

2014•2015
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Typologiewoning sociale woningbouw: impact op energetisch en structureel niveau bij een BEN-renovatie

Promotor :
ing. Pascal VANNITSEN

Promotor :
ir. SANDRA PENDERS
Mevr. INE SCHILS

Timo Deckers , Wouter Vaesen

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2014•2015
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Typologiewoning sociale woningbouw: impact op
energetisch en structureel niveau bij een BEN-renovatie

Promotor :
ing. Pascal VANNITSEN

Promotor :
ir. SANDRA PENDERS
Mevr. INE SCHILS

Timo Deckers , Wouter Vaesen

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: bouwkunde*

WOORD VOORAF

Op de eerste plaats gaat onze dank uit naar **ing. Pascal Vannitsen** voor de mogelijkheid om een thesis uit te werken onder zijn begeleiding. Dit was echter ook niet mogelijk geweest zonder de hulp van **ir. Sandra Penders** en **Ine Schils**, van Dubolimburg. Beste Pascal, Sandra en Ine, bedankt voor alle manieren waarop jullie ons en onze manier van nadenken over het project hebben gestimuleerd. Hierdoor hebben we de weg gevonden in de wereld van duurzame renovaties. Zonder jullie hulp hadden wij deze thesis niet kunnen realiseren.

Graag willen we ook **prof. dr. ing. Bram Vandoren** bedanken voor de hulp en richtlijnen in het kader van het vak masterproefseminarie, om deze thesis mee in goede banen te helpen leiden. Ook dit heeft mede mee mogelijk gemaakt, dat deze thesis zijn uiteindelijke vorm heeft behaald.

Vervolgens, maar zeker niet in het minst, is het noodzakelijk om te erkennen dat wij, Timo en Wouter, elkaar hebben kunnen blijven motiveren, stimuleren en aanvullen waar nodig.

Overigens wil ik Timo, mijn vriendin Annette bedanken voor de steun, raad en ontspanning wanneer nodig.

Tot slot willen wij elk onze ouders bedanken voor de aanmoedigingen tijdens onze studies en de financiële steun. Zonder hun hadden wij ons uiteindelijke doel niet kunnen bereiken.

INHOUDSOPGAVE

Woord vooraf	i
Lijst van tabellen	v
Lijst van figuren	vii
Abstract	ix
Abstract in English	xi
1 Inleiding	xiii
1.1 Situering	xiii
1.2 Probleemstelling	xiii
1.3 Doelstellingen	14
1.4 Werkwijze.....	15
2 Energieprestatie-eisen	17
2.1 EPB-eisen voor 2015 en 2016	17
2.2 De EPB-eisen versus BEN-eisen	18
3 Renovatiemaatregelen	21
3.1 Muurisolatie	21
3.2 Zoldervloerisolatie en dakisolatie	26
3.3 Vensters en deuren	33
3.4 Vloerisolatie en kelderisolatie	35
4 Koudebruggen en bouwknopen	37
4.1 Definities.....	37
4.2 Transmissieverliezen	37
4.3 Wat zijn geen bouwknopen.....	40
4.4 Wat zijn EPB aanvaarde bouwknopen	42
5 Theoretische achtergrond warmteoverdracht	45
5.1 De warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal	45
5.2 De warmtedoorgangswaarde van een materiaal	45
5.3 De warmteovergangscoefficiënt	45
5.4 De warmtedoorgangscoefficiënt.....	46
6 Vocht in een gebouw	47
6.1 Vochtige lucht: definities, formules en grootheden.....	47
6.2 Dampdiffusie.....	48
6.3 Condensatie in een structuur	49
6.4 Oppervlaktecondensatie en schimmelvorming.....	49
6.5 Methode van Glaser: berekening van hoofdconstructiedelen	52

7	Luchtdichtheid van een gebouw	53
7.1	Luchtdichtheid	53
7.2	Realisatie van luchtdichtheid	54
8	Casestudie woningtype: 6GH.....	57
8.1	Gebouwschil analyse	58
8.2	Bouwknopen analyse	59
8.3	Glaser berekening	66
9	Toepassing renovatiemaatregelen.....	71
9.1	Deelrenovaties	72
9.2	Bouwknopen analyse: invloed renovatiemaatregelen.....	80
9.3	Glaser berekening	90
9.4	Uitvoeringsmethodes en aandachtspunten.....	93
9.5	Besluit maatregelfasering en bouwknop analyse	98
10	Conclusie.....	101
	Referenties	103
	Bijlage	107
	Bijlage A: Renovatiematrix	109
	Bijlage B: Renovatiescenario's	111
	Bijlage C: Detail bouwknopen en energetisch besluit.....	115
	Bijlage D: Verzadigingsdampdruk tabel.....	121

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: EPB-eisen voor een renovatie.....	17
Tabel 2: EPB-eisen voor een ingrijpende energetische renovatie.....	18
Tabel 3: EPB-eisen versus BEN-eisen.....	19
Tabel 4: Maatregelen minimumaandeel hernieuwbare energie.	20
Tabel 5: Grenswaarden lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ψ_e	44
Tabel 6: Warmteovergangswaarden voor binnen en buiten.....	46
Tabel 7: Beschrijving en detail woningtype 6GH.	58
Tabel 8: U-waarden woningtype per constructiedeel.....	58
Tabel 9: U-waarden huidige toestand vs. BEN.	58
Tabel 10: Randvoorwaarden structuuropbouw wand.....	67
Tabel 11: Berekening temperatuur- en dampdrukverloop januari (BT).....	67
Tabel 12: Berekening temperatuur- en dampdrukverloop juli (BT).....	69
Tabel 13: Samenvattende tabel Glaser (BT).....	70
Tabel 14: U-waarden constructiedelen renovatiefase 1.	72
Tabel 15: Samenvatting K-peil na renovatiefase 1.	72
Tabel 16: U-waarden constructiedelen renovatiefase 2.	73
Tabel 17: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 2.....	73
Tabel 18: U-waarden constructiedelen renovatiefase 3.	74
Tabel 19: Samenvatting K-peil na renovatiefase 3.	74
Tabel 20: U-waarden constructiedelen renovatiefase 4.	75
Tabel 21: Samenvatting K-peil na renovatiefase 4.	75
Tabel 22: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 1.....	76
Tabel 23: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 1.....	76
Tabel 24: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 2.....	77
Tabel 25: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 2.....	77
Tabel 26: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 3.....	78
Tabel 27: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 3.....	78
Tabel 28: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 4.....	79
Tabel 29: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 4.....	79
Tabel 30: Randvoorwaarden structuuropbouw (NT).....	90
Tabel 31: Samenvattende tabel Glaser (NT).	93
Tabel 32: Procentuele verbetering energiestaat faseringsscenario's.....	98

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Gemiddelde warmteverliezen van een niet geïsoleerde woning.....	21
Figuur 2: Stappenplan spouwmuurisolatie.	22
Figuur 3: Vergelijking oppervlaktetemperaturen muur zonder/met buitengevelisolatie.	23
Figuur 4: Vergelijking oppervlaktemperaturen muur zonder/met binnengevelisolatie.	24
Figuur 5: Schematische voorstelling van muurisolatie.....	25
Figuur 6: Kenmerken, isolatie types en aandachtspunten bij muurisolatie.	26
Figuur 7: Opbouw Sarking-dakconstructie.	27
Figuur 8: Opbouw dakisolatie via binnenzijde.....	27
Figuur 9: Verschillende soorten isolatiematerialen (minerale wol, rotswol, PIR).	28
Figuur 10: Isoleren van de zoldervloer m.b.v. minerale glaswolvlakken.	28
Figuur 11: Koud dak principe.	29
Figuur 12: Warm dak principe.	29
Figuur 13: Omgekeerd dak principe.....	30
Figuur 14: Schematische voorstelling van dakisolatie.	31
Figuur 15: Kenmerken, isolatie types en aandachtspunten bij dakisolatie.....	32
Figuur 16: PVC, aluminium en hout raamprofiel.	33
Figuur 17: Schematische voorstelling van vensters en deuren.....	34
Figuur 18: Verschillende isolatie types bij vloerisolatie.	35
Figuur 19: Verdeling 2D en 3D transmissieverliezen.	37
Figuur 20: Scheidingsconstructies van het verliesoppervlak.	38
Figuur 21: Lineaire bouwknop waar twee scheidingsconstructies samen komen.	38
Figuur 22: Lineaire bouwknop, lijnvormige onderbreking door slechter isolerend materiaal.	39
Figuur 23: Lineaire bouwknop, scheidingsconstructie grenst met aangrenzend perceel.	39
Figuur 24: Puntbouwknop, puntvormige onderbreking door beter geleidbaar materiaal.....	39
Figuur 25: Hout stijlen, eigen aan de constructie bij houtskelletbouw.	40
Figuur 26: Rookgasafvoer, doorboringen t.g.v. leidingdoorvoeren.	40
Figuur 27: Snijding van drie lineaire bouwknopen, niet meer inrekenen als puntbouwknop.	41
Figuur 28: Binnenmuur in rechtstreeks contact met de vloerplaat.	41
Figuur 29: Continue en onderbroken isolatielaag.	41
Figuur 30: Principe schema voor een EPB-aanvaarde bouwknop.	42
Figuur 31: Basis regel 1, aangrenzende diktes.	42
Figuur 32: Basis regel 2, tussenvoegend deel.....	43
Figuur 33: Basis regel 3, weg van minste weerstand.	43
Figuur 34: Warmteovergangsweerstanden per vlak voor binnen en buiten.	46
Figuur 35: Isopleet-diagramma in functie van de schimmel-index.....	50
Figuur 36: De temperatuurfactor f in functie van de binnentemperatuur en de klimaatklasse.	51
Figuur 37: Onafscheidelijke driehoek.	53
Figuur 38: Luchtlekker rond raamaansluiting.	53
Figuur 39: Principe figuur van luchtlekken bij een blowerdoortest.....	54
Figuur 40: Veel voorkomende luchtlekken in een woning.	54
Figuur 41: Enkele foto's van woningtype 6GH.	57
Figuur 42: Grondplannen woningtype 6GH.	57
Figuur 43: Doorsnede dakconstructie typewoning 6GH.	59
Figuur 44: Infraroodbeeld t.h.v. dakoversteek.	59
Figuur 45: hellend dak bestaande toestand in THERM.....	60
Figuur 46: plat dak bestaande toestand in THERM.	61
Figuur 47: Lateibalk en vensterblad bestaande toestand.	62
Figuur 48: Infraroodbeeld lateibalk, venster- en deuraansluitingen.	62
Figuur 49: Lateibalk - raamaansluiting in THERM.	63
Figuur 50: Vensterblad bestaande toestand in THERM.	64
Figuur 51: Praktijk situatie vensterblad in THERM.....	64

Figuur 52: Zijkant raamaansluiting in THERM.....	65
Figuur 53: Detail raamaansluiting in Therm.....	66
Figuur 54: Temperatuurverloop januari (BT).....	68
Figuur 55: Dampdrukverloop januari bestaande toestand (BT).....	68
Figuur 56: Temperatuurverloop juli (BT).....	69
Figuur 57: Dampdrukverloop juli (BT).....	70
Figuur 58: Invloed zoldervloerisolatie op dak-muuraansluiting.....	80
Figuur 59: Invloed sandwich dakpaneel op dak-muuraansluiting.....	81
Figuur 60: Invloed spouwmuurisolatie op lateibalk.....	82
Figuur 61: Invloed spouwmuurisolatie op vensterblad.....	82
Figuur 62: Invloed spouwmuurisolatie op vensterblad (praktijk).....	83
Figuur 63: Invloed spouwmuurisolatie op zijkant raamaansluiting.....	84
Figuur 64: Invloed spouwmuurisolatie op plat dak aansluiting.....	84
Figuur 65: Invloed spouwmuur- en zoldervloer isolatie op dak-muuraansluiting.....	85
Figuur 66: Invloed spouwmuur- en dakisolatie op dak-muuraansluiting.....	86
Figuur 67: Invloed spouwmuur- en dakisolatie op aansluiting plat dak.....	87
Figuur 68: Invloed spouwmuur- en buitengevelisolatie op lateibalk.....	88
Figuur 69: Invloed spouwmuur-en buitengevelisolatie op vensterblad.....	89
Figuur 70: Invloed spouwmuur-en gevelisolatie op aansluiting raamprofiel.....	89
Figuur 71: Berekening temperatuur en dampdrukverloop januari (NT).....	90
Figuur 72: Temperatuur verloop januari (NT).....	91
Figuur 73: Dampdrukverloop januari (NT).....	91
Figuur 74: Berekening temperatuur en dampdrukverloop juli (NT).....	92
Figuur 75: Temperatuurverloop juli (NT).....	92
Figuur 76: Dampdrukverloop juli (NT).....	93
Figuur 77: Detail funderingsisolatie.....	94
Figuur 78: Startprofiel buitengevelisolatie uit steenstrips.....	94
Figuur 79: Detaillering aansluiting steenstrips raamprofiel.....	94
Figuur 80: Buitengevelisolatie tegen buitengevel of binnenspouwblad.....	95
Figuur 81: Foto zijdelingse dakoversteek woningtype.....	95
Figuur 82: Detail dakaansluiting met kantpan behoud gevel.....	96
Figuur 83: Detail dakaansluiting met kantpan afbraak gevel.....	96
Figuur 84: Afwerking multiplex raamkader.....	97
Figuur 85: Vergelijking energieprestaties faseringsscenario's.....	98
Figuur 86: Vergelijking energieprestaties renovatiescenario's.....	99

ABSTRACT

Deze thesis onderzoekt de mogelijkheden van een gefaseerde BEN-renovatie voor een sociale woningbouw typologiewoning uit eind jaren '60. Door het ontbreken van een geïsoleerde gebouwschil is het energetisch verbruik en de impact op het milieu hoog. Het doel is de bewoners aansporen tot een energetische verbetering van hun woning, door een uiteenzetting van renovatiemogelijkheden en door het opstellen van deelrenovaties die leiden tot BEN.

Om inzicht te krijgen in de energetische toestand wordt de EPB-software gebruikt. Verder zijn de aanwezige bouwknopen geanalyseerd m.b.v. numerieke software (THERM). Daarnaast worden kenmerken, aandachtspunten en uitvoeringsmethodes van verschillende renovatiemaatregelen besproken. Samen met een theoretische uiteenzetting over warmteoverdracht en vocht in een gebouw, vormt dit de basis voor het opstellen van de renovatiescenario's. Hierbij wordt als basis gebruik gemaakt van een opgestelde renovatiematrix.

Onze resultaten tonen aan dat de energieprestatie van de woning van een K162/E356 peil naar K42/E147 peil verbeterd kan worden, door de gefaseerde integratie van isolatiemaatregelen. Verder blijkt dat enkel ingrijpende maatregelen bestaande koudebruggen volledig kunnen elimineren. Bovendien is het ook belangrijk om naast de gebouwschil, ook de technische installaties en hernieuwbare energiebronnen grondig te evalueren. Hiertoe kan toekomstig werk zich richten en zo een totaal renovatiescenario, inclusief de kost, op basis van dit document samenstellen.

Trefwoorden: Renovatiescenario, BEN, Bouwknopen, Energieprestatie.

ABSTRACT IN ENGLISH

This Master's thesis aims to outline the different possibilities for a renovation towards nearly zero-energy in multiple phases, for a specific type of buildings from the sixties. Since there is no insulated building envelope, these buildings use substantial amounts of energy and thus have an impact on the environment. The goal of this project is to inspire the inhabitants of such buildings to improve to the energy performance by summarizing the possible (sub)renovations that contribute to accomplish this.

The current energy performance was evaluated using the EPB-software. Next, the thermal bridges in the building envelope were analyzed using heat-transfer modeling software (THERM). Furthermore, the characteristics, the focus and methods of execution for different renovation possibilities are recapitulated. This document functions as a starting point for renovation of the specific building type as it assembles the theoretical aspects of both heat transfer and moist problems.

Improvement from an energy performance level K162 and E356 towards a K42 and E147 is possible by the integration of insulation in these type of buildings. Furthermore, solely drastic measures can completely eliminate the existing thermal bridges. However, when renovating the building with specific attention on the energy performance, one should also consider technical installations and renewable energy source. Further research should be carried out to evaluate the costs that are associated with the renovation possibilities.

Keywords: Renovations, Nearly zero-energy, Energy performance, Thermal bridges.

1 INLEIDING

1.1 SITUERING

Deze masterproef is in samenwerking met de vzw Dubolimburg, dat een onderzoek voert naar het collectief renoveren van een groep woningen tot Bijna Energie Neutraal (BEN). Het project vertrekt vanuit de vaststelling dat het woningbestand in Vlaanderen vooral op energetisch vlak grondig gerenoveerd moet worden. Een impact zal hierbij enkel gerealiseerd worden wanneer particuliere woningen op grote schaal doorgedreven gerenoveerd worden. Deze stelling wordt bevestigd door het monitoringrapport van het Actieplan voor het energierenovatieprogramma 2020 van het Vlaamse Woningbestand. [1]

Het project richt zich vooral op standaardtypologiewoningen uit de jaren '60, meer specifiek de woningen uit de wijk Limbouw in Houthalen-Helchteren. De 192 woningen die zich in deze wijk bevinden, omvatten in totaal 33 verschillende woningtypes. De verschillende woningtypes vertonen onderling slechts minimale verschillen. Het zijn voornamelijk gezingswoningen voor 3 à 4 personen van geringe bouwtechnische kwaliteit met weinig kapitaalcrachtige eigenaars.

Voor dit project zijn de woningen uit de wijk Limbouw gegroepeerd in twee woningtypes, namelijk type 6 GH en type 7 LH. Het woningtype 6 GH is een halfopen bebouwing bestaande uit twee bouwlagen, het woningtype 7 LH daarentegen is een vrijstaande bungalow. Deze masterproef situeert zich in het kader van dit project en zal de renovatie mogelijkheden voor het type 6 GH bestuderen en omschrijven.

1.2 PROBLEEMSTELLING

Dat het Vlaamse woningbestand verouderd en aan renovatie toe is, wordt bevestigd door het eindrapport van PHL Arck, ERP2020 Vernieuwing. [2] Volgens het eindrapport zijn er in Vlaanderen een 2.500.000 tal woningen waarvan er ca. 1.500.000 voor 1970 zijn gebouwd. Van deze woningen hebben ca. 600.000 nog geen dubbele beglazing, ca. 800.000 geen dakisolatie en ca. 950.000 geen muurisolatie. Gelijkwaardige bevindingen werden aangetoond door de REG-Enquête, het energiebewust en- gedrag van de Vlaamse huishoudens 2011. [3] Hieruit blijkt dat 24% van de woningen niet over dakisolatie beschikt, 59% van de woningen geen muurisolatie heeft, 72% geen vloerisolatie, 89% geen kelderisolatie en 8% van de woningen nog met enkel glas is uitgerust. Beide rapporten geven aan dat er voor een groot deel van het Vlaamse woningbestand nood is aan betere isolatie. Dit is bijzonder belangrijk, gezien het energieverbruik dat nodig is voor de verwarming van een woning erg afhankelijk is van de isolerende eigenschappen van die woning. Een gebrek aan isolatie zal dus onvermijdelijk bijdragen aan warmteverliezen die gepaard gaan met een verhoogd energieverbruik.

Dankzij de inspanningen en premies vanuit de overheid voor het renoveren van een woning zijn deze percentages de afgelopen jaren ongetwijfeld gedaald. Toch valt uit deze cijfers af te leiden dat er nog veel inspanningen nodig zijn om het Vlaamse woningbestand naar een energiezuinig niveau te brengen, zodat de 2020-doelstelling ook effectief behaald wordt. Deze doelstelling stelt dat de energie-efficiëntie met 20% moet stijgen, dat de broeikasgassen met 20% moeten dalen en dat 20% van de energie uit duurzame energiebronnen moet komen.

Bovendien zijn deze verouderde woningen niet alleen vaak onvoldoende geïsoleerd, maar hebben ze ook een verouderde verwarmingsinstallatie. Hierdoor vormen deze woningen niet alleen een probleem voor het milieu, maar zijn er ook negatieve effecten mee verbonden voor de bewoners. Zo zullen de energiekosten die gepaard gaan met zo'n woning hoger zijn en kunnen de bewoners schadelijke gevolgen ondervinden voor hun gezondheid, door de mogelijke slechte luchtkwaliteit en vocht- of schimmelproblemen.

De woonwijk Limbouw, waar deze studie op gebaseerd is, is hiervan een voorbeeld. Algemeen genomen zijn de woningen in deze wijk weinig of niet geïsoleerd en hebben ze verouderde verwarmingsinstallaties. Daarnaast zijn deze woningen voornamelijk in het bezit van weinig kapitaalcrachtige eigenaars. Zij hebben in dat geval vaak noch de intentie, noch de financiële mogelijkheden om voor een grondige renovatie van de woning te kiezen. Analoog met de woonwijk Limbouw in dit project, zijn er nog verschillende vergelijkbare woonwijken in Vlaanderen die omwille van bovenstaande redenen helemaal niet of op een niet correcte manier gerenoveerd worden.

De oorzaak van slecht renoveren ligt niet enkel aan deze woningtypes en zijn bewoners, maar vooral aan de beperkte kennis en complexiteit van een grondig renovatieproject. Het zijn de bewoners die kiezen om hun huis te renoveren en hierbij een aannemer, architect of energiedeskundige aanstellen. In veel gevallen zijn het de bewoners zelf die de rol van projectleider op zich nemen zonder enige kennis van de beste en/of duurzaamste oplossingen. Vaak wordt er dan ook nog gekozen voor een gefragmenteerde of enkelvoudige oplossing zoals het plaatsen van warmtepompen en het vervangen van de vensters. Deze werken worden door verschillende aannemers uitgevoerd waardoor er meestal geen rekening wordt gehouden met andermans werk of een juiste opeenvolging van de werken. Hierdoor laat de kwaliteit van een renovatie vaak te wensen over. Het feitelijke probleem is dat er te weinig bedrijven zijn die met totaaloplossingen en juiste informatie komen voor een grondige renovatie. [4]

Een groot deel van het Vlaamse woningbestand voldoet dus niet langer aan de huidige normen en criteria als het over milieu, energie en gezondheid gaat. Dit probleem is voor een deel te wijten aan het niet beschikbaar zijn van gegevens en de nodige kennis voor een grondige renovatie van een oude woning. Het is pas sinds kort dat er data over K-peil, E-peil, compactheid, warmteweerstanden, enz. beschikbaar zijn over een aantal woningtypes. Door studies zoals kostenoptimale energieprestaties van gebouwen van het Kenniscentrum Energie [5] en het ERACOBUILD project van One Stop Shop. [6], die al voor een stuk hebben voorzien in de beschikbaarheid van deze data, is het nu mogelijk om de noodzakelijke inzichten te verwerven in de renovatie van verouderde woningen.

1.3 DOELSTELLINGEN

Het doel van dit project is de realisatie van BEN-renovaties van cluster woningen, door het opstellen van technisch-economische onderbouwde prototypes en performante BEN-renovatiescenario's voor één van de woningtypes.

Een eerste onderdeel van dit doel is het opstellen van deelrenovaties die gelden voor een hele cluster van type-woningen. Hierin wordt onderzocht welke renovaties er praktisch mogelijk zijn. Concreet houdt dit in dat de aanwezige en optredende bouwknoten en de mogelijke schadelijke gevolgen die hiermee geassocieerd zijn met diepgang bestudeerd worden.

Deelrenovaties zullen bijvoorbeeld focussen op de isolatie van het dak, de gevel, de vloer en de ramen. Hiernaast kan er ook aandacht besteedt worden aan de ventilatie, bijvoorbeeld door het installeren van een ventilatiesysteem of verbetering van de luchtdichtheid van de woning. Andere mogelijkheden om tot een beter energiegebruik te komen, is het gebruik van hernieuwbare energie. Omdat een renovatie niet altijd in zijn geheel toepasbaar is, kunnen de deelrenovaties ook worden toegepast op een afgebakend deel van de woning. Het doel van deze thesis is de deelrenovaties omzetten naar een duidelijk en hanteerbaar overzicht dat niet alleen de technische omschrijving en mogelijke optredende risico's bevat maar ook een indicatie van onder meer de energieprestatie geeft.

Een tweede uitdaging is het ontwikkelen van technisch-economische prototypes van BEN-renovaties. De verkregen resultaten uit de deelrenovaties bieden de mogelijkheid om performante prototypes te ontwikkelen voor een complete BEN-renovatie. Daarna wordt het technisch-economische aspect onderzocht om na te gaan of het prototype voldoet aan de energieprestatie-eisen voor BEN-woningen en om de economische haalbaarheid van het prototype na te gaan.

1.4 WERKWIJZE

Deze thesis wenst een volledig overzicht te geven van de mogelijke renovatiemaatregelen die gehanteerd kunnen worden om de energieprestaties van het type woning te verbeteren. Als eerste wordt er bestudeerd wat het concept BEN betekent en wat de huidige en toekomstige eisen voor de energieprestaties van woningen zijn. Op deze manier tracht de thesis de te nemen maatregelen binnen dit kader in te passen.

Vervolgens zijn al de verschillende isolatiemaatregelen voor zowel het dak, de muur, de vloer en de vensters tot in detail behandeld. Hierbij bespreken we de voor- en nadelen, de aandachtspunten, de soorten isolatie en hun uitvoeringsmethodes. Voor elk van deze isolatiemaatregelen is een samenvattend schema opgesteld, dat een snelle en eenvoudige leidraad hiertoe kan bieden.

Ter ondersteuning van deze isolatiemaatregelen wordt er ook een theoretische uiteenzetting van de koudebruggen en bouwknopen in een gebouw beschreven. Voor het woningtype wordt dit aangetoond a.d.h.v. berekeningen in THERM. Verder worden begrippen omtrent warmteoverdracht verklaard, zodat een duidelijk beeld gevormd kan worden over de warmteweerstand van de bestaande en gerenoveerde toestand. Daarnaast is ook een hoofdstuk gewijd aan vocht in een gebouw. Hierin wordt verklaard wat vocht in een gebouw betekent, op welke plaats en welk moment vocht voorkomt en wat de mogelijke gevolgen t.g.v. vocht in een gebouw zijn. Voor de belangrijkste constructiedelen wordt de plaats van optreden en de hoeveelheid vocht aangetoond met een Glaserberekening. Ook is het belang van de luchtdichtheid van een gebouw besproken en met welke grootheden dit rechtstreeks in verband staat. Door deze theoretische uiteenzettingen en praktische berekeningen zal duidelijk worden hoe men met dergelijke bouwknopen en isolatiemaatregelen moet omgaan bij de renovatie van een gebouw.

Om vooropgestelde doelstellingen te realiseren werd van het gekozen woningtype een inventarisatie en studie gemaakt. Dit houdt in, dat de bestaande ontwerpplannen zijn verzameld en bestudeerd en dat de hieruit verkregen informatie, vergeleken is met de opgedane vaststellingen van een woningbezoek. Hiernaast vond er nog een afzonderlijke thermografiemeting plaats, om mogelijke koudebruggen aan het licht te brengen. Op basis van deze gegevens werd een goed inzicht verkregen in de bestaande toestand en kon een realistische schilopbouw en energieprestatiepeil van de woning worden opgesteld.

Voor de beoordeling van de energieprestaties wordt er gebruik gemaakt van de Energieprestatieregelgeving (EPB) en de THERM software. Dit om enerzijds de huidige toestand te vergelijken met een aantal mogelijke renovatie-scenario's en om anderzijds de optredende bouwknopen en hun invloed op de energieprestatie te verduidelijken. In THERM wordt aan de hand van de oppervlaktetemperaturen een f-factor opgesteld, hiermee is er per bouwknop bestudeerd welke invloeden de renovatiemaatregelen hebben op het condensatiegedrag.

Bovendien wordt een renovatiematrix opgericht met de mogelijke renovatiemaatregelen, samen met de bovenstaande bevindingen is de renovatiefasering opgesteld en geanalyseerd. Om tot meer ingrijpende renovaties te komen worden er complete renovatiescenario's opgesteld met BEN als doelstelling. Voor enkele van deze renovatiemaatregelen wordt er dieper ingegaan op de technische uitvoering. Tot slot wordt er een vergelijking op basis van de energieprestatie gemaakt tussen de verschillende renovatiefases en renovatiescenario's.

2 ENERGIEPRESTATIE-EISEN

2.1 EPB-EISEN VOOR 2015 EN 2016

Bij het bouwen of verbouwen van een woning geldt in Vlaanderen de energieprestatieregelgeving, kortweg EPB of EnergiePrestatie en Binnenklimaat. Deze regelgeving is een maatstaf voor de energetische voorwaarden van een woning omtrent het beperken van het energieverbruik en het respecteren van de ventilatie-eisen.

De verschillende eisen zijn verdeeld in drie toe te passen criteria die verschillen naargelang het gaat om een nieuwbouw woning, een renovatie of een ingrijpende energetische renovatie. Het eerste aandachtspunt is de thermische isolatie van de woning, waaronder het K-peil en de U-waarden vallen. Het tweede criterium richt zich op het binnenklimaat, hieronder vallen de eisen omtrent ventilatie en oververhitting van een woning. Onder het derde en laatste criterium, de energieprestatie-eisen, vallen het E-peil, de netto-energiebehoefte, de hernieuwbare energie en de technische installaties van de woning.

Hier geven we een overzicht van de criteria bij een (ingrijpende energetische) renovatie. Onder een renovatie verstaat men een verbouwing of uitbreiding van een woning met een beschermd volume kleiner dan 800 m² en zonder wooneenheid¹. De EPB-eisen voor een renovatie zijn weergegeven in tabel 1. [7]

Tabel 1: EPB-eisen voor een renovatie. [7]

Renovatie				
Thermische isolatie	K-peil	Niet van toepassing		
	U-waarden	Scheidingsconstructie	Max U-waarde (W/m ² K)	
			2015	2016
		Daken en plafonds	0,24	0,24
		Buitenmuren	0,24	0,24
		Vloeren	0,30	0,24
		Vensters	1,80	1,50
		Beglazing	1,10	1,10
		Deuren en poorten	2,00	2,00
Binnenklimaateisen	Ventilatie	Toevoer- en afvoervoorzieningen plaatsen in nieuwe ruimten en in verbouwde ruimte waar vensters vervangen en/of toegevoegd worden.		
	Oververhitting	Niet van toepassing		
Energieprestatie-eisen	E-peil	Niet van toepassing		
	Netto-energiebehoefte	Niet van toepassing		
	Hernieuwbare energie	Niet van toepassing		
	Installaties	Nieuwe, vernieuwde of toegevoegde installaties moeten voldoen aan minimale rendementen en vermogens.		

Een ingrijpende energetische renovatie is een renovatie waarbij de dragende structuur grotendeels behouden blijft en waarbij 75% van de bestaande gevels of daken wordt nageïsoleerd. Hierbij worden de technische installaties voor het creëren van het binnenklimaat volledig vervangen door installaties die voldoen aan de minimale rendementen en vermogens. [8] De EPB-eisen voor een ingrijpende energetische renovatie zijn weergegeven in tabel 2.

¹ Een wooneenheid is een deel van een gebouw dat afzonderlijk te gebruiken is en beschikt over een woonruimte, sanitaire voorzieningen en een keuken. [36]

Tabel 2: EPB-eisen voor een ingrijpende energetische renovatie. [7]

Ingrijpende energetische renovatie				
Thermische isolatie	K-peil	Niet van toepassing		
	U-waarden	Scheidingsconstructie	Max U-waarde (W/m ² K)	
			2015	2016
		Daken en plafonds	0,24	0,24
		Buitenmuren	0,24	0,24
		Vloeren	0,30	0,24
		Vensters	1,80	1,50
		Beglazing	1,10	1,10
		Deuren en poorten	2,00	2,00
Binnenklimaateisen	Ventilatie	Een volledig ventilatiesysteem A, B, C of D plaatsen.		
	Oververhitting	Niet van toepassing		
Energieprestatie-eisen	E-peil	Maximaal E90 voor elke wooneenheid		
	Netto-energiebehoefte	Niet van toepassing		
	Hernieuwbare energie	Niet van toepassing		
	Installaties	Niet van toepassing		

2.2 DE EPB-EISEN VERSUS BEN-EISEN

2.2.1 Wat is BEN?

Een bijna-energie neutraal of BEN gebouw is een gebouw dat beschikt over een zeer hoge energieprestatie waarbij de nodige energie voor verwarming, ventilatie, koeling en de productie van warm water dermate laag is en overwegend wordt opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen. Dit betekent dat het gebouw moet voldoen aan de energieprestatieregelgeving en het handig gebruik moet maken van technieken zoals warmtepompen, zonneboilers en PV-systemen of bijvoorbeeld aangesloten is op het stadsverwarmingsnet.

Uit energieprestatie-eisen in tabel 3 is af te leiden dat er voor een renovatie naar bijna-energie neutraal een aantal extra voorwaarden van toepassing zijn. Zo is er een beperking op het K-peil (K40), moet er rekening gehouden worden met de kans op oververhitting (6500 Kh), wordt het E-peil verlaagd van E90 naar E30, is de netto-energiebehoefte beperkt tot 70 kWh/m² en is er een minimumaandeel van 10 kWh/m² per jaar hernieuwbare energie verplicht.

Tabel 3: EPB-eisen versus BEN-eisen. [7]

	Ingrijpende energetische renovatie		BEN-woning
K-peil	Niet van toepