwsbrief&utm_medium=Email&utm_campaign=nieuwsbrief20200528&utm_content=bouwdetails&utm_term=lees_verder

⁹ Meer informatie staat in mijn document "Gevelisolatie en DUNNE binnenzijdige isolatie" op mijn website www.nienhuys.info. De vacuümpanelen van SLIMVAC en Kingspan-Optim-R zijn alleen via een aannemer bij de vakgroothandel te bestellen, waarbij de netto of brutoprijzen worden bepaald door de hoeveelheid en de aannemer.

Omdat houten ondersteuningsregels een ≈ 250 maal hogere warmteweerstand hebben dan de metalen C-profielen verdient het aanbeveling om hout te gebruiken. Aan de andere kant werkt het met grote oppervlaktes sneller met de studs en is het materiaal vaak goedkoper per lengte.

Figuur 20. Voorkomen van lange warmtelekken door de toepassing van blokjes of regels Bluedec ter plaatse van de bevestigingen.



D1 doorsnede over alleen de isolatie	Rc	D1 doorsnede over muurregel met 2 cm Bluedec® blokje	Rc	D2 doorsnede over verticale houten regel 50 x 90 mm*	Rc
160 mm glasw @ 25 m.K/W 12 mm gips @ 1,7 m.K/W	4,0 0,02	20 mm Bluedec @ 74 m.K/W 50 mm regel @ 5 m.K/W 90 mm glaswol @ 25 m.K/W 12 mm gips @ 1,7 m.K/W	1,48 0,25 2,25 0,02	70 mm glaswol @ 25 m.K/W 90 mm regel @ 5 m.K/W 5 mm plakstrook Bluedec 12 mm gips @ 1,7 m.K/W	1,75 0,45 0,37 0,02
172mm dikte isolatie	4,02	172 mm dikte over blokje	4,0	172 mm voor houten regels Met Tonzon op verticaal Met Tonzon voor C-profiel	2,59 3,29 2,84

* Zonder de extra blokjes (XPS, PIR, Bluedec) onder de verticale regel die op de schets staan.

Door horizontale regels onder en boven op de binnenzijde van de muur, en op isolerende blokjes te bevestigen, en op deze regels de verticale regels voor de bevestiging van de gipsplaten te bevestigen worden twee thermische onderbrekingen gecreëerd. Op de muurzijde van de eerste houten regel kan een aluminium tape worden geplakt of een strook Tonzonfolie (met 2-zijdig tape). Het beplakken van de tweede regel heeft het meeste isolatie-effect (D2).

Door de steunpunten van de eerste (muur)regel naast de bevestiging van de verticale regels te laten vallen ontstaat er een verlenging van de thermische brug. Omdat het (goedkope) glas- of steenwol nu wel onder de verticale regels kan worden gedrukt geeft dit een extra isolatie.

Figuur 21. Kleine ondersteuningsblokjes kunnen van hoogwaardig Bluedec gemaakt worden of grotere van PIR (bros), of XPS. Deze kunnen eveneens bevestigd worden met 2-zijdig plakband; de bevestigingsschroeven gaan erdoor. Deze schroeven zullen echter het effect van de isolatiewaarde van de blokjes verminderen.



De plakstroken van 0,5 cm Bluedec om de gipsplaten op te schroeven moeten volledig doorlopen; dit is vooral belangrijk voor de montage van gipsplaten op de metalen C-profielen.

De 5 mm dikke stroken zijn op rol bij Bluedec verkrijgbaar. Het is goedkoper om het zelf te snijden.

Toepassing van Vacuümpanelen geeft de dunste isolatie, maar dan mogen er geen spijkers of schroeven in de betreffende muur worden toegepast. Voor bouwdetails zie Voetnoot¹⁰.

¹⁰ <https://bouwdetails.bouwformatie.nl/?leverancier=vip20%25isolations>

8. Verschillende methoden voor binnenzijdige of buitenzijdige isolatie.

De hiervoor geschetste methoden voor binnenzijdige muurisolatie zijn uitgevoerd met houten regels of C-profielen als draagconstructie waarop de binnen afwerking zoals gipsplaten, OSB-board, of glasvezelplaten is geschroefd. Hierop komt dan de decoratieve afwerking zoals stuc, behang, verf en dergelijke. Deze draagconstructie zorgt ervoor dat de binnenzijdige voorzetwand strak kan worden uitgevoerd en aan de vloer en het plafond verbonden is.

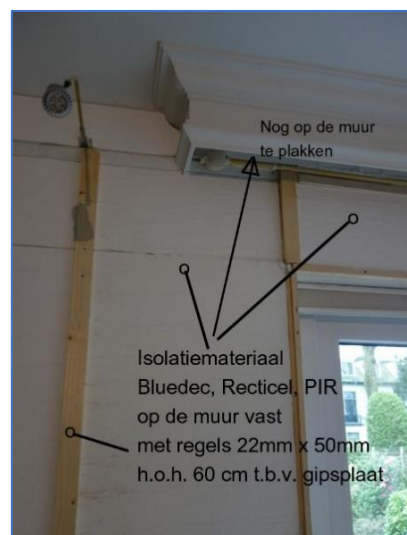
Als alternatief kunnen stijve isolatieplaten (Bluedec, Recticel, PIR, XPS, stevige steenwolplaten) ook direct op de binnenkant van de muur worden geplakt (montagelijm) of bevestigd (schroeven). Hieroverheen kan dan op twee manieren de afwerking worden gerealiseerd.

1. Luchtpouw van 2 cm, Tonzon en gipsplaat.
2. Luchtpouw van 2 cm, Tonzon 2 cm luchtpouw Tonzon en gipsplaat (extra Rc 0,7).

In beide situaties geeft de Tonzon folie extra isolatie en de damp-remmende laag.

Figuur 22. 2x1 cm dikke Bluedec-platen die met latten 17 mm x 50 mm om de 60 cm h.o.h zijn vastgezet middels schroeven in de muur. Op de latten kan nu de Tonzon met gipsplaat. De 15 mm luchtpouw geeft een extra isolatiewaarde van $R_c = 0,5$. Totale dikte $\approx 45\text{mm}$. Als dikker/goedkoper alternatief kan Recticel of PIR gebruikt worden.

Na de montage van de Tonzon en gipsplaat komt de totale isolatiewaarde van deze buitenmuur op: Spouwmuur $R_c = 1,7$ daarna + 2 cm Bluedec $R_c = 1,5$ luchtpouw 1cm + Tonzon $R_c = 0,5$, Gipsplaat $R_c = 0,07$, samen $R_c = 3,77\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Dat is ruim twee maal de oorspronkelijke isolatiewaarde van de na-geïsoleerde spouw.¹¹



Dakisolatie.

Bij daken is de invloed van de metalen verankering als warmtelek niet te onderschatten.

De lange schroeven en metalen druk-verdeelplaatjes worden veelvuldig gebruikt voor het verankeren van dakisolatie, en waarover heen het Ruberoid of dakleer geplakt. Omdat deze ankers dwars door de isolatie heen gaan en in de warme dakbalken van de constructie zitten, zijn het warmtelekken.

Deze dak-uitbouw (erker) heeft isolatie $R_c = 6\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ die met dakschroeven en druk-verdeelplaatjes in de (warme) dakbalken zijn vastgezet. Na de dauw of regen is het dakleer vochtig. Echter t.p.v. de warme druk-verdeelplaatjes droogt het vocht snel op en wordt de locatie van de schroeven en plaatjes duidelijk zichtbaar.

Figuur 23. De droge zone aan de onderkant van de foto is er, omdat de ramen (boven de aanbouw, waardoor deze foto is genomen, warmte uitstralen).



¹¹ Voor een andere optie zie het document DUNNE binnenzijdige muurisolatie op www.nienhuys.info



Figuur 24. De metalen schroeven gaan dwars door de isolatieplaat heen en verwarmen de ronde metalen plaat. Dit resulteert in de warmtelekken die op de vorige foto's zijn te zien.

Bij daken is het noodzakelijk dat aan de warme kant van de constructie een damp-remmende laag wordt aangebracht. Veel PIR-platen hebben een aluminium (gecacheerde) plaat aan een of twee kanten. Hierdoor kunnen ze ook goed geplakt worden.

Figuren 25. De optie bestaat om kleine of grote partijen 'B-keus' of 'restanten PIR-platen' of XPS platen te vinden die voor de helft van de nieuwprijs worden aangeboden; dit zijn volwaardige alternatieven.



9. Prefab voorzetwanden.

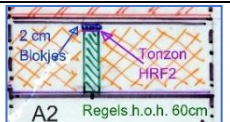
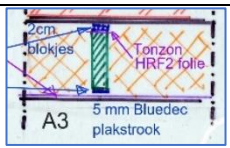
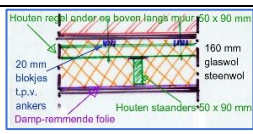
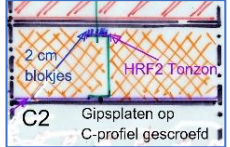
Enkele bedrijven hebben complete pakketten met isolerende binnenzijdige voorzetwanden waarbij de stijve PIR en Recticel panelen het meeste voorkomen. Het voordeel van deze pakketten is de eenvoudige installatie en snelle werkwijze, speciaal als het grotere oppervlaktes betreft. Een snelle werkwijze verlaagt de kosten van de aannemer.

Figuren 26. Oplossing met PIR-stroken tegen de baksteen gevel. Wanneer de spouw (> 2 cm) tussen de muur en het isolatiemateriaal een HRF2- folie heeft is dit een uitstekende oplossing.

Afgewerkte hoekoplossingen kunnen onderdeel zijn van een prefab pakket. Omdat de PIR-platen (Faay isolatie) aan de muurzijde een HRF aluminium bekleding hebben zal de isolatiewaarde van een 2 cm luchtspouw hiermee verbeteren.

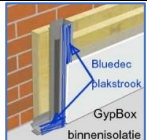
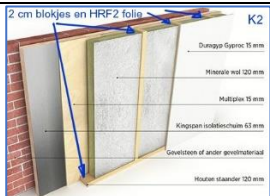
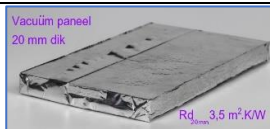


Het volgende overzicht geeft de eerst besproken opties in het kort weer, met de invloed van de isolatie van de ondersteuningsconstructie voor 175 mm. De in de schetsen aangegeven damp-remmende laag is niet in isolatiewaarde uitgedrukt.

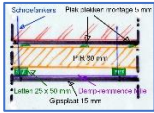
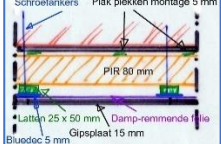
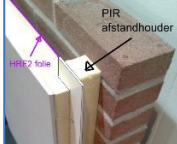
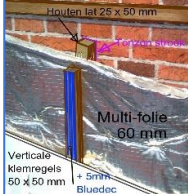
#	Afbeelding	Omschrijving van de doorsnede over het isolatiemateriaal en R-waarde in m.K/W	Rc isolatie m ² .K/W	Dikte van de isolatie	Omschrijving van de doorsnede over de ondersteuning en R-waarde in m.K/W	Rc m ² .K/W over ondersteuning	Verschil in Rc	%
A1		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	160 mm Houten regel @ 5 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,8 <u>0,02</u> 0,82	3,2	80
A2		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	20 mm spouw Tonzon of HRF2 folie 140 mm Houten regel @ 5 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,7 0,7 <u>0,02</u> 1,42	2,6	65
A3		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	20 mm spouw Tonzon of HRF2 folie 140 mm Houten regel @ 5 5 mm Bluedec plakstrook @ 74 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,7 0,7 0,37 <u>0,02</u> 1,79	2,23	55
D2		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	70 mm glaswol @ 25 90 mm Houten regel @ 5 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	1,57 0,45 <u>0,02</u> 2,04	1,98	49
C1		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	160 mm C-profiel @ 0,02 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,003 <u>0,02</u> 0,023	3,997	99
C2		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	20 mm spouw Tonzon of HRF2 folie 140 mm C-profiel @ 0,02 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,7 0,003 <u>0,02</u> 0,723	3,297	82
C3		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	20 mm spouw Tonzon of HRF2 folie 135 mm C-profiel @ 0,02 5 mm Bluedec plakstrook @ 74 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,7 0,003 0,37 <u>0,02</u> 1,093	2,927	73

Door de isolatie tussen de bestaande muur en de ondersteuningsconstructie veel beter te maken, wordt het verschil in Rc-waarde steeds kleiner. Bij 10% regels op de muur (laatste kolom): hoe donker de kleur bruin, hoe slechter de oplossing, hoe sterker de kleur groen, hoe beter de oplossing.

Met het combineren van constructiedetails en andere soort isolatiemateriaal, kunnen een groot aantal verschillende ontwerpen worden gemaakt, maar ook in verschillende diktes. Enkele voorbeelden uit de voorgaande tekst worden hier weergegeven met alternatieve opties.

#	Afbeelding	Omschrijving van de doorsnede over het isolatiemateriaal en R-waarde in m.K/W	Rc isolatie m ² .K/W	Dikte van de isolatie	Omschrijving van de doorsnede over de ondersteuning en R-waarde in m.K/W	Rc m ² .K/W over ondersteuning	Verskil in Rc	%
G1		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	80 mm glaswol @ 25 80 mm C-profiel @ 0,02 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	2,0 0,0016 <u>0,02</u> 2,02	2,0	49
G2		160 mm steenwol of glaswol. @25 15 mm gipsplaat @1.7 Totaal	4,0 <u>0,02</u> 4,02	175 mm	80 mm glaswol @ 25 75 mm C-profiel @ 0,02 5 mm Bluedec plakstrook @ 74 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	2,0 0,0016 0,37 <u>0,02</u> 2,39	1,63	40
K1		63 mm PIR plaat @ 40 15 mm Multiplex plaat @ 5 120 mm minerale wol @ 25 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	2,52 0,075 3,00 <u>0,02</u> 5,61	213 mm	63 mm PIR plaat @ 40 15 mm Multiplex plaat @ 5 120 mm houten regel @ 5 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,7 0,7 0,6 <u>0,02</u> 2,02	3,59	64
K2		63 mm PIR plaat @ 40 15 mm Multiplex plaat @ 5 120 mm minerale wol @ 25 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	2,52 0,075 3,00 <u>0,02</u> 5,61	213 mm	63 mm PIR plaat @ 40 15 mm Multiplex plaat @ 5 20 mm spouw Tonzon 115 mm houten regel @ 5 5 mm Bluedec plakstrook @ 74 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,7 0,7 0,7 0,57 0,37 <u>0,02</u> 3,097	2,513	45
T1		20 mm lucht + folie (een kant) 20 mm lucht + folie (twee kanten) 20 mm lucht + folie (een kant) 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	0,7 0,7 0,7 <u>0,02</u> 2,12	75 mm	20 mm XPS strook @37 20 mm XPS strook @37 20 mm vurenhout @7 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	0,76 0,76 0,14 <u>0,03</u> 1,69	0,43	20
V1		20 mm Vacuüm paneel met HRF2 5 mm ruimte rond paneel 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	3,5 0,2 <u>0,02</u> 3,72	35 mm	25 mm Bluedec strook @74 (is veel beter dan PIR @40) 15 mm gipsplaat @1,7 Totaal	1,85 <u>0,02</u> 1,87	1,85	50

Vacuüm panelen moeten op maat besteld worden en komen vanaf 20 mm dikte. De randen en bevestigingen rondom worden vaak ingevuld met PIR of PUR.

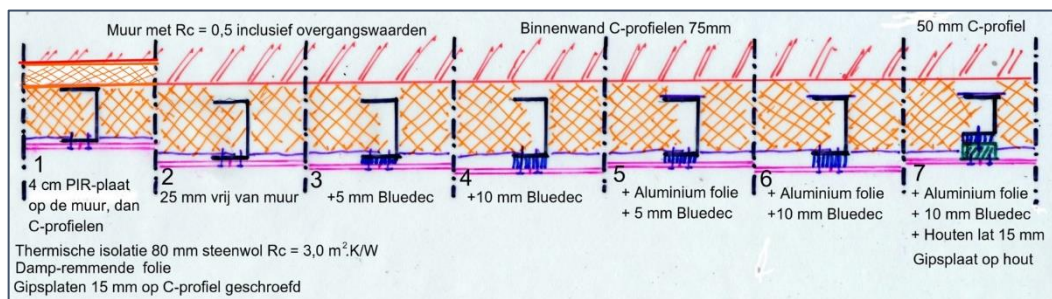
#	Afbeelding	Omschrijving van de doorsnede over het isolatiemateriaal en R-waarde in m.K/W	Rc isolatie m ² .K/W	Dikte van de isolatie	Omschrijving van de doorsnede over de ondersteuning en R-waarde in m.K/W	Rc m ² .K/W over ondersteuning	Verskil in Rc	%
S		120 mm steenwol of glaswol. @ 25 5 mm Glasvezel mat en bevestiging 15 mm stuc afwerking of gipsplaat Totaal	3,0 <u>0,02</u> 3,02	140 mm	120 mm steenwol of glaswol. @ 25 5 mm Glasvezel mat en bevestiging 15 mm stuc afwerking of gipsplaat Totaal	3,0 -0,2 <u>0,02</u> 2,82	0,2	9
P1		80 mm PIR platen @ 38 25 mm luchtspouw Tonzon HFR2 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	3,04 0,7 <u>0,02</u> 3,76	100 mm	80 mm PIR platen @ 38 25 mm latten (vastzetten) @ 5 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	3,04 0,125 <u>0,02</u> 3,185	0,575	15
P2		80 mm PIR platen @ 38 Ook 2 ^{de} keuze verkrijgbaar 25 mm luchtspouw Tonzon HFR2 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	3,04 0,7 <u>0,02</u> 3,76	100 mm	80 mm PIR platen @ 38 25 mm latten (vastzetten) @ 5 5 mm Bluedec plakstrook @ 74 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	3,04 0,125 0,37 <u>0,02</u> 3,555	0,205	5
F1		40 mm luchtspouw 60 mm PIR @ 40 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	0,18 2,4 <u>0,02</u> 2,6	115 mm	40 mm PIR afstandshouder @ 40 10 mm bevestigingsplaat @ 10 50 mm PIR @ 40 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	0,7 0,01 2,0 <u>0,02</u> 2,73	-0,13	Posi- tief
F2		40 mm luchtspouw + HRF2 folie 60 mm PIR @ 40 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	0,7 2,4 <u>0,02</u> 3,12	115 mm	40 mm PIR afstandshouder @ 40 10 mm bevestigingsplaat @ 10 50 mm PIR @ 40 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	0,7 0,01 2,0 <u>0,02</u> 2,73	0,39	12
M2		Multi-folie op horizontale latten 25 mm Luchtspouw tussen HRF2 folie en muur Luchtspouw tussen folie en gipsplaat. Losse multi-folie 60mm. 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	0,7 0,7 3,0 <u>0,02</u> 4,42	130 mm	25 mm luchtspouw + Tonzon 25 mm houten regels @ 5 10 mm geklemd folie @ 10 50 mm houten regel @ 5 5 mm Bluedec plakstrook @ 74 15 mm gipsplaat @ 1,7 Totaal	0,7 0,125 0,01 0,25 0,37 <u>0,02</u> 1,475	2,945	67

Door de gipsplaat met een 1 mm warmte reflecterende Aero-Therm® stuc laag af te werken wordt de isolatie met Rc = 1,3 m².K/W verhoogd.

Bijlage.

Berekening van slechts één materiaaltoepassing om het effect te laten zien van het isoleren van de ondersteuningsregels (C-profielen) voor een na-isolatie voorzetwand. De buitenmuur is een steensmuur met een eigen isolatiewaarde van $R_c \approx 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, inclusief de standaard buiten overgangswaarde van $R_c = 0,03 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ en de binnenkant overgangswaarde van $R_c = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Er worden acht opties met elkaar vergeleken. De eerste is de beste, maar niet altijd mogelijk.



De isolatiewaarde van het C-profiel $R_c = 75 \text{ mm} \times 0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} = 0,00015 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ en te verwaarlozen.
De isolatiewaarde van 80 mm steenwol of glaswol is $0,08 \text{ m} \times 25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} = R_{d80\text{mm}} 2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
De isolatiewaarde van 4 cm PIR is: $0,04 \times 40 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} = R_{d40\text{mm}} 1,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Gipsplaat = $0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
De muur isolatiewaarde optie #1 tussen de C-Profielen is: $R_c = 0,5 + 1,6 + 2,0 + 0,02 = 4,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.
De muur isolatiewaarde optie #2 tussen de C-Profielen is: $R_c = 0,5 + 2,0 + 0,02 = 2,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

De gemiddelde isolatiewaarde over de hele wand is berekend op basis van de 50 mm brede C-profielen die h.o.h. 60 cm staan om de gipsplaten te bevestigen. De gemiddelde isolatiewaarde van de wand in optie # 2 is dan $\{(55 \text{ cm} \times 2,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}) + (5 \text{ cm} \times 0,63 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W})\} / 60 \text{ cm} = 2,36 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Het grote verschil tussen het geïsoleerde oppervlak en de niet-geïsoleerde ondersteuning veroorzaakt lange verticale warmtelekken. Deze zijn zeer goed zichtbaar op een Infrarood foto.

#1	Dikte constructie	Omschrijving van de doorsnede over de ondersteuning en R-waarde in m.K/W	$R_c = \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ondersteuning 0,02 gipsplaat 0,5 muur	Verskil in R_c met 4,12 $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	% verschil isolatie	Gemiddelde van hele wand in $R_c = \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
1	135 mm	40 mm PIR @ 40 Totaal	1,6 2,12	2,0	48	Onder de 50%
#2	Dikte constructie	Omschrijving van de doorsnede over de ondersteuning en R-waarde in m.K/W	$R_c = \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ondersteuning 0,02 gips 0,5 muur	Verskil in R_c met 2,52 $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	% verschil isolatie	Gemiddelde van hele wand in $R_c = \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
2	115 mm	25 mm luchtsponw Totaal	0,11 0,63	1,89	75	2,36
3	120 mm	Als #2 5 mm Bluedec strook @ 74 Totaal	0,63 0,37 1,00	1,52	60	2,39
4	125 mm	Als #2 10 mm Bluedec strook @ 74 Totaal	0,63 0,74 1,37	1,15	46	2,42
5	120 mm	Als #2 25 mm luchtsponw Tonzon folie 5 mm Bluedec strook @ 74 Totaal	0,63 0,7 0,37 1,70	0,82	33	2,45
6	125 mm	Als #2 25 mm luchtsponw Tonzon folie 10 mm Bluedec strook @ 74 Totaal	0,63 0,7 0,74 2,07	0,45	18	2,48

7	115 mm	Als #2 25 mm luchtsponw Tonzon folie 10 mm Bluedec strook @ 74 15 mm houten lat @ 5 Totaal	0,63 0,7 0,74 0,075 2,145	0,37	15	2,49
Bij #8 wordt er bij optie #7 i.p.v. de damp-remmende laag een Tonzonfolie op de gipsplaat geplakt waardoor de 20 mm sponw de isolatiewaarde van de $R_c = 2,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ muur verhoogd met $R_c = 0,7$ tot $R_c = 3,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$						
8	115 mm	Als #7 Tonzon folie + 20 mm sponw Totaal	2,145 0,7 2,845	0,37	11	3,17

Optie #8 is toegevoegd omdat in de optie #1 t/m #7 de gipsplaat schroeven direct in het C-profiel zitten. Dit geeft bij # 1 t/m #7 ter plaatse van elke schroef een totale isolatie onderbreking. Op een Infrarood foto zullen dan door de schroeven donkere puntjes te zien zijn waardoor de warmte naar buiten afvloeit. Door de lat wordt de invloed van die kleine warmtelekken verspreid.

Samenvatting bijlage.

Het **grote** temperatuurverschil tussen de isolatie en de C-profielen (studs) ondersteuningsconstructie ontstaan lange warmtelekken over de hele hoogte van de muur/vloer/dak. Deze kunnen condensatie veroorzaken en kleurverschillen. **Een verschil van > 50% wordt ten zeerste afgeraden.**

- Een aantal foto's en tekeningen die op Internet zijn te vinden van muur-, dak- en vloerisolatie van isolatiebedrijven, bouwmarkten en adviesinstanties laten isolatie-oplossingen zien waarbij er **lange warmtelekken** ontstaan ter plaatse van die ondersteuningsregels.
- De grootste warmtelekken ontstaan door metalen profielen zoals C-profielen of studs, die helemaal geen isolatie bieden, niet-geïsoleerde betonnen vloerbalken met zeer weinig isolatie en houten regels (vloer/dak balken, gordingen) met weinig isolatie. Door de toepassing van metalen verbindingsmiddelen worden kleine warmtelekken gecreëerd.
- Door eerst een doorlopende isolatieplaat op de gevel te plaatsen (optie #1) en dan pas de binnen voorzetwand, zal de zeer lage isolatiewaarde van de C-profielen gecompenseerd worden. Dit is zowel een eenvoudige als goedkope oplossing en aanbevolen.
- Wanneer bij dak- en vloerconstructies er geen isolatiemateriaal op de gordingen, regels of balken zit, zullen deze lange ondersteuningszones ook lange warmtelekken veroorzaken.
- Samengedrukt multi-folie isolatiemateriaal geeft een hele lage isolatiewaarde.
- De toepassing van HRF2 folies in combinatie met >2cm spouwen werkt isolatie-verhogend.
- Alle na-isolatie oplossingen aan de binnenzijde van de gebouwschil (muren, dak en vloer) waarbij de ondersteuningsregels direct op de muur worden geplaatst, en waarop de gipsplaat wordt bevestigd, relatief slechte oplossingen. C-profielen zijn het slechtste.
- Voor het zo dun mogelijk houden van de gevelisolatie kan gekozen worden voor Bluedec, aan te brengen in de noodzakelijke diktes op de ondersteuningsconstructie.
