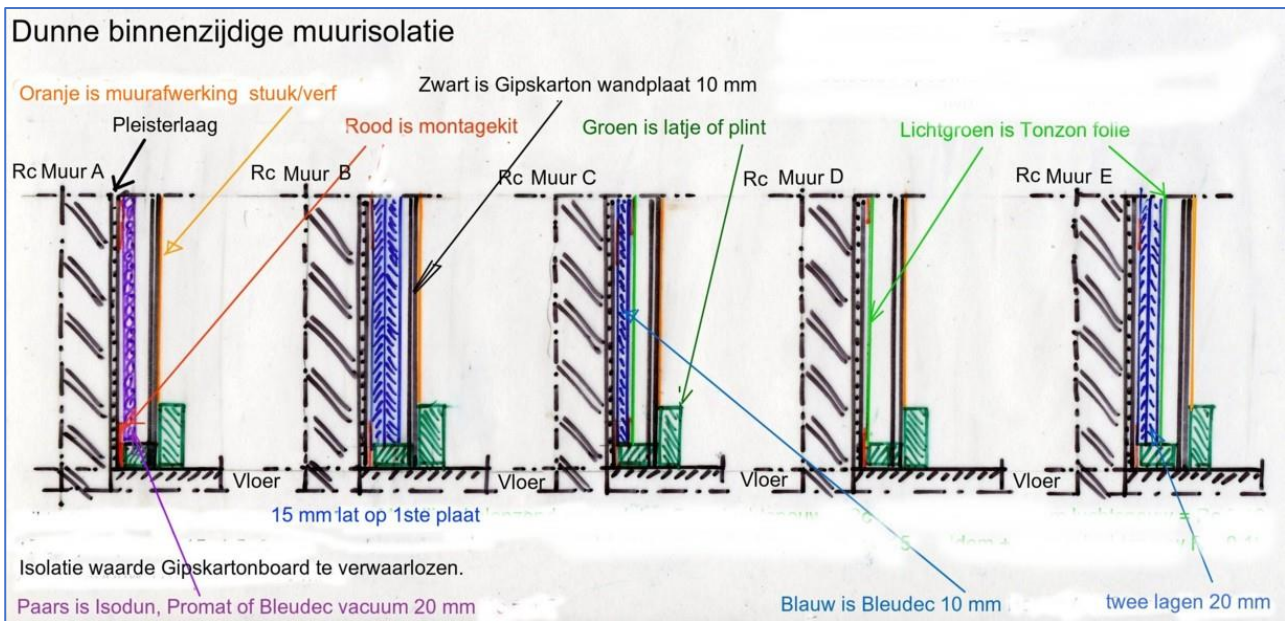


DUNNE binnenzijdige gevelisolatie

Na-isolatie voor bestaande gebouwen



Door: Sjoerd Nienhuys, woonenergie adviseur

Datum: versie november 2024

Energy@nienhuys.info www.nienhuys.info

Abstract:

Goede binnenzijdige gevelisolatie voor oude steens muren ($R_c = 0,5$) vereist een extra R_c -waarde van minstens $R_c = 4,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Dat is 8,5 cm Resol of 10 cm PIR/Recticel of 15 cm met goede kwaliteit steenwol/glaswol plus de afwerking van minimaal 1-2 cm. Veel woningeigenaren vinden dat te dik. Dit document vergelijkt de verschillende opties van DUNNE binnenzijdige gevelisolatie, Bleudec, Tonzon en meerlaagse of multi-folies, met en zonder luchtpouw aan de HRF-zijde. De netto materiaalkosten van de verschillende opties worden globaal aangegeven, maar de werkelijke kosten hangen af van veel details en de afwerking, of de Doe-Het-Zelf optie. Observaties over multi-folies, Areo-Therm 1 mm stuuk en ThermoShield verf. Met drie praktijkvoorbeelden met foto's waarvan een in de bijlage. Voor subsidie oor wandisolatie is minimaal $+R_c 3,5$ noodzakelijk. Langs trappenhuisen kan meestal niet meer dan 2,5 tot 3 cm op de muur worden toegevoegd; in dat geval zijn vacuümpanelen de optie (ander document).

Inhoud

1.	Isolatie van de thermische buitenschil	3
2.	Binnenzijdige DUNNE na-isolatie van de gevel	4
2.1.	Verklaring van benoemingen.	4
2.2.	Hoogwaardige vaste isolatie van Aerogel of Bluedec	6
2.3.	Toepassing van multi-folie als binnenzijdige muurisolatie	7
2.6.	Gecombineerde DUNNE binnenzijdige muurisolatie met Bluedec	10
2.7.	Overzichtstabel na-isolatie maatregelen zonder arbeidskosten of raamafwerking.	12
Bijlage 1.	Voorbeeld van 46 mm dunne binnenzijdige muurisolatie type C-1.....	13
Bijlage 2.	Dunne binnenzijdige isolatie van $R_c = 3$	14
Bijlage 3.	Dunne binnenzijdige spouwmuur na-isolatie met multi-folie.....	17
Bijlage 4.	Trapmuur isolatie van een buitenmuur.	21
Bijlage 5.	Aero-Therm 1 mm stuc of ThermoShield verf.....	22
	De toepassing van ThermoShield muurverf	22
Bijlage 6.	Reflecterende en isolerende multi-folies.....	23
	Samenvatting.	25

Een ander document vergelijkt **binnenzijdige en buitenzijdige** gevelisolatie: www.nienhuys.info

Een ander document vergelijkt verschillende soorten binnenzijdige gevelisolatie en het effect van de ondersteuningsregels die vaak **lange warmtelekken** veroorzaken. www.nienhuys.info

Een ander document behandelt te toepassing van dunne binnenzijdige muurisolatie met vacuüm panelen.

Sommige documenten worden periodiek vernieuwd met extra informatie. Controleer daarom steeds of de laatste versie is down-geload.

1. Isolatie van de thermische buitenschil

Een on-geïsoleerde spouwmuur of steensmuur heeft een isolatiewaarde van $R_c \approx 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Goede gevelisolatie is noodzakelijk voor een substantiële verbetering van de isolatie van de buitenschil van een gebouw. 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 driemaal en heeft een hoog-energetisch/financieel rendement. De andere onderdelen van de buitenschil zijn het dak en de begane grond vloer. De 2021 nieuwbouw minimumnorm voor muren $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, dus nogmaals ongeveer drie keer zo goed.

In de gevels zitten de ramen en deuren, die bij een na-geïsoleerde spouwmuur nog steeds het meeste warmteverlies opleveren per m^2 oppervlakte. Bij de meeste woningen zijn de gevels groter in aantal m^2 oppervlakte dan het oppervlak van de ramen en deuren.

Het warmteverlies van een gebouw is gerelateerd aan het temperatuurverschil tussen binnen en buiten, de isolatiewaarde de R_c -waarde en het oppervlak van die buitenschil.

Dubbel glas van vóór 1990 heeft een isolatiewaarde $R_g = 0,5$ tot $0,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ($U_g 2,0$ tot $1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$), terwijl HR⁺⁺ glas volgens de 2015 nieuwbouwnorm een isolatiewaarde $R_g \geq 0,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ($U_g \leq 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$). De maximale isolatie van Tripleglas of vacuümglas is rond de $R_g = 2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ dus ongeveer 2 x de isolatiewaarde van HR⁺⁺)¹ en 3 keer de isolatiewaarde van HR⁺.

De isolatiekosten van de gevel zijn meestal goedkoper per m^2 dan de vervanging van ruiten. Het energetisch of financiële rendement voor gevelisolatie is heel veel beter dan van glas omdat voor dezelfde prijs de gevelisolatie vele malen beter is.

Figuur 1.

Minimum nieuwbouwnormen
 sinds 2021 met R_c -waarde.

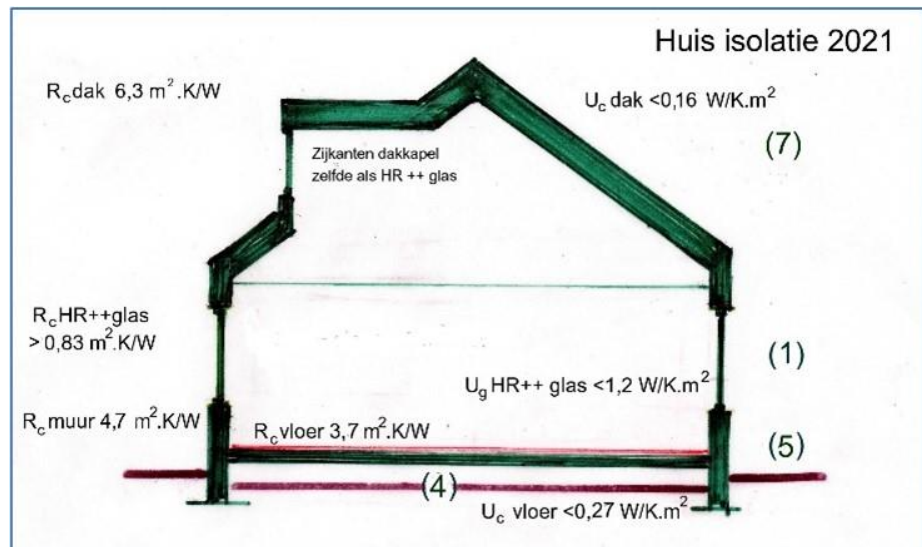
Begane grond vloer of
 aansluitend op grond.

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⁺⁺)



Drie soorten buitengevelisolatie. Behalve spouwmuurisolatie zijn binnenzijdig isoleren en buitenzijdig isoleren van de gebouwschil de bestaande opties.

Spouwmuur na-isolatie is een gespecialiseerd werk dat door gespecialiseerde bedrijven wordt uitgevoerd.

Voor informatie zie: https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/isoleren-en-besparen/spouwmuurisolatie/?gclid=EAlaIQobChMI4daage2c6AIVVeN3Ch2m4AR1EAAYBCAAEgKo_PD_BwE

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

¹ In de rest van dit document wordt slechts de warmteweerstand R_c in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ gebruikt om de verschillende waarden tussen glas en constructies met elkaar te kunnen vergelijken. R_c -waarden kunnen bij elkaar worden opgeteld.

2. Binnenzijdige DUNNE na-isolatie van de gevel

De meest gebruikelijke woning isolatiematerialen zijn gewoon steenwol/glaswol ($R_{d100cm} = 25-28 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) of een beter isolerend materiaal zijn PIR/Recticel platen ($R_{d100cm} = 45 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) en Resol ($R_{d100cm} = 50 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$), waardoor het bijna 100% beter isoleert en daardoor minder dikte nodig heeft dan glaswol.

Voor woningeigenaren die op de duur willen overstappen op een warmtepomp is het handig wanneer eerst de isolatie van de woning verbeterd wordt, want anders moet je een grotere (duurdere) warmtepomp kopen én draait die voor de komende 20 jaar ook met hogere elektriciteitskosten.

Wanneer een woningeigenaar gewone binnenzijdige muurisolatie besteld bij een aannemer dan wordt dat meestal een dik glaswol verhaal. Wanneer dat niet wenselijk is dan moet die woningeigenaar aangeven wat: (1) de minimaal gewenste nieuwe isolatiewaarde mag zijn en (2) de maximale dikte.

2.1. Verklaring van benoemen².

Lambda-waarde (ook K-waarde) zoals: $\lambda_d 0,04$ in Watt/m.Kelvin voor een redelijk isolatiemateriaal (steenwol). Dit is de standaard **warmtedoorgangswaarde** van een materiaal **van een meter dikte**.

Rd = Resistentie_{dikte}. Dit is de specifieke **warmteweerstand** van een materiaal voor de **dikte van een meter**. Voor de bovenstaande $\lambda_d 0,04$ in W/m.K wordt de R_{dikte} dan $1/0,04 = 25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (bijvoorbeeld glaswol). Een glaswol deken van 8 cm dik heeft dan een R_{d80mm} van $0,08 \text{ m} \times 25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} = 2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Op websites wordt vaak de Rd van een isolatiemateriaal gegeven, maar het moet dan duidelijk zijn voor welke dikte dat is. Zonder diktevermelding is dat de isolatiewaarde van 100 cm of 1 meter.

Rc = Restistentie_{Constructie} in $\text{m}^2 \cdot \text{Kelvin/Watt}$. Dit is de isolatiewaarde van de doorsnede van wand-, vloer- of dakconstructie, inclusief de gemiddelde³ binnen ($R_c = 0,14$) en buiten ($R_c = 0,03$) overgangswaarden met de lucht, volgens de standaard NEN-meetmethode van de "warme doos". $1/R_c = U$

De verschillende Rc-waarden kunnen bij elkaar worden opgeteld om de totale Rc-waarde te bepalen. Er wordt bij sommige gemetalliseerde folies zoals de tweezijdige Hoog Reflecterende Folie (HRF2) isolatiematerialen ook de Rc-waarde opgegeven volgens de ISO 6946:2007 methode, waarbij de +20 mm droge verticale luchtlag aan weerszijden van die folie wordt meegeteld (elk $R_c \approx 0,7$ samen $R_c \approx 1,4$), waardoor de opgegeven theoretische isolatiewaarde verder toeneemt. De werkelijke isolatiewaarde van meerlaagse isolerende folies hangt daarom sterk af van de aanwezigheid van die luchtlagen en de positie; bij samenpersen (vastspijkeren onder latten) blijft er niet veel isolatiewaarde over.

Rti = Resistentie_{thermische isolatie}. Dit is de **isolerende waarde** van de gehele wand-, vloer- of dakconstructie, inclusief de gemiddelde interne en externe overgangswaarden met de lucht, maar gemeten op basis van praktijk gegevens volgens de NEN-ISO 9869-1:2014: *Thermische isolatie – Bouwelementen – In-situ metingen van warmteweerstand en warmtedoorlatendheid*. In deze meetmethode is ook het effect gemeten van de Hoog Reflecterende Folies (HRF) aan beide zijden, zoals bij multi-folie dekens en lage-emissie HRF-folies (type Tonzon). De Rti-waarde is vaak slechts theoretisch en zelden gecertificeerd.

U-waarde. Dit is de thermische **doorgangswaarde** van een materiaal per m^2 oppervlak voor een gegeven dikte van het materiaal in $\text{Watt/m}^2 \cdot \text{Kelvin}$. $1/U = R_c$. Deze wordt hoofdzakelijk voor glas gebruikt.

² Voor meer omschrijvingen en definities zie: <https://www.sis.se/api/document/preview/909393/>

³ Dit zijn jaarlijkse gemiddelden die voor de buiten overgangswaarde sterk beïnvloed worden door de hoeveelheid wind die langs het materiaal oppervlakte stroomt. Ook de ruwheid van het oppervlak heeft invloed. Voor sterk reflecterende oppervlakte speel de emissie coëfficiënt een rol.

Emissiefactor (spectraal) $\epsilon(\lambda)$ in epsilon (Lambda), of ook 'E', is gerelateerd aan de hoeveelheid **stralingsenergie** (onzichtbaar infrarood licht) dat een oppervlakte afgeeft. Voor de meeste bouwmaterialen is dit ongeveer 1. Hoog glimmende en reflecterende oppervlaktes (HRF) hebben een lage tot zeer lage $\epsilon(\lambda)$, zoals bijvoorbeeld Tonzon folie en multi-folie isolatiedekens. Deze meerlaagse isolatiedekens hebben een dunne polyesterwol met aan twee zijden een gemetalliseerd, hoog reflecterend oppervlak (HRF), met een zeer lage emissiecoëfficiënt $\epsilon(\lambda) = 0,03$. Hierdoor wordt een hoogwaardig isolatiemateriaal verkregen, echter, het werkt alleen goed wanneer er een luchtlaag aan de glimmende zijde zit (zie rechter kolom tabel hieronder).

Figuur 2: Rechts: <https://shop.airflex.nl/nl/airflex-expert50-isolatiefolie>

Wanneer een meerlaagse isolatiedeken onder de panlatten wordt gespijkerd dan blijft er maar weinig van de isolatiewaarde van de vrij-hangende deken over.



Bij de multi-folies wordt is de luchtlaag slechts enkele mm en is gevuld met schapenwol of polyesterwol. Het isolerende effect is daardoor per HRFolie heel weinig. Door meerdere folies (soms wel 18) met 1 mm tot 3 mm wol toe te passen wordt de thermische isolatie veel beter. Bij samenpersen van de samengestelde multi-folie isolatiedekens verdwijnt dat isolerende effect.

Infrarood fotografie (IR) maakt gebruik van gebruik van deze emissiefactors (straling), waardoor je kan zien hoeveel warmte een bepaald oppervlakte afgeeft en dus uitstraalt.

Gewone droge luchtsponen hebben ook een Rg-isolatiewaarde van droge lucht; als volgt:

#	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

In een bouwconstructie hangt de kwaliteit van de thermische isolatie af van de precisie waarbij de toegevoegde isolatiematerialen of damp-remmende materialen zijn toegepast. Gaten in het isolatiemateriaal en niet-geïsoleerde randen in de toepassing hebben een groot negatief effect.

Wanneer veel waterdamp in een constructie kan doordringen en condenseert zal de isolatiewaarde van sommige materialen zoals wol, katoen, stro, houtvezel en steenwol de isolatiewaarde sterk doen dalen. De juiste uitvoering van bouwkundige details door de aannemer is dan ook van groot belang om te voorkomen dat er plaatselijk warmtelekken of thermische bruggen ontstaan.

Dunnere opties voor binnenmuurisolatie bestaan, maar deze zijn in materiaalkosten meestal duurder dan de dikkere varianten met steenwol/glaswol, XPS, PUR en PIR/Recticel of Resol platen. Enkele van deze opties worden hieronder beschreven.

2.2. Hoogwaardige vaste isolatie van Aerogel of Bluedec

Een andere optie is om alleen voor een vast, hoogwaardig isolatiemateriaal te kiezen zoals Bluedec® www.bluedec.nl met λ -waarde = 0,0135 W/m.K en $R_d = 74 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, dat $\approx 2x$ zo goed isoleert als PIR met R_d -waarde $\approx 38 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, en $\approx 3x$ zo goed als EPS of steen-/glaswol met $R_d \approx 25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ⁴.

Figuur 3.

Met een gemiddelde isolatiewaarde van $R_{d10mm} = 0,74$ voor 30 mm dikte voor $R_{d30mm} = 2,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Samen met constructie met een $R_c \approx 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ en 30 mm Bluedec $R_c = 2,22$, wordt bijna de minimum gevel normwaarde bereikt van $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ bereikt.

20 mm dikte ($R_c \approx 1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) verdubbelt de isolatiewaarde van een na-geïsoleerde spouwmuur van $R_c \approx 1,75$ tot $R_c \approx 3,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.



Platen van 10 mm dikte ($\approx \text{€}100$ per plaat van $140 \text{ cm} \times 72 \text{ cm} = 1 \text{ m}^2$)⁵ kosten ongeveer $\text{€} 100/\text{m}^2$ incl. BTW en exclusief transport (jaar 2024). Bij een op de (spouw)muur toegevoegde dikte van 20 mm Bluedec (+ $R_c = 1,5$), goede montagelijm, gipsplaat (12,5 mm), plint, uitvlakken, dunne stuclaag en schilderen zijn de materiaalkosten ongeveer $\text{€} 150/\text{m}^2$ voor grote oppervlaktes.

Bluedec CH kan rechtstreeks op verschillende ondergronden en worden afgewerkt – dus zonder spouwtje / ruimte te verliezen - met vrijwel alle gangbare materialen. De cachering kan bestaan uit een glasvliesweefsellaag, een bitumen afdekking of gipsplaat. Dit kan vervolgens worden afwerken met pleister, stuc of dergelijke. De platen voorzien van glasvliesweefsel zijn toepasbaar op binnen- en buitengevel.

Figuur 4.

Naast Bluedec CH is er ook Bluedec CHGV met glasvlies en met steenstrips.



Bluedec CHGV is Bluedec CH met glasvliesweefsel



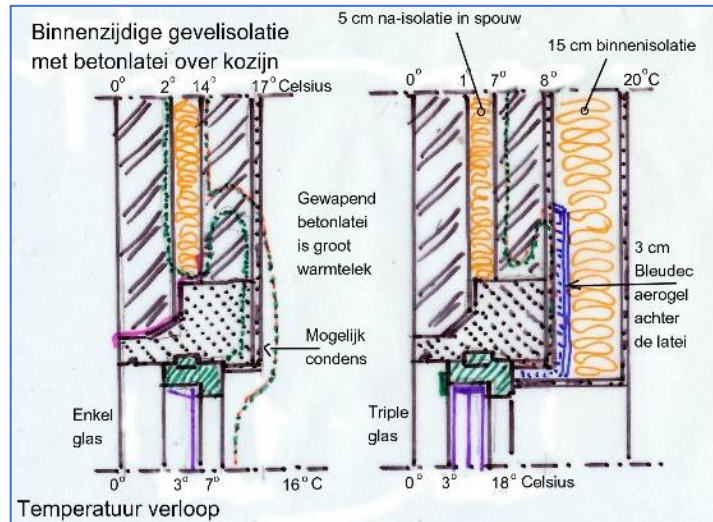
Bluedec CHGV op steenstrips

Latei isolatie. Bluedec geeft belangrijke thermische verbetering bij grote warmtelekken zoals stalen of betonnen kolommen of lateien (boven de ramen) die in de constructie zitten.

⁴ Het werken met dit Bluedec-materiaal vereiste vroeger, handschoenen en een douchekap omdat het plakkerige was. De platen niet gecacheerd zodat ze erg stofferig en plakkerig zijn (beschermingsmiddelen nodig zoals handschoenen en bril, vergelijkbaar met glaswol). De platen komen in de afmeting van $1400 \text{ mm} \times 720 \text{ mm}$ en zijn makkelijk met een Stanley mes te snijden. Voorgesneden stroken kosten extra.

⁵ Particuliere consumentenprijs. Bij grotere hoeveelheden (boven de 70 m^2) wordt een flinke korting verkregen.

Figuur 5. Betonnen lateien maken een verbinding tussen het binnen-spouwblad en het buiten-spouwblad. Hierdoor ontstaat extreem veel warmteverlies. In de linker schets wordt de temperatuurlijn aangegeven. Bij een ongeïsoleerde latei en een buitentemperatuur van 0°C wordt de binnentemperatuur op de latei 2°C. Met 30 mm Bluedec is er geen thermische lek meer.



Figuur 6. De getimmerde randconstructie boven het raamkozijn (triple glas en passief kozijn) is ingevuld met 40 mm PIR ($R_c = 1,6$) en 10 mm stroken Bluedec ($R_c = 0,74$, samen $R_c = 2,3$).

Op het houten frame ($R_c = 0,4$) wordt zowel aan de buitenkant als de binnenzijde nog eens 20 mm Bluedec toegepast waardoor $R_c \approx 3,0$ wordt toegevoegd, met een totaal van $R_c = 3,4$ voor het hout en $R_c = 5,3$ voor het centrum. De gemiddelde R_c -waarde ligt dan op $R_c \approx 4,7$ wat per 2021 de minimum nieuwbouw norm is voor gevelisolatie.



Wanneer ongecacheerd Bluedec binnen de woning wordt toegepast is het verstandig om het buiten de woning op maat te snijden en in dunne bouw-of afdekfolie in te pakken. Op deze manier komt het fijne plakkerige stof niet in de woning.

2.3. Toepassing van multi-folie als binnenzijdige muurisolatie

Er zijn verschillende multifolie isolatiedekens in de handel die uitstekend isoleren wanneer ze **vrij hangen**. Ze combineren een erg klein gewicht met hoge isolatiewaarden. Echter, wanneer ze onder panlatten worden getimmerd (*foto rechts SuperFoil*), of achter regels op een muur geschroefd, zal ter plaatse van de samendrukking de isolatiewaarde drastisch verminderen.

Figuur 7. Airflex Multi-foliedeken 10 mm $R_{d10mm} = 1,48 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (meting volgens ISO 6946, praktijk gebaseerd)⁶. De folies komen in dampdichte en damp-open foliepakketten.

Voor buitenzijdige dakisolatie is een damp-open folie nodig.

SF40 SuperFoil is opgebouwd uit 36 lagen van hoogwaardig isolatiemateriaal. Deze multi-folie deken, aangebracht met spouwen, voldoet aan de SEEH-subsidieregeling, door de R_{d105mm} van $3,58 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ bij een totale dikte van 105 mm (niet samengedrukt).

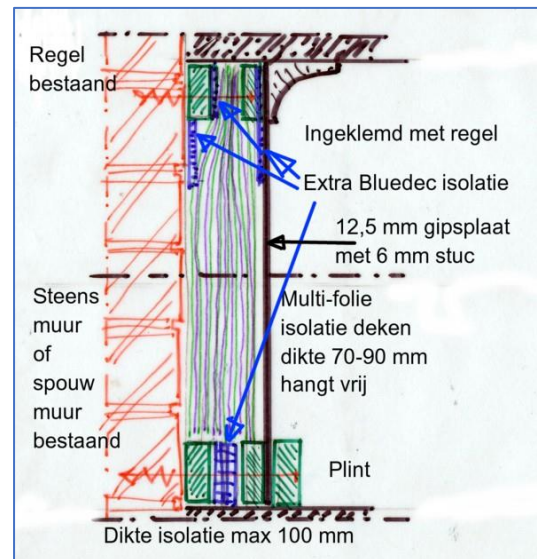


Figuur 8. Sommige dunne multi-folies hebben een plakstrook, maar anderen moeten opgehangen worden door ze in te klemmen.

Ter plaatse van de inklemming en waar de isolatiedeken niet geheel vrij hangt zal de **isolatiewaarde veel minder zijn dan de opgegeven waarde** en dus een thermisch lek veroorzaken.

Deze lange warmtelekken kunnen verminderd worden door Bluedec op de regel te zetten en door aan de onderkant tussen de regel en de plint ook een paar lagen 10 mm Bluedec te klemmen.

Om het plakkerige stof van de Bluedec platen te verminderen kan het oppervlak met spuitbuslak ietsje worden geseald.



Bij een steensmuur of on-geïsoleerde spouwmuur met een $R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ is dan een extra isolatie nodig van $R_c = 4,2$, hetgeen in theorie haalbaar is met twee luchtlagen naast de twee HRF-zijde van de meerlaagse folies wanneer die 2 cm luchtlag gegarandeerd kan zijn en de folie vrij hangt.⁷

Bij een na-geïsoleerde spouwmuur met een $R_c = 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ is dan ongeveer $R_c = 3,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ extra nodig om $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ te behalen.

Opgelet: wanneer dit materiaal op daken wordt gebruikt wordt het samengedrukt en kan de werkelijke isolatiewaarde tot de helft verminderen. Zie bijlage.

Door voor en achter de folie-deken tenminste 20 mm luchtsponw te garanderen wordt de isolatiewaarde verder verhoogd met $R_c = 1,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ vanwege de HRF-folies. Echter, dit betekent een extra 40 mm toegevoegde dikte, waarbij de totale isolatiedikte overeenkomt met die van de meeste vaste isolatiematerialen zoals PIR/Recticel, PUR en XPS-platen.

⁶ Verschillende isolatiematerialen worden in het laboratorium onder ideale omstandigheden getest volgens ISO 9869 Rti, waarbij de theoretische isolatiewaarde veel hoger wordt aangenomen vanwege het 2x meetellen van de maximale reflectiewaarde.

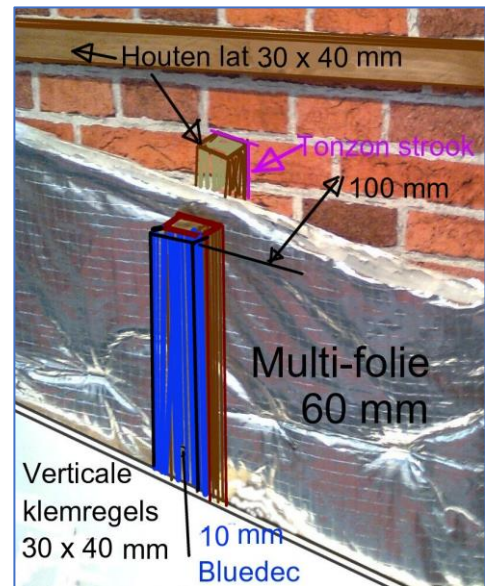
⁷ De netto dikte van de multifolie is vaak aangegeven als 25 mm of 35 mm, maar in de praktijk is het oppervlakte niet vlak en zit vol vouwen. Om het vrij te laten hangen, zonder enige inklemming is dan minimaal 5 cm nodig. Wanneer boven op de 5 cm nog eens 2 X een 2 cm luchtlag moet komen om de theoretische isolatiewaarde van de folie te halen, dan is de relatie isolatiewaarde en dikte (75 mm) ongeveer gelijk aan PIR-platen.

Figuur 9. De horizontale latten 30 x 40 mm zijn op de muur bevestigd. De verticale latten (30 x 40 mm) zijn op horizontale latten bevestigd en maken geen contact met de muur.

Achter op de verticale latten zit een Tonzon-folie of aluminium tape, waardoor de 25 mm luchtspouw tussen de lat en muur een $R_c = 0,7$ heeft.

De multi-folie wordt gefixeerd met de verticale klemregels van 30 x 40 mm en hangt tussen de latten 2 cm vrij van de muur, waardoor het HRF een waarde van $R_c = 0,7$ geeft.

Ter plaatse van de inklemming van de multi-folie is de dikte en de daar bij horende isolatiewaarde grotendeels verdwenen.



De afbeelding geeft een multifolie weer die bij vrij hangen een theoretische netto isolatiewaarde heeft van $R_c = 2,9$. Op de warme kamerszijde van deze regels zit een strook 10 mm Bluedec met $R_c = 0,74$. Hierdoor wordt het ergste van de warmtelekken in deze constructie voorkomen.⁸

De totale spouwbreedte is met de 3 regels en Bluedec 10 cm, waardoor de 6 cm multi-folie deken aan beide kanten 2 cm vrij hangt en haar volledige theoretische isolatiewaarde van $R_c \approx 2,9$ heeft + $2 \times 0,7$ voor de luchtspouwen = $R_c 4,3$. De gemiddelde isolatiewaarde van de muur moet 10% minder gerekend worden vanwege de verdunning van de deken naast de inklemming.

Als alternatief kunnen vaste/strakke meerlaagse isolatiepanelen gekozen worden die aan beide zijden een HRF heeft. Hierbij bestaat er een grotere zekerheid dat de luchtspouw 2 cm blijft.

Bij deze toepassingen is het relevant om de arbeidskosten te berekenen. Gebaseerd op alleen de materiaalkosten en de (toegevoegde) isolatiewaarde kunnen sommige opties een beter economisch of energetisch rendement hebben dan andere. De arbeidskosten van een aannemer en van de afwerking zijn dan belangrijk.

Op het einde van dit document staat een voorbeeldberekening van de terugverdientijd, waarbij de graaddagen, de gasprijs, de isolatiewaarde en de kosten kunnen variëren. Door deze variabelen in te vullen van de oude en de nieuwe situatie kan de terugverdientijd op de energie berekend worden.

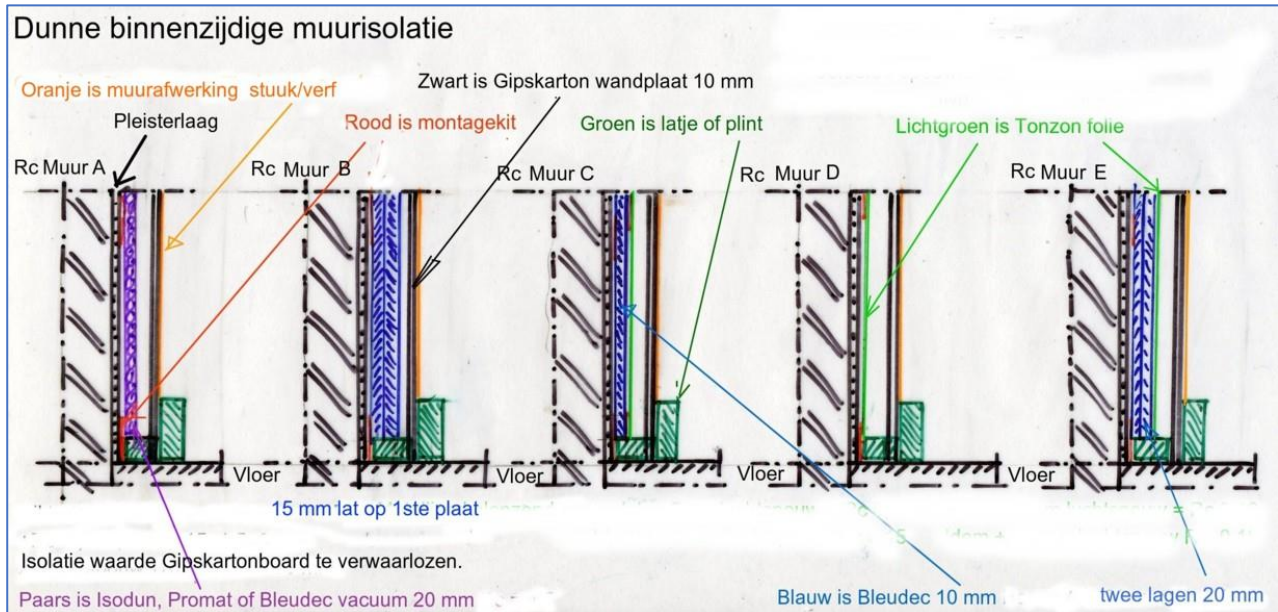
De meerwaarde van de woning is hierbij niet berekend.

Wanneer men van gasverwarming overstapt op een zuinige warmtepomp met een hogere SCOP zal de terugverdientijd ook langer worden.

⁸ Voor meer informatie over deze details zie het document "Warmtelekken voorkomen" op mijn website.

2.6. Gecombineerde DUNNE binnenzijdige muurisolatie met Bluedec

Door hoogwaardig isolatiemateriaal zoals Bluedec te combineren met Tonzon reflecterende folie, kan een minimale toegevoegde isolatiedikte verkregen worden die in de buurt van de 45 mm ligt.



Figuur 10. Enkele opties voor dunne binnenzijdige muurisolatie.

De volgende specificaties van de materialen en kostenindicaties (jaar 2021) zijn van toepassing. De kleuren in de tekst komen overeen met de materiaalkleuren in de schets.

Tonzonfolie € 3,0/m² incl. BTW. 1 x 20 mm verticale luchtspouw Rc ≈ 0,7 m².K/W. Werkdikte folie verwaarloosbaar. Houten latten en bevestiging op de muur totaal € 10,0/m² materiaalkosten.

Bluedec 10 mm. € 50/m² (< 70 m² incl. BTW)⁹. In enkele laag 10 mm Rc = 0,74 werkdikte ongeveer 12 mm.; twee sheets x 20 mm = 40 mm met Rc = 1,5. Voor twee lagen is de werkdikte ongeveer 22 mm.

Gipskartonplaat 12,5 mm, schroeven, gips, plamuur, € 5,0/m². Primer-fixeer € 5,0/m² samen € 10,0/m² Isolatiewaarde Rc = 0,07. Dunnere plafond gipsplaat (9,5 mm) is mogelijk.

Afwerking van de plinten en zijkanten/randen ongeveer € 3,0/m² exclusief raamkozijn om-timmeringen. De dikte van de isolatietoevoeging (mm) en de extra isolatiewaarde (Rc) is per muur aangegeven. Een 3 mm luchtspouw langs gewoon bouw materiaal telt niet meer mee voor de isolatiewaarde.

De toepassing van het 20 mm Vacuümpaneel wordt in een ander document behandeld, doch hier wordt de dunste optie ook vergeleken. Om de plaat te monteren wordt 1 mm montage kit toegepast. In de schets is een 20 mm luchtspouw langs het Vacuümpaneel toegepast. Omdat de Vacuümpanelen in een gewapende aluminiumfolie zijn ingepakt levert dit met de luchtlaag van 20 mm nog eens een Rc 0,5 op.

De dikte van de montagekit is gerekend op 1 mm.

Afwerking van het muuroppervlak met structuurverf ongeveer € 5,0/m² exclusief stuukwerk.

⁹ Excl. montage middelen zoals montage kit, of hulpmiddelen zoals afdekfolie, handschoenen, fijnstofmasker, pet, etc. Het materiaal is plakkerig en licht-stoffig (micro-stof) bij verwerking; alles moet binnen met folie afgedekt worden.

Muur A-1. 20 mm Vacuümpaneel. Extra isolatiedikte 1 + 20 + 1 + 0,5 (multiplex) ≈ + 22 mm.

Muur A-1. Extra isolatiewaarde + Rc = 2,5 + 0,1 ≈ Rc 2,6

Muur A-1. 20 mm Vacuümpaneel + Luchtspouw. Extra isolatiedikte 1 + 20 + 1 + 12,5 (gipsplaat) ≈ + 35 mm.

Muur A-1. Extra isolatiewaarde + Rc = 2,5 + 0,5 + 0,1 ≈ Rc 3,1

Muur A-2. 30 mm Vacuümpaneel 1 + 30 + 1 + 0,5 (multiplex) ≈ + 37 mm.

Muur A-2. Extra isolatiewaarde + Rc = 4 + 0,1 ≈ + Rc 4,5

Muur B. Twee lagen Bluedec, geen luchtspouw, gipsplaat. De gipsplaat wordt op een 15 mm regel vastgezet die de eerste Bluedec (10 mm) aan de muur verbindt.

De tweede Bluedec plaat wordt tussen de regels geplaatst. Extra dikte 10 + 15 + 12,5 ≈ + 38 mm.

Muur B. Extra isolatie (kleine verlaging door latten) + Rc = 1,3 + 0,07 ≈ + Rc 1,4

Muur B. Netto materiaalkosten/m² €200 + €10 + €10 + €3 + €5 = €228/m² Per Rc 228/1,4 ≈ **€163/m²**.

Muur C-1. Een laag Bluedec, tengel, luchtspouw 20 mm, Tonzonfolie, gipsplaat op tengel, verf

Extra dikte 10 + 20 + 12,5 ≈ + 43 mm. Regelwerk en pluggen €10,0/m²

Muur C-1. Extra isolatie + Rc = 0,74 + 0,7 + 0,07 ≈ + Rc 1,5

Muur C-1. Materiaalkosten/m² €100 + €10 + €10 + €3 + €5 = €138/m² Per Rc-waarde €138/1,5 ≈ **€92/m²**.

Muur C-2. Een laag Bluedec, tengel, luchtspouw 10 mm, Tonzonfolie, gipsplaat op tengel, verf.

Extra dikte 10 + 10 + 12,5 ≈ + 33 mm. Regelwerk en pluggen €10,0/m²

Muur C-2. Extra isolatie + Rc = 0,74 + 0,5 + 0,07 ≈ + Rc 1,3 (lagere isolatiewaarde bij 10 mm spouw)

Muur C-2. Materiaalkosten/m² €100 + €10 + €10 + €3 + €5 = €137/m² Per Rc-waarde €137/1,3 ≈ **€92/m²**.

Muur D. Tonzonfolie op muur, tengel, luchtspouw 20 mm, gipsplaat op tengel, verf.

Extra dikte 20 + 12,5 ≈ + 33 mm. Regelwerk en pluggen €10,0/m²

Muur D. Extra isolatie + Rc = 0,7 + 0,07 ≈ + Rc 0,8

Muur D. Netto materiaalkosten/m² €10 + €10 + €3 + €5 = €28/m² Per Rc-waarde €28/0,8 ≈ **€35,00/m²**.

Muur E. 2 x 1 cm Bluedec, luchtspouw 20 mm, Tonzonfolie, gipsplaat op tengel, verf.

Extra dikte 22 + 20 + 12,5 ≈ + 55 mm.

Muur E. Extra isolatie + Rc = 1,5 + 0,7 ≈ + Rc 2,2

Muur E. Net mat.kosten/m² €200 + €10 + €10 + €3 + €5 = €228/m² Per Rc-waarde 228/2,2 ≈ **€104/m²**.

Bovenstaande kosten zijn schattingen voor DoeHetZelf. Om te bepalen welke optie het meeste economisch rendement heeft, zullen ook de arbeidskosten van elke optie moeten worden berekend. De arbeidskosten zullen oplopen naarmate er meer handelingen verricht moeten worden. Bij eenvoudig werk zullen de kosten per m² verdubbelen.

Bijkomende kosten kunnen zijn: het weg- en terugplaatsen van een radiator, wandcontactdozen, schakelaars verplaatsen, raamomlijstingen verbreden en schilderen, nieuwe/bredere vensterbank, gordijn ophanging aanpassen, alkoof, plint en plafondaansluitingen.

De afwerking rond ramen en deuren met lijsten kost minimaal €40/m¹ zonder schilderen, excl. arbeid.

De bovenstaande optie E, een geïsoleerde spouwmuur van Rc ≈ 1,7 + 2,2 = Rc ≈ 3,9.

De bovenstaande optie A-1 een geïsoleerde spouwmuur van Rc ≈ 1,7 + 3,1 = Rc ≈ 4,8

Tonzon gemetalliseerde, tweezijdige Hoog Reflecterende Folie (HRF2) of thermosheets¹⁰. Tonzon geeft aan dat op de muur een zestal folies met elk een 20 mm luchtspouw een isolatiewaarde heeft van Rc = 4,25 dus

¹⁰ Zie bijlage 3 voor toelichting HRF meerlaagse folies.

per HRF2 folie met 20 mm verticale luchtlaag $R_c = 0,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Wanneer de luchtlaag dunner wordt, vermindert ook de isolatiewaarde. Zonder luchtspouw werkt het alleen als dampdichte folie.

Voor de levering van vacuümpanelen dient er een ontwerp gemaakt te worden en de juiste panelen op maat geleverd (dat kan voor kleine hoeveelheden en speciale maten maanden duren). Sommige bedrijven verkopen niet aan particulieren. Daarnaast moeten de randstroken met hoogwaardige isolatie worden ingevuld zoals Bluedec. Die randstroken isoleren dan wat minder.

2.7 Overzichtstabel na-isolatie maatregelen zonder arbeidskosten of raamafwerking.

Over het algemeen zijn de onderstaande prijsindicaties voor oppervlakten van 20 m^2 en meer, zonder dat er ramen in de gevel zitten. Het opnieuw omlijsten van de ramen en de aanpassing van de betimmering is veel werk en daardoor kostbaar.

Figuur 11. Een mogelijkheid is om de extra binnenzijdige muurisolatie slechts tot de houten raamomlijsting te laten lopen. In dat geval zal die raamomlijsting een lang warmtelek opleveren.

In de praktijk zal dan het bestaande houten kozijn ($R_c = 0,4$) en raamhout 4 cm dik = $R_c 0,2$) de slechtste isolatie hebben. Het glasoppervlak kan bij een goede kwaliteit HR++ een $R_c = 0,9$ hebben, maar bij triple glas $R_c = 2,0$



Extra isolatie	Extra dikte in mm	Extra isolatie in $R_c \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	Minimum materiaal kosten in euro/ m^2	Materiaal / R_c	Arbeids-factor	Opmerkingen
D	+ 33	0,8	28	35	***	Dunste met laagste R_c toevoeging en laagste DHZ kosten. €/Rc
C-2	+ 33	+ 1,3	87	67	***	Dunste met lage R_c toevoeging en lage DHZ kosten. €/€/Rc
A-1	+ 35	3,1	220	71	**	Lange besteltijd, maar snel werk met goede R_c toevoeging. €/€/Rc
B	+ 38	1,4	128	91	***	Dun, lage R_c toevoeging en duurste oplossing. €/€/€/Rc
C-1	+ 43	1,5	78	51	***	Lage R_c toevoeging, gemiddelde dikte, lage DHZ kosten. €/Rc
A-3	+ 54	3,8	220	58	**	Lange besteltijd, snel werk, hoge R_c toevoeging, hoogkosten. €/Rc
A-2	+ 54	4,6	240	52	**	Lange besteltijd, snel werk hoogste R_c toevoeging, hoge kosten. €/Rc
E	+ 55	2,2	128	58	**	Dikste, matige R_c toevoeging, hoge kosten. €/€/Rc

De opmerkingen €/Rc zijn exclusief de arbeidskosten. Die arbeidskosten hebben een grote invloed op de totaalkosten. Vooral bij het afwerken van ouderwetse raamomlijstingen en schilderwerk kan de arbeidstijd flink oplopen.

Bijlage 1. Voorbeeld van 46 mm dunne binnenzijdige muurisolatie type C-1.

Beperkte toevoeging aan dikte en resulterende isolatiewaarde

Dit voorbeeld C-1 was gekozen vanwege de beperkt toegestane constructiedikte. De bestaande spouwmuur had al na-isolatie tot een $R_c = 1,7$. De toevoeging verdubbelde bijna deze isolatiewaarde, waarmee het warmteverlies via deze buitenmuur ongeveer halveerde.

Figuur 12. De bies in de parketvloer was op 90 mm van de plint. Bij de binnenzijdige na-isolatie werd dit 52 mm bij gelijke plintdikte; ongeveer de helft. De constructie dikte is in dit geval 48 mm.

Op de foto is te zien dat er de parket strook smaller langs de buitenmuur is dan langs de convectorbak.



Een alternatief is om de toegevoegde binnenzijdige muurisolatie ongeveer 10 cm dik te maken waarbij de bies geheel verdwijnt. In dat geval kant een parketbedrijf een nieuwe bies in de vloer maken op een afstand van 9 cm overeenkomstig de breedte van de eerste bies. Met deze optie kan een hogere toegevoegde isolatiewaarde verkregen, maar is het ruimteverlies ook iets groter.

Figuren 13. Op de binnenzijde van de na-geïsoleerde spouwmuur met $R_c = 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ werden platen 10 mm Bluedec geplakt $R_c = 0,74 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ en aan de muur vastgezet met 17 mm x 50 mm houten regel er bovenop.

Op deze regel werd een 5 mm Bluedec plakstok toegepast om verticale warmtelekken ter plaatse van de regels te voorkomen.

Luchtspouwdiktetussen het Bluedec en de gipsplaat is daarmee >20 mm.



Op de binnenzijde van de gipsplaat werd een Tonzon-folie geplakt met tweezijdig plakband. De gipsplaat met folie werd op de regels geschroefd zodat een >20 mm verticale luchtspouw ontstaat met $R_c = 0,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Totaal van de isolatiewaarde van de muur is nu $R_c = 1,7 + 0,74 + 0,7 + 0,07 = 3,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. De extra dikte op de bestaande muur is dan 10 mm (Bluedec) + 23 mm (17 mm lat + 5 mm Bluedec) + 9,5 mm (dunne gipsplaat) + stuc/verf (3,5 mm) is $\approx 46 \text{ mm}$.



Bijlage 2. Dunne binnenzijdige isolatie van $R_c > 3$.

Dunne isolatie om een $R_c < 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ te bereiken bij na-geïsoleerde spouwmuur ($R_c = 1,7$)

De volgende lijst betreft de extra isolatie die nodig is om van een na-geïsoleerde spouwmuur de minimum nieuwbouwnorm voor gevels van $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ te bereiken. De eigen isolatiewaarde van de na-geïsoleerde spouwmuur is ongeveer $R_c = 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, inclusief de gemiddelde binnenzijdige en buitenzijdige overgangswaarden met de lucht. Extra isolatie nodig is dus $R_c \geq 3,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Voor steensmuren of on-geïsoleerde spouwmuren, bijvoorbeeld wanneer ze aan de buitenkant geschilderd zijn is de startwaarde $R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. In de voorlaatste kolom moeten de waarden dan met $R_c = 1,2$ verminderd worden voor het juiste eindresultaat van de muurisolatie.

Getal tussen haakjes () is equivalente R_d -waarde van de reflecterende (HRF) folies met 20 mm luchtlaag. Vacuümpanelen hebben eveneens een HR-folie waar met 20 mm extra luchtsouw ook een R_d -waarde van 0,7 aan toegevoegd kan worden. De curatief materialen zijn niet gecertificeerd wat betreft isolatiewaarde en kunnen daarom (sterk) afwijken en worden sterk beïnvloed door de manier van monteren.

Bij de toepassing van 9,5 mm gipsplaat als afwerking van de wandisolatie wordt de dikte 3 mm minder.

#	Materiaal soort muurisolatie. Variaties per merk bestaan.	R_{d1m}	Dikte van de extra isolatie	$R_{d\text{minimum}}$ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	+ Spouwmuur R_c van $1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	Kosten niveau
2	Bluedec® platen 3x10mm $R_{d100\text{cm}}=74$	€110/ m^2	30 mm	$R_{d50\text{mm}} = 2,96$		
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d12\text{mm}} = 0,07$	1 x latten	
	Totale isolatiewaarde		+42,5 mm	+$R_{d62\text{mm}} = 3,03$	$R_d = 4,73$	€€€€
3	Bluedec , 2 x 10 mm $R_{d100\text{cm}}=74$	€75/ m^2	20 mm	$R_{d20\text{mm}} = 1,5$		
	2x Tonzonfolie + 2 x luchtsouw 20 mm	10/ m^2	40 mm	$R_{d20\text{mm}} = (1,4)$	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+72,5 mm	+$R_{d53\text{mm}} = 2,97$	$R_d = 4,67$	€€€
4-1	Bluedec , 1 x 10 mm $R_{d100\text{cm}}=74$	€40/ m^2	10 mm	$R_{d10\text{mm}} = 0,74$		
	2x Tonzonfolie + 2 x luchtsouw 20 mm	€10/ m^2	40 mm	$R_{d40\text{mm}} = (1,4)$	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+62,5 mm	+$R_{d63\text{mm}} = 2,21$	$R_d = 3,91$	€€€
4-2	Bluedec , 1 x 10 mm $R_{d100\text{cm}}=74$	€40/ m^2	10 mm	$R_{d10\text{mm}} = 0,74$		
	Tonzonfolie + 1 x luchtsouw 20 mm	€5/ m^2	20 mm	$R_{d20\text{mm}} = (0,7)$	1 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+42,5 mm	+$R_{d43\text{mm}} = 1,51$	$R_d = 3,21$	€€€
De opgegeven dikte van de multifolies is altijd de minimale dikte. Wanneer ze gekreukeld zijn moet die dikte veel ruimer genomen worden.						
5	Isofolie, luchtgevulde noppen 3 laags	€ 30/ m^2	>> 10 mm	$R_{d10\text{mm}} = 0,6$	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+40 mm	+$R_{d23\text{mm}} = 0,67$	$R_d = 2,37$	€
6-1*	Type Isobooster, T5	€ 30/ m^2	>> 56 mm	$R_{d56\text{mm}} = 3,2$	Niet pletten, vrij hangend	
	Luchtsouwen 2x20mm aan 2 HRFzijden		40 mm	$R_{d40\text{mm}} = (1,4)$	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+120 mm	+$R_{d103\text{mm}} = 4,67$	$R_d = 6,37$	€€
6-2	Type Isobooster, T5	€ 30/ m^2	>> 56 mm	$R_{d56\text{mm}} = 3,2$	Niet pletten, vrij hangend	
	Luchtsouw 1 x 20 mm aan HFR zijde		20 mm	$R_{d40\text{mm}} = (0,7)$	1 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+100 mm	+$R_{d103\text{mm}} = 3,97$	$R_d = 5,67$	€€
6-3	Type Isobooster, T5	€ 30/ m^2	>> 56 mm	$R_{d56\text{mm}} = 3,2$	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+80 mm	+$R_{d103\text{mm}} = 3,27$	$R_d = 4,97$	€€
7**	Airflex expert70 isolatiedeken 17 lagen	€ 20/ m^2	>> 70 mm	$R_{d70\text{mm}} = 3,1$	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		
	Totale isolatiewaarde		+90 mm	+$R_{d83\text{mm}} = 3,17$	$R_d = 4,87$	€€
8	Airflex expert50 isolatiedeken 13 lagen	€ 16/ m^2	> 50 mm	$R_{d50\text{mm}} = 2,72$	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	$R_{d13\text{mm}} = 0,07$		

#	Materiaal soort muurisolatie. Variaties per merk bestaan.	Rd _{1m}	Dikte van de extra isolatie	Rd _{minimum} m ² .K/W	+ Spouwmuur Rc van 1,7 m ² .K/W	Kosten niveau
	Totale isolatiewaarde		+70mm	+Rd_{63mm} = 2,79	Rd = 4,67	€€
9	SF40 SuperFoil, 36 lagen	€ 32/m ²	>> 105 mm	Rd _{105mm} = 3,17	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+130 mm	+Rd_{118mm} = 3,24	Rd = 4,94	€€
10-1	Actis Triso HcontrolHybrid dampdicht	€ 30/m ²	>> 35 mm	Rd _{35mm} = 1,9		
	Luchtsponen 2 x 20 mm HRF zijden		40 mm	Rd _{40mm} = (1,4)	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+100 mm	+Rd_{88mm} = 3,37	Rd = 5,07	€€
11***	Actis Hybris (harmonica foam)	€ 30/m ²	75 mm	Rd _{75mm} = 2,25	Vast, nNiet vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+90 mm	+Rd_{88mm} = 2,32	Rd = 4,02	€€
12-1	Flexibele isolatiefolie 18 SR+19 lagen	€ 18/m ²	>> 35 mm	Rd _{35mm} = 3,0	Niet pletten, vrij hangend	
****	Luchtsponen 2 x 20 mm weerszijden		40 mm	Rd _{40mm} = (1,4)	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+100 mm	+Rd_{88mm} = 4,47	Rd = 6,17	€€
12-2	Flexibele isolatiefolie 18 SR+19 lagen	€ 18/m ²	>>35 mm	Rd _{35mm} = 3,0	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+60 mm	+Rd_{48mm} = 3,07	Rd = 4,77	€€
12-3	Flexibele isolatiefolie 18 SR+19 lagen	€ 18/m ²	>> 35 mm	Rd _{35mm} = 3,0	Vrij hangend	
	Luchtsponen 1 x 10 mm HRF kant		10 mm	Rd _{40mm} = (0,5)	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+70 mm	+Rd_{88mm} = 3,57	Rd = 5,27	€€
13-1	Flexibele isolatiefolie 11 SP 11 lagen	€ 15/m ²	>> 25 mm	Rd _{25mm} = 2,6	Niet pletten, vrij hangend	
	Luchtsponen 2 x 20 mm HFR zijden		40 mm	Rd _{40mm} = (1,4)	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+90 mm	+Rd_{78mm} = 4,07	Rd = 5,77	€€
13-2	Flexibele isolatiefolie 11 SP 11 lagen	€ 15/m ²	>> 25 mm	Rd _{25mm} = 2,6	Niet pletten, vrij hangend	
	Luchtsponen 1 x 20 mm HRF-zijde		20 mm	Rd _{20mm} = (0,7)	1 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+70 mm	+Rd_{58mm} = 3,37	Rd = 5,07	€€
13-3	Flexibele isolatiefolie 11 SP 11 lagen	€ 15/m ²	>> 25 mm	Rd _{25mm} = 2,6	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+50 mm	+Rd_{58mm} = 2,67	Rd = 4,37	€€
14-1	X-laine schapenwol 18-laags isolatiefolie	€ 23/m ²	>> 25 mm	Rd _{25mm} = 4,6	Niet pletten, vrij hangend	
*****	Luchtsponen 2 x 20 mm HRF-zijden		40 mm	Rd _{40mm} = (1,4)	2 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+90 mm	+Rd_{83mm} = 6,07	Rd = 7,77	€€
14-2	X-laine schapenwol 18-laags isolatiefolie	€ 23/m ²	>> 25 mm	Rd _{25m} = 4,6	Niet pletten, vrij hangend	
	Luchtsponen 1 x 20 mm HRF-zijde		20 mm	Rd _{20mm} = (0,7)	1 x latten	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+70 mm	+Rd_{58mm} = 5,37	Rd = 7,07	€€
14-3	X-laine schapenwol 18-laags isolatiefolie	€ 23/m ²	>> 25 mm	Rd _{30mm} = 4,6	Niet pletten, vrij hangend	
	Gipskartonplaat	5,5	12,5 mm	Rd _{13mm} = 0,07		
	Totale isolatiewaarde		+50 mm	+Rd_{43mm} = 4,67	Rd = 6,37	€€

* De genoemde Rd waarde van Isobooster mag niet meer gebruikt worden vanaf 2021 voor het aanvragen van subsidie op isolatie. Dat komt omdat de HRF-zijde met 2 cm lucht (Rd = 0,7) onderdeel is van die isolatiewaarde.

** De meeste multifolies hebben aan beide zijden een dampdichte HRF. De isolatiewaarden van deze multifolies zijn opgegeven inclusief het effect van de **2X horizontale luchtsponen** langs de HRF. Op de locaties waar deze multifolies worden geplet, vermindert de isolatiewaarde **zeer sterk**. Ter plaatse van de verbindingen ontstaan dan lange warmtelekken. Dit is speciaal zo wanneer ze onder (pan)latten worden vastgezet. Wanneer multifolies onder een dakbeschot hangen zullen de luchtsponen sterk variëren en daarmee de isolatiewaarde van het systeem.

*** De Actis harmonica plaat is dik en kan in kruipruimtes tussen de vloerbalken gebruikt worden. Het heeft wel een HRF en een gegarandeerde luchtsponen van 2 cm geeft dan een verhoging van Rc = 0,7. Door de harmonica structuur zakt deze weinig door wanneer horizontaal toegepast.

**** De dunne flexibele isolatiefolie 18 SR+19 lagen wordt op de website aangegeven als isolatiewaarde Rd = 5,8 maar dat zou inclusief de twee HRF + 2 cm luchtsponen zijn, {samen Rc= (1,4)}. De netto isolatiewaarde van deze folie

zou dan $R_c = 4,4$ zijn. Het CE-certificaat TCJS1305242379 van 30 juni 2013 geeft aan dat de isolatiewaarde $R_c = 3,0$ is. Dat laatste klopt ongeveer met gelijksoortige multifolie deken.

***** Opgelet: X-laine heeft ook dakisolatie, maar dat heeft slechts aan één zijde de HRF. De opgegeven R_{ti} -waarde van dit materiaal klopt waarschijnlijk niet. Zie vorige opmerking en voetnoot 17.

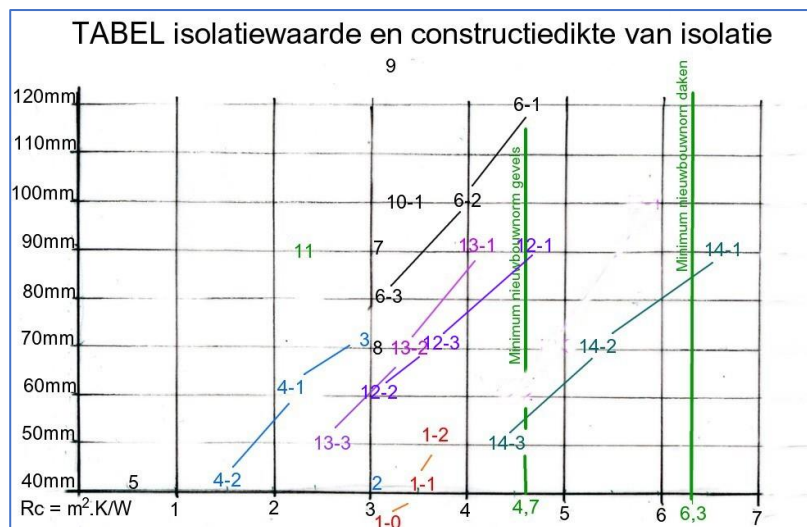
Algemeen. De prijzen zijn ex-fabriek en zijn meestal zonder transportkosten.

Het kosten niveau/m² wordt lager bij grotere oppervlaktes en halveert ongeveer bij Doe-het-Zelf. Het kostenniveau wordt hoger bij veel kleine muurvlakken. De decoratieve afwerking (raam omlijstingen, schilderwerk, tegels) of aanpassen van installaties (CV, elektra) is niet meegenomen.

Figuur 12.

Om een na-geïsoleerde (5 cm EPS-korrels of vlokken) spouwmuur ($R_c = 1,7$) tot aan de minimum nieuwbouw waarde te verbeteren ($R_c = 4,7$) moet een isolatiesysteem gekozen worden dat op of rechts van de $R_c = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ lijn ligt.

Bij 9,5 mm gipsplaat wordt de toegevoegde constructie dikte 3 mm minder.



Voor een maximale 6 cm toegevoegd als dikte op de muur om een isolatiewaarde van $R_c > 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ te halen zijn de volgende opties relevant.¹¹ De donkere groene kleur geeft de betere isolatiewaarde aan.

Kode	Materiaal uit bovenstaande lijst	prijs	dikte	Extra isolatie + minimum dikte	Inclusief $R_c 1,7$ van spouwmuur	kosten
13-3	Flexibele isolatiefolie 11 SP 11 lagen	€ 15/m ²	+50 mm	+Rd _{50mm} = 2,67	Rd = 4,37	€€
2	Bluedec® platen 3x10mm Rd _{100cm} =74	€300/m ²	+42,5 mm	+Rd _{43mm} = 3,03	Rd = 4,73	€€€€€
13-2	Flexibele isolatiefolie 11 SP 11 lagen	€ 15/m ²	+70 mm	+Rd _{70mm} = 3,37	Rd = 5,07	€€
12-2	Flexibele isolatiefolie 18 DR+19 lagen	€ 18/m ²	+60 mm	+Rd _{60mm} = 3,0	Rd = 5,7	€€
14-3	X-laine schapenwol 18-laags isolatiefolie	€ 23/m ²	+50 mm	+Rd _{50mm} = 4,67	Rd = 6,37	€€
12-3	Flexibele isolatiefolie 18 DR+19 lagen	€ 18/m ²	+70mm	+Rd _{70mm} = 4,97	Rd = 6,67	€€
14-2	X-laine schapenwol 18-laags isolatiefolie	€ 23/m ²	+70mm	+Rd _{70mm} = 5,37	Rd = 7,07	€€

De optie 13-3 is een goedkope optie wanneer extra dun na-geïsoleerd moet worden.

De optie 2 is de duurste opties met betrekking tot de materiaalkosten, maar ook de dunste.

Vacuümpanelen zijn niet opgenomen in deze lijst want de prijs is erg afhankelijk van de oorsprong van de panelen de hoeveelheden en de transportkosten.

De twee opties 14-3 en 12-2 geven de meest economische resultaten, maar in beide opties moet het materiaal vrij hangen zonder beklemmingen, want met inklemming daalt daar de isolatiewaarde sterk.

De drie opties 13-2, 12-3 en 14-2 zijn de dikste oplossingen (70 mm), met hoge isolatiewaarden.

¹¹ Er zijn nog meer soorten meerlaagse folies op de markt. Sommigen zijn dampdoorlatend voor buiten op daken.

Bijlage 3. Dunne binnenzijdige spouwmuur na-isolatie met multi-folie.

De volgende na-geïsoleerde spouwmuur ($R_c = 1,7$) werd aan de binnenzijde verder na-geïsoleerd met:

12-2	Flexibele isolatiefolie 18 DR+19 lagen	€ 18/m ²	+60 mm	+Rd _{60mm} = 3,0	Rd = 5,7	€€
------	--	---------------------	--------	---------------------------	----------	----

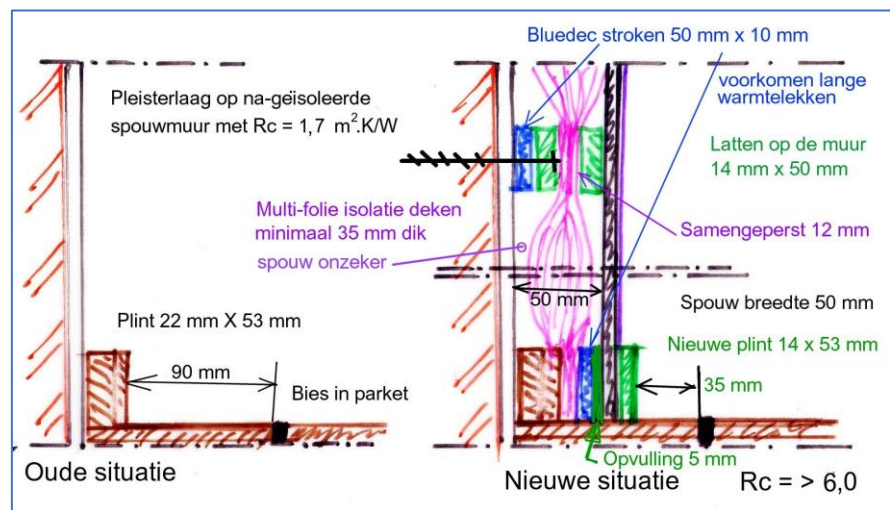
Het feitelijke prijsverschil van de gebruikte materialen en afwerking verschilt erg weinig met:

14-3	X-laine schapenwol 18-laags isolatiefolie	€ 23/m ²	+50 mm	+Rd _{50mm} = 4,67	Rd = 6,37	€€
------	---	---------------------	--------	----------------------------	-----------	----

Hetzelfde constructie systeem kan worden toegepast, waarbij de X-laine zelfs iets dunner is.¹²

De multifolie moet vrij hangen. Minimum dikte van deze multifolie is 35 mm. De gemaakte vrije hangruimte is ≈ 50 mm, waar de 9,5 mm (plafond)gipsplaat op kwam. Deze werd afgewerkt met stucpasta en geschilderd: totale toegevoegde dikte op de muur is ≈ 60 mm. Om de bies in de parketvloer beter in het zicht te laten werd er een dunne plint toegepast van 14 mm. De resterende strook parket tussen de plint en de bies is 35 mm (was eerst 90 mm).

Figuur 13. Door de isolatiedikte op de bestaande muur dun te houden en ook de plint iets dunner uit te voeren blijft de bies in de parketvloer goed zichtbaar. De Bluedec stroken voorkomen warmtelekken.



Bij verticale plaatsing van de gipsplaten zullen de dekenen ter plaatse ingeklemd worden. De ingeklemd multifolie dekenen hebben dan ter plaatse bijna geen isolatiewaarde, maar ook aan beide zijden (> 50 mm elk) langs de bevestigingen van de multifolie dekenen en de gipsplaten (60 cm breed) zal de isolatiewaarde van de multifolie dekenen verminderd zijn. Over het geheel van de muur kan gerekend worden op een isolatieverlies van tenminste 25% (15 cm over de breedte van 60 cm).

Bij een isolatiewaarde van de multifolie dekenen van $R_c = 3,0$ zal dan de toegepaste gemiddelde isolatiewaarde ongeveer $R_c \approx 2,5$ zijn.

Met Bluedec stroken achter de latten kan de isolatiewaarde minus 10% zijn of $R_c \approx 2,7$ zijn.

In de schets Figuur 15 is de spouw 15 mm breder dan de minimum dikte van de multifolie dekenen. Hierdoor zal aan een of twee zijden van de HRF een luchtsponw ontstaan die aanvullende isolatie geeft. Wanneer de deken expandeert tot de hele 50 mm zullen de interne spouwen tussen de vele folies ook iets breder worden. In beide situaties kan er ongeveer $R_c = 0,5$ aan de theoretische netto isolatiewaarde van de multifolie dekenen worden toegevoegd.

Met Bluedec stroken is dan de theoretisch toegevoegde isolatiewaarde $R_c = (3,0 + 0,5) - 10\% = 3,15$
 Samen met de na-geïsoleerde spouwmuur zou de nieuwe isolatiewaarde zijn: $R_c = 4,85$ m².K/W

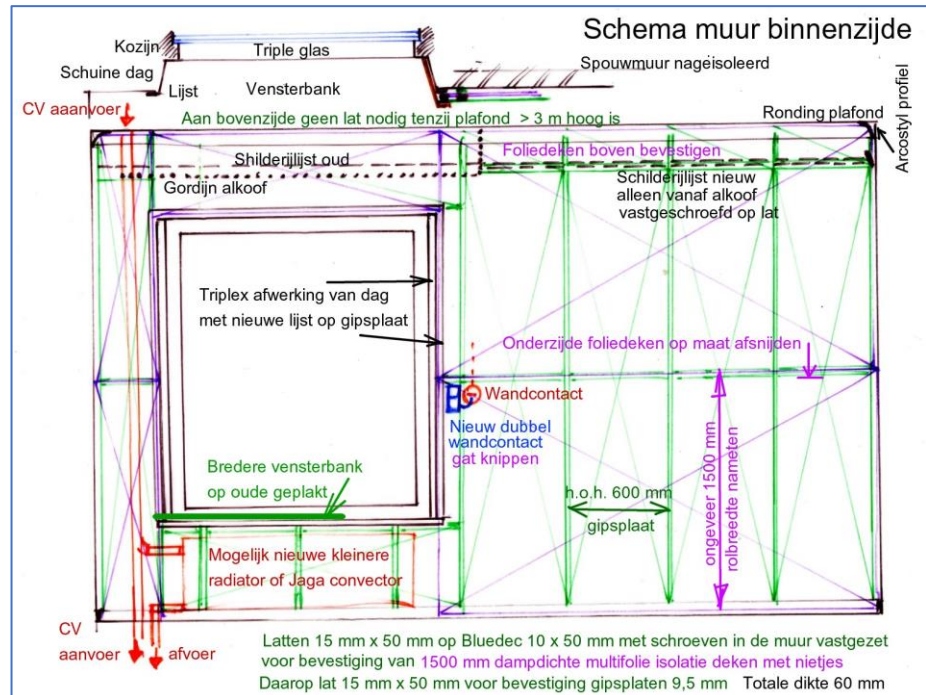
¹² Rd is volgens de theoretische waarde, in horizontale positie, waardoor de toegevoegde isolatiewaarde hoger is dan bij een verticale luchtsponw langs de HRF-zijde. Zie ook voetnoot 17.

Bij de toepassing van optie 14-3 met X-laine¹³ kan de isolatie met 30 mm zonder extra luchtsponen worden toegepast, waarbij de totale toegevoegde dikte (met plafond gipsplaten) slechts 40 mm is, met een theoretische isolatiewaarde in combinatie met Bluedec stroken van $R_c = 4,6 - 10\% = 4,14$. De totale al na-geïsoleerde spouwmuur wordt dan theoretisch $R_c = 4,14 + 1,7 \approx 5,8$. Praktisch ook $R_c \approx 4,8$. Het monteren van de multifolie isolatiedekens in combinatie met gipsplaten of ander afwerk materiaal vereist goede planning voor de positie van de bevestigingslatten.

Figuur 14.
 Planning van de muur en de positie van de bevestigingslatten is belangrijk.

De multifolie isolatiedekens hebben een breedte van ongeveer 1500 mm, terwijl gipsplaten een breedte hebben van precies 600 mm.

Voor de bevestiging van de radiator kan met niet door de multifolie boren.



Overeenkomstig de schets **Figuur 5** is het een goed idee om een schilderijlijst in de bovenkant van de muur te bevestigen voor het ophangen van zaken. Deze schilderijlijst moet stevig in de muur bevestigd worden. Gipsplaten komen in lengtes van bijvoorbeeld 200 cm en 260 cm. Bij hogere kamers kan dan een schilderijlijst gemaakt worden met het hart op 260 cm.

Bij een betere muurisolatie zou een kleinere radiator mogelijk zijn, maar ook op de duur een warmtepomp. Wanneer men geen LTV-vloerverwarming gaat aanleggen in combinatie met een warmtepomp, kan met de grote oude radiatoren of met kleinere convectorradiatoren de kamer goed verwarmd worden. Wanneer men niet meer de grote zware radiatoren wil, is het binnenzijdig isoleren van de muren ook het moment om convectorradiatoren te plaatsen. Deze kunnen op de grond staan of opgehangen worden. Wanneer ze opgehangen moeten worden dan moeten er schroeven in de muur gedraaid kunnen worden.

Figuur 15. Draineren van de leidingen van het CV-systeem en loskoppelen van de radiator en verwijderen radiatorfolie. Bij het terugplaatsen van de radiator is het verstandig om voetventielen te plaatsen. Ook kan ervoor gekozen worden om een convector radiator te plaatsen wanneer er straks een warmtepomp moet komen zonder LTV-vloerverwarming. Deze 140 cm x 40 cm radiator heet een vermogen van ongeveer 600 Watt bij hoog temperatuur water.



¹³ Bij de Dunne Flexibele isolatiefolie 18 DR+19 lagen is de op de websites opgegeven isolatiewaarde inclusief 2X HRF + luchtsponw (horizontaal) met is $R_c = 2,0$ hoger dan de gecertificeerde waarden. Van de websitewaarde zou dus ongeveer $R_c 2,5$ tot $R_c 3,0$ afgetrokken moeten worden om de werkelijke isolatiewaarde te bepalen zonder spouw.

Figuur 16. Raam omlijstingen vereisen veel werk om deze netjes op de dikkere muur aan te sluiten. Zie ook Figuur 13

Er kan ervoor gekozen worden om de dikkere binnenmuur te stoppen voor de raamomlijstingen zoals op deze afbeelding.

De plafond afwerking moet ook gepland worden.

CV-leidingen kunnen in de isolatie wegvallen.

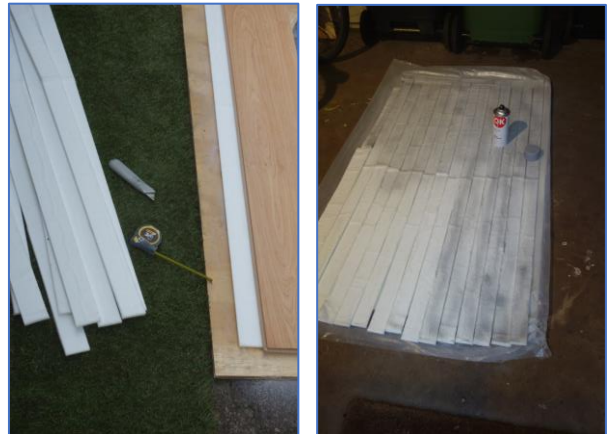
In sommige situaties moet er een bredere vensterbank gemaakt worden.



Figuren 17. Snijden van Bluedec stroken van 5 cm op een harde ondergrond. Het is mogelijk om de stroken met een verf uit een spuitbus te behandelen, maar dat geeft slechts weinig vermindering van het stof.

Het voorboren van de latten en het plaatsen van de Bluedec op de latten kan het beste buiten gebeuren.

De plaats van de muurpluggen worden per lat op de muur afgetekend en voorgeboord overeenkomstig de breedte van de gipsplaten of ander plaatmateriaal.



Figuur 18. De schilderijlijst is verwijderd en wordt alleen teruggeplaatst aan de rechterkant van de gordijn-alkoof. De alkoof blijft zitten. De gordijnen komen rechts en links van het raam te hangen.

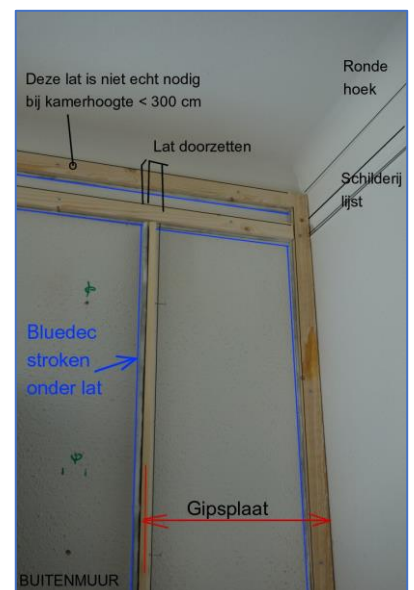
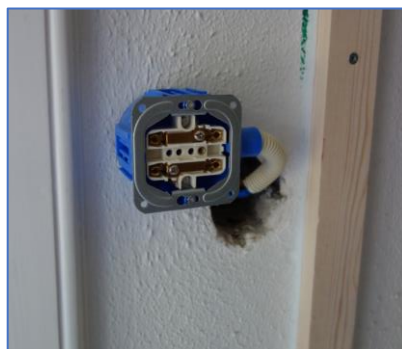
De linkerhoek heeft al een isolatiefase ondergaan in combinatie met de hele linker gevelmuur.

De multifolie deken wordt op de randen van de kozijn afwerking vastgezet. Daarlans is dus geen extra lat noodzakelijk.



Figuren 19. De latten worden zo geplaatst dat de gipsplaten op een lat samenvallen. De een na bovenste lat is op de hoogte van de schilderijlijst en het einde van de gipsplaat. Wanneer de verticale lat wordt doorgezet is de bovenste lat niet noodzakelijk, tenzij de kamerhoogte meer is dan 300 cm.

Een wandcontact montagedoos is 6 cm dik en kan op de muur geschroefd worden als de voorzetmuur ook 6 cm dik is. In dit geval werd er een dubbele wandcontactdoos geplaatst.



Figuur 20. De stroken multifolie worden op maat gesneden en met een nietmachine horizontaal bevestigd (hoog 142 cm). De horizontale lat moet op de juiste hoogte zitten van de feitelijke breedte van de rol multifolie.

De bovenste strook (145 cm hoog) op de horizontale latten geniet en de overstekende rest afgesneden. Bij deze muur zijn er vier stroken. Een boven het raam, een onder het raam en twee op het muurvlak. Voor een hangende Jaga Tempo radiator (zonder achterkant) moeten er bevestigingslatten op de muur worden gezet, of een multiplex plaat op de gipsplaat latten.



Figuur 21. De verticale latten worden aangebracht op de onderliggende latten zodat de gipsplaten samenkomen op deze latten. Ook de schilderijlijst lat wordt bevestigd.

Hier is de nieuwe Jaga Tempo tijdelijk voor de muur gezet. Vermogen zonder inwendige ventilatoren is 1200 Watt.



Figuur 22. De gipsplaten zijn gemonteerd en het wandcontact uitgesneden. Het deel van de oude schilderijlijst is stevig op de latten gemonteerd. De dunne plint is de onderafwerking. Rond het raam wordt een lijst op de gipsplaat gezet.

Langs het plafond werd een kwartronde Arcostyl EPS strook geplakt, overeenkomstig de ronding in de rest van de kamer. Nu kunnen de naden tussen de gipsplaten afgeplakt worden en de muur gestuukt (Stuc pasta) en geschilderd.



Figuur 23. Onder het raam is een multiplex plaat op de gipsplaat en op de achterliggende regels bevestigd waar later de Jaga Tempo radiator aan gehangen kan worden.

De radiator heeft een klein gewicht, maar afhankelijk van de aansluitingen kunnen de ophangpunten variëren (links: de ijzeren pijpen moeten worden afgezaagd voor nieuwe klemkoppelingen). Het van tevoren precies bepalen waar de ondersteuning moeten komen is daarom moeilijk.



Een bredere vensterbank wordt op de oude geplakt. De aansluiting van een nieuwe radiator op oude ijzeren leidingen (22mm of 26 mm) vereist extra (schroef/klem) fittingen. De positie van de radiator kan hierdoor beïnvloed of beperkt worden.

Bijlage 4. Trappmuur isolatie van een buitenmuur.

Bij veel oude woningen zit er tussen twee blokken een steegje met aan twee zijden een blinde muur.

Wanneer er niet buitenzijdig geïsoleerd kan worden blijft binnenzijdig isoleren de optie. Wanneer er echter een trap langs de buitenmuur loopt dan kan er geen 5-10 cm van die trapbreedte afgehaald worden voor de binnenzijdige muurisolatie. In dat geval kan er dunne binnenzijdige muurisolatie worden toegepast die de isolatiewaarde van die buitenmuur sterk verbeterd¹⁴.

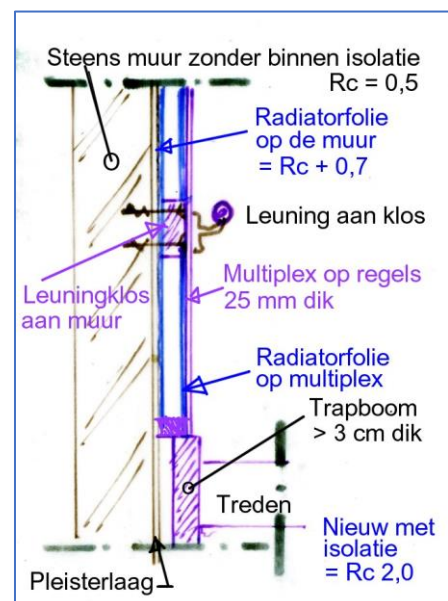


Figuur 24. Bij veel tussen doorgangen tussen rijtjeswoningen is er onvoldoende breedte om voor een of twee woningen buitenzijdige muurisolatie toe te passen. In dat geval is binnenzijdige isolatie de optie. Bij de linker (witte woning) loopt de trap omhoog langs de buitenmuur en kan niet met 5 tot 10 cm smaller gemaakt worden.

Het trappenhuis zal gemiddeld een iets lagere binnentemperatuur hebben dan de woonkamers, maar het buitenmuur oppervlak is vrij groot en dus het warmteverlies. Er zijn vijf methoden om de buitenmuur ter plaatse van de trap beter te isoleren. De huidige buitenmuur heeft een isolatiewaarde van $R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

1. Het opplakken van een bouwmarkt radiatorfolie op de muur. Dit verdubbelt de isolatiewaarde van de muur tot $R_c \approx 1,2$. Echter niet iedereen vindt dit mooi.
2. Het verwijderen van de trapleuning, opplakken van radiator folie, het bevestigen van regels van 25 mm hoog. Ter plaatse van de trapleuning bevestiging klossen op de buitenmuur bevestigen. Op een dunne multiplexplaat van 4 mm ook radiatorfolie plakken en met die zijde op de regels bevestigen. Daarna de trapleuning op de klossen vastzetten. De totaal toegevoegde dikte is dan 30 mm. De nieuwe isolatiewaarde wordt dan $R_c \approx 1,2$. Schets linksonder.
3. Hetzelfde als boven, maar met de toepassing van twee (2 cm) of 3 (3 cm) lage Bluedec en afwerken. De nieuwe isolatiewaarde wordt dan respectievelijk $R_c \approx 2$ en 2,8. Schets rechtsonder.
4. Hetzelfde als nummer 2 maar met de toepassing van speciaal geproduceerd vacuümplaten van 2 cm dik. De nieuwe isolatiewaarde wordt dan $R_c \approx 3,5$. Schets rechtsonder

Figuur 25. Optie met 2x HRF met multiplex afwerking. Dezelfde isolatiewaarde kan verkregen worden met 2X Bluedec, maar voor een hogere kostprijs aan materialen. De bepaling van de methode kan afhankelijk zijn van de dikte van de trapboom.



¹⁴ Of het mogelijk is om een toegevoegde isolatiewaarde te verkrijgen van minimaal $R_c 3,5$ voor het verkrijgen van de isolatiesubsidie hangt af van de materiaalkeuze en de dikte, en of een aannemer dat uitvoert.

Bijlage 5. Aero-Therm 1 mm stuc of ThermoShield verf

Beide producten claimen zeer hoge isolerende werking en vooral AeroTherm draagt daarbij verschillende documenten en certificaten aan die dat zouden moeten ondersteunen. Het materiaal bestaat uit micro glasbolletjes die licht en daarmee ook warmte reflecteren, ongeveer zoals een spiegel dat doet of licht-reflecterende stroken op veiligheidskleding.

BWH Aero-Therm¹⁵ stucpleister 1 mm. De testrapporten geven slechts een enkele testserie aan met een berekening van het aantal kWh verlies (doorgangswaarde) over een gegeven periode bij een constante binnentemperatuur van 22°C en een buitentemperatuur die niet onder de 0°C uitkomt.

Die constante binnentemperatuur van de testopstelling wordt geleverd door vloerverwarming of een elektrisch element dat continue warmtestraling afgeeft en die door de BWH gereflecteerd wordt. Echter, wanneer je deze 1 mm en zeer kwetsbare stuclaag zou verven, of pleisteren en verven, dan verliest het haar reflecterende werking. Wanneer je de spiegeling van de warmtegolven onderbreekt door het AeroTherm oppervlak te schilderen of stuken, dan verliest dat oppervlak het spiegelende effect.

De gebruiksaanwijzing geeft echter aan dat het wel geleverd kan worden, hetgeen niet juist is. Omdat het een erg kwetsbaar materiaal is, en zelden zeer gelijkmatig op de muur gesmeerd kan worden en het slechts een enkele (witte) kleur heeft, **is het niet geschikt als binnenmuur afwerking**.

Wanneer de warmteafgifte van de radiator stopt (wanneer de kamer op temperatuur is) is de feitelijke isolerende werking van AeroTherm zeer klein met $R_{d100cm} = 21 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ dus iets minder dan steenwol. Voor 1 mm stuc-dikte wordt de warmte-isolatie dan $R_c = 0,021 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (bijna niets). Het effect van de isolerende werking kan dus niet uit de dikte gehaald worden maar slechts uit het warmte reflecterende effect. Het is dus waarschijnlijk dat het op het plafond goed werkt, maar alleen als de vloerverwarming aan staat.

Een BRE-certificaat geeft een 'hotbox' test aan met een opmerkelijk temperatuurverschil tussen niet-geïsoleerd en "geïsoleerd" en het temperatuurverlies over respectievelijk een half en heel uur. Echter, van deze test worden geen parameters gegeven over het materiaal van het dragende tussenschot. Wanneer dat slechts een enkel stukje dun karton is zou het kunnen kloppen, maar dat is niet de werkelijkheid van een bouwmuur. Ook is er geen enkele test waarbij de AeroTherm geschilderd of gestukt is.

De toepassing van ThermoShield muurverf

Wat wél bewezen goed werkt is ThermoShield als verf en oppervlaktebehandeling van buitenmuren tegen zonnestraling, maar dergelijke straling is binnen in een woning niet aanwezig. Het wordt dan ook vooral in de **tropen** gebruikt om de warmtebelasting van de zon op de buitenzijde van de gevels en platte daken te beperken, zodat de airco minder hard hoeft te werken.

De vele testrapporten hebben betrekking op straling en andere aspecten, maar geven geen conclusie over het behoud van warmte in een al opgewarmde ruimte (de isolatiewaarde).

Van zowel AeroTherm als ThermoShield zijn de testrapporten en certificaten **ondoorzichtig**, terwijl er nergens een feitelijke of praktische of equivalente isolatiewaarde wordt opgegeven.

Bouwmaterialen en AeroTherm of verf hebben een **emissiefactor** van hun oppervlakte rond de 0,95. Een spiegelende HRF heeft een extra lage emissiefactor van ongeveer 0,10, waardoor dat HRF-oppervlakte veel minder warmte afgeeft of infraroodstraling reflecteert (type radiatorfolie). Dat AeroTherm die infraroodstraling zou kunnen reflecteren is dus **niet waar**.

¹⁵ Aero-Therm bestaat grotendeels uit kleine glasbolletjes die de stralingswarmte zouden weerkaatsen. Tussen de glasbolletjes zit een klein percentage Aerogel (<5%). Als de eerste laag (kwarkachtige pasta) niet glad genoeg is opgebracht, kan het na een dag uitharden goed worden bijgewerkt met een vlakke spatel. Als het droog is kunnen puntjes worden weggeschuurd. Wanneer het oppervlak wordt afgedicht met verf, stuc of behang verdwijnt de mogelijke warmte reflecterende werking.

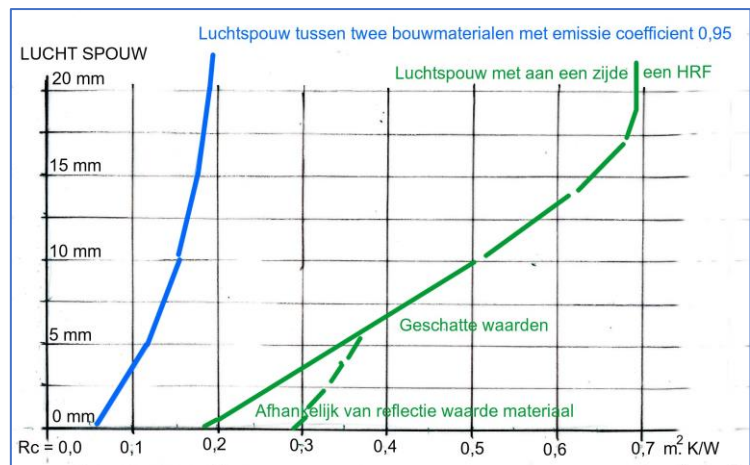
Bijlage 6. Reflecterende en isolerende multi-folies



Figuren 26. Meerlaagse isolatie folies met minerale wol hebben hoge isolatiewaarden, maar praktijktesten zijn nogal verschillend en **de uitslagen worden niet door de meeste onderzoeksinstituten onderschreven. Zie voetnoot 17**

Veel van de multifolies geven isolatiewaarden op die inclusief het effect van de Hoog Reflecterende Folies (HRF) zijn aan beide kanten bij een horizontale spouw. De toegevoegde isolatiewaarde bij 20 tot 25 mm verticale luchtspouw is $R_c \approx 0,7$ naast het HRF-oppervlakte. Bij HRF en 20 mm tot 25 mm **horizontale spouw met warmtebron boven** $R_c \approx 1,0$ dus bij vloeren en bij zonbelasting op een plat dak. Bij HRF en 20 mm tot 25 mm **horizontale spouw met warmtebron beneden** $R_c \approx 0,6$ dus onder de platte daken. Bij schuine daken zou dus niet met meer dan $R_c \approx 0,7$ gerekend mogen worden.

Figuur 27. De lage emissiecoëfficiënt van HRF geeft direct een verminderde warmte uitstraling en daardoor betere isolatie. Bij een luchtlaag van 3 mm en een HRF-oppervlakte treedt er een isolatiewaarde op van ongeveer $R_c \approx 0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (Groene lijn). Dit is ook het geval wanneer die spouw gevuld is met hele dunne luchtige minerale (polyester wol of schapenwol). De multifolies zijn op dit principe gebaseerd. Met 10 lagen HRF+3 mm lucht wordt de isolatiewaarde dan $R_c \approx 2,0$. Bij HRF aan twee zijden $R_c \approx 3,4$.



De fabrieksopgave¹⁶ van verschillende multifolies is vaak inclusief tweemaal de $R_c = 0,7$ (samen $R_c = 1,4$) toegevoegd (aan elke kant een maal). Dit is zo wanneer naast de folies gegarandeerd 20 – 25 mm luchtspouw aanwezig is. Alleen met geheel vrij hangende folies en goede afstandshouders te bereiken.

In het beoordelen van de werkelijke isolatiewaarde van de isolerende meerlaagse folies moet er naast de positie (horizontaal, schuin of verticaal), de richting van de warmtestroom en de spouwdikte aan drie belangrijke voorwaarden worden voldaan.

1. De folies mogen niet samengeperst worden, bij voorbeeld onder bevestigingslatten (panlatten, regels als afstandshouders), want dan verliezen ze op die zones de isolatiewaarde. Bij een onderlinge afstand h.o.h. van de ondersteuningslatten voor 60 cm gipsplaten zal de theoretische isolatiewaarde met $\approx 15\%$ tot 20% verlagen.

¹⁶ Dit wordt zelden zo vermeld. Slechts bij multifolies die een gecertificeerde waarde hebben kan er aangenomen worden dat die voor de niet samengedrukte folie zo is. Deze is meestal dan ook lager dan de niet gecertificeerde.

2. Aan de glanzende zijde van de HRF die aan de buitenkant van de multifolies zit moet tenminste 2 cm gegarandeerde luchtsponw zitten om een extra $R_c = 0,7$ per sponw te krijgen. Een folie die op een dak ligt verlies dus die isolatiewaarde aan de onderzijde. Ook zal een liggende folie niet dikker zijn dan de door de fabrikant opgegeven minimumwaarde.
3. De folies mogen niet dof of vies worden of afgedekt raken met stof, want dan verliezen ze aan die kant ook de extra isolatiewaarde van het HRF-oppervlak. Als de bovenkant onder de dakpannen ligt zal die zijde verstoffen en gaat het effect van de HRF verloren.

De opgegeven isolatiewaarden zijn dan ook meestal alleen van toepassing wanneer de folies vrij hangend zijn (niet ingeklemd) en niet liggend.

	Voordelen van multifolies	Nadelen van multifolies
1	Lage kosten per m^2 vergeleken bij vaste isolatiematerialen zoals PIR/Recticel/Resol etc. Komt vaak in rollen van 10 m x 1,5 m	Alleen te gebruiken bij grote oppervlaktes > 1,5 m^2 omdat kleinere stukken geen randverbindingen hebben en uit elkaar vallen.
2	Schoon te verwerken, levert geen stof op in vergelijking met bijvoorbeeld on-gecacheerd Bluedec (heel fijn plakkerig wit stof) of glaswol waarvoor beschermende kleding nodig is.	Komt in rollen van 15 m^2 waardoor er vaak grote restanten overblijven. Bij vaste isolatiematerialen en steenwol zijn de kleine stukken makkelijk bruikbaar.
3	Geen huid of oogirritatie bij verwerken, zoals bijvoorbeeld glaswol of Bluedec.	Materialen zijn niet te recyclen. Mag ook niet bij plastic afval. De losse polyesterwol kan wel voor kussens gebruikt worden.
4	Dunnere isolatiedikte met dezelfde isolatiewaarde als traditionele isolatiematerialen zoals EPS, XPS, steenwol, glaswol, PUR, PIR, etc.	De toepassing moet goed worden uitgevoerd anders is een vermindering van de isolatie van toepassing. Lange warmtelekken bij bevestigingslatten.
5	Zijn dampdicht, tenzij het speciaal is aangegeven dat het een dampopen folie betreft. Buiten dak.	Bij alle bevestigingen is veel isolatieverlies en moeten de naden afgeplakt worden met aluminiumtape.
6	Door 1,5 m breed snelle verwerking	Bij gipsplaten van 60 cm breed moet er een extra bevestigingslat komen om de folierand vast te zetten.
7	Kan met een niet machine vastgezet. De buitenste folies zijn vaak glasvezel gewapend: 18 DR+19 lagen	Er kan niet in geboord worden. De polyester wol zal zich om de boor winden en bij hitte smelten.
8	Goede isolatiewaarde wanneer goed toegepast	Isolatiewaarde afhankelijk van positie, spouwen en de richting van de warmtestroom

Een radiator die een verticale HRF-folie (Tonzon) heeft opgeplakt zal daarom aan die kant minder warmte uitstralen, maar dat werkt alleen wanneer en minimaal 2 cm lucht langs die HRF zit. De isolatiewaarde van een dergelijke constructie kan uitgedrukt worden als $R_{c\text{equivalent}} = (0,07)$.

De netto isolatiewaarden van een ingesloten meerlaagse HRF-folie en een warmtestroom van boven waarbij er aan twee *horizontale* kanten een HRF zit is daarom in de praktijk $2 \times \{R_{c\text{equivalent}} \approx (1,0)\}$ $R_c \approx (2,0)$ **minder** dan opgegeven¹⁷.

Alleen door ze op de juiste manier met een 2 cm luchtsponw aan beide zijden te bevestigen (dikte van de losse, niet samengedrukte meerlaagse HRF-folie + 40 mm) en de juiste positie, wordt mogelijk de door de fabrikant opgegeven isolatiewaarde bereikt. Ook dat is niet overal bewezen.

¹⁷ Zie verschillende onderzoeken <https://www.cobouw.nl/118681/isolatiematerialen-in-toepassing-testen> en <https://klimapedia.nl/wp-content/uploads/2017/04/Tenpierik-en-Hasselaar-2012-Refl-folies.pdf>

Samenvatting.

1. Dunne hoogwaardige isolatie vereist minder toegevoegde dikte aan de muren, en spaart dus vloeroppervlak, maar is over het algemeen duurder dan Steenwol, Glaswol of biobased isolatiematerialen, PIR, Recticel of Resol. Vooral in bestaande woning met beperkte binnen afmetingen kan het toevoegen van een dikke binnenzijdige isolatielaag nadelig zijn.
2. Gecacheerde Recticel en Resol platen zijn beschikbaar in de markt met een geïntegreerde gipsplaat. Deze kunnen gestukt worden of dunner met dikke structuurverf of behang. In de markt zijn tweedehandse gecacheerde PIR/Recticel platen aanwezig als overschot/restant. Deze isoleren net zo goed als nieuwe.
3. Voor binnenzijdige muurisolatie moet er altijd een dampdichte folie aan de warme kamerkant zitten. Gecacheerde PIR, Recticel- en Resolplaten hebben die al aan beide zijden, maar de naden moeten dampdicht worden afgeplakt. Voor dakconstructies zijn damp-open gecacheerde platen beschikbaar die aan de buitenkant kunnen worden toegepast.
4. Bluedec is een hoogwaardig aerogel isolatiemateriaal, maar ook veel duurder per m² dan Resol. Ook gecacheerde platen zijn stoffig en plakkerig en anti-stof voorzieningen moeten getroffen worden voor het werken met de platen. Het materiaal kan goed gebruikt worden om de randen bij vacuümpanelen uit te vullen. Om het stof te voorkomen kunnen de op maat gesneden stukken in dunne bouw/afdek-folie worden ingepakt voordat het in de woning wordt toegepast.
5. De goedkoopste isolatie opties zijn met HRFolies en Multifolies, **mits ze op de juiste wijze worden toegepast**. Bij de toepassing van grote rollen materiaal kan er veel knip/snijverlies optreden.
6. Voor de toepassing van dunne binnenzijdige muurisolatie is het relevant om een globale kosten/baten berekening te maken. In de berekening in niet de meerwaarde van de woning (beter energielabel bij verkoop) en het verbeterde comfort meegenomen.

#	Constructie methode	Extra isolatie	Kosten isolatie	Materiaal afwerking	Kosten Toepassing
1	Bevestigingsranden maken voor de multiplex van minimaal 20 mm x 20 mm. 2 x HRFolie met 2 cm spouw. Tweezijdig plakband voor bevestiging. Eén op de muur en één op de binnenzijde van 3,6 mm of 5 mm multiplexplaat. Bevestiging van de leuning aan muur voorbereiden.	2 x Rc 0,5 met 20 mm luchtspouw = Rc 1,0	2x HRF= € 5/m ² . Multiplex 3,6 mm € 8/m ² . Latten € 5/m ² Montage € 4-6/m ² .	DoeHetZelf schilder € 8-10/m ² incl. kwasten en schoonmaak	DoeHetZelf € 30-35/m ² voor +Rc1,0 Aannemer ≈€ 100/m ²
2	Bevestigingsranden maken voor meubelplaat van minimaal 20 mm x 20 mm. 2x Bluedec 10 mm in bouwfolie geplakt voor de montage. Bevestiging van de leuning aan muur kan door het Bluedec (niet in de Bluedec boren, het draait om de boor). Multiplex aftimmeren en schilderen.	2 x Rc 0,75 met 20 mm = Rc 1,5	20 mm Bluedec € 200/m ² . Inpakfolie. Multiplex 3,6 mm € 8/m ² . Latten € 5/m ² Montage € 4-6/m ² .	DoeHetZelf schilder € 8-10/m ² incl. kwasten en schoonmaak	DoeHetZelf € 210/m ² voor +Rc2,25 Aannemer ≈€ 300/m ²

3	Bevestiging van de leuning aan muur voorbereiden. Bevestigingsranden maken voor de multiplex van minimaal 20 mm x 20 mm. Vacuümpanelen 20-25 mm met tweezijdig plakband bevestigen. 3,6 mm of 5 mm multiplexplaat.	Rc 2,5 tot Rc 3,0	€ 100 - 300/m ² . Multiplex 3,6 mm € 8/m ² . Latten € 5/m ² Montage € 4-6/m ² .	DoeHetZelf schilder € 8-10/m ² incl. kwasten en schoonmaak	DoeHetZelf € 130-350/m ² afhankelijk van bron. Aannemer + € 100/m ²
---	---	-------------------	--	---	---

Wat levert de na-isolatie van een 3 m² buitenmuur op met toevoeging van Rc 1,0 door de toepassing van een dubbele HRF en 2cm spouw?

Om de economische/energetische rentabiliteit te bepalen voor de verschillende bouwkundige opties is het aantal gewogen graaddagen voor het trappenhuis gesteld op 2000.¹⁸

Bij een bestaande isolatiewaarde van een na-geïsoleerde spouwmuur met Rc = 1,7 is het:
 (1) Warmteverlies $1/1,7 \times 24 \times 2000/9780 = 2,9$ m³ gas per m² muur/jr. Bij het opwaarderen van Rc = 1,7 naar Rc = 2,7 is het warmteverlies nog maar $1/2,7 \times 24 \times 2000/9780 = 1,8$ m³ gas per m² muur/jr. Het levert dus $2,9 - 1,8 = 1,1$ m³ gas per m² muur per jaar op.

Bij een gasprijs¹⁹ van **3 euro/m³** bezuinigt optie (1) die muurisolatie dan $1,1 \times 3 \text{ m}^2 = \text{euro } 3,3/\text{jaar}$.²⁰

Bij een geschatte Doe Het Zelf isolatieprijs van euro **35/m²** is dan de terugverdientijd $35/3,3 = \text{zo' n } 10 \text{ jaar}$ of een rendement van $\approx 10\%$. Bij een aannemersprijs van euro **100/m²** is dan de geschatte terugverdientijd zo'n **30 jaar** (rendement $\approx 3\%$).

Wat levert de na-isolatie van een 3 m² buitenmuur op met toevoeging van Rc 2,5.

Bij een bestaande isolatiewaarde van een na-geïsoleerde spouwmuur met Rc = 1,7 is het:
 (1) Warmteverlies $1/1,7 \times 24 \times 2000/9780 = 2,9$ m³ gas per m² muur/jr. Bij het opwaarderen van Rc = 1,7 naar Rc = 3,75 is het warmteverlies nog maar $1/3,75 \times 24 \times 2000/9780 = 1,3$ m³ gas per m² muur/jr. Het levert dus $2,9 - 1,3 = 1,6$ m³ gas per m² muur per jaar op.

Bij een gasprijs van **3 euro/m³** bezuinigt optie (1) die muurisolatie dan $1,6 \times 3 \text{ m}^2 = \text{euro } 4,8/\text{jaar}$. Bij een geschatte Doe Het Zelf isolatieprijs van euro **210/m²** is dan de terugverdientijd $210/4,8 = \text{zo' n } 10 \text{ jaar}$ of een rendement van $\approx 10\%$. Bij een aannemersprijs van euro **300/m²** is dan de geschatte terugverdientijd zo'n **43 jaar** (rendement $\approx 2\%$). Bij een aannemersprijs van euro **300/m²** is dan de geschatte terugverdientijd zo'n **60 jaar** (rendement $\approx 1,5\%$).

¹⁸ Zie ook document: Voorbeeld van berekening terugverdientijden op www.nienhuys.info

¹⁹ De gasprijs is onderwerp van schommelingen afhankelijk van de gaswinning in Groningen en de wereld gasprijs, die weer afhankelijk is van oorlogen (Rusland). Het ligt in de verwachting dat de gasprijs (inclusief belastingen en netbeheerkosten) in Nederland geleidelijk omhooggaat na een piek in 2022 en een vrij lage kostprijs in 2024. Bovendien zijn aan de gasprijs de vrij hoge (euro 300/jaar) aansluitingskosten verbonden.

²⁰ De cijfers in rood zijn geschatte waarden voor de toekomst. Bij andere gasprijzen of Doe Het Zelf prijzen of aannemersprijzen zullen de terugverdientijden op de energierekening veranderen. De materiaal en aannemersprijzen zullen de energietarieven enigszins volgen.

- De kostenberekening wordt gunstiger wanneer het te behandelen oppervlak groter is of de gasprijs minder stijgt over de terugverdienperiode. Bij grotere oppervlaktes zijn de vacuümpanelen groter en dus goedkoper.
- De kostenberekening wordt ook gunstiger wanneer de toegevoegde isolatiewaarde groter is, maar in het trappenhuis zal er tegen de buitenmuur een diktebeperking zijn tot 25 mm.
- De kostenberekening wordt ongunstiger wanneer de energieprijs minder stijgt.
- De meerwaarde van het betere energielabel en de woning waarde is niet meegerekend.
- Bij binnenmuren waar de toegevoegde dikte wel 5 of 6 cm kan zijn zal de kostenberekening veel gunstiger uitvallen dan bij een maximale 20 of 25mm isolatiedikte.
- Deze kostenberekening laat zien dat wanneer de toegevoegde isolatiewaarde tussen de Rc 2 en Rc 2,5 ligt en materiaalkosten (Bluedec) minstens euro 300/m² zijn dat het nauwelijks rendabel is (wanneer alleen de TVT²¹ wordt uitgerekend) om het zelf uit te voeren (DHZ), maar nauwelijks om dat via een aannemer te laten uitvoeren.
- Bij een toevoeging van slechts Rc 2,5 kan geen subsidie worden verleend. De minimum toegevoegde waarde is Rc 3,5 en via een bedrijf aangebracht.

²¹ De TerugVerdienTijd (TVT) hangt af van de kosten van de verwarming. Dit wordt vaak berekend op basis van de kostprijs en de energetische waarde van gas-Cv verwarming. Bij een All-electric warmtepomp is het energie verbruiks rendement vaak veel beter en wordt dus de TVT langer. De besluitvorming kan dus afhangen van verschillende factoren zoals: de maximale dikte, de TVT bij gas-Cv of warmtepomp, de meerwaarde van de woning, Het energie label, de bijkomende kosten van een dikkere afwerking. Of het zelf gedaan wordt of door een externe aannemer, of er subsidie van toepassing is etc.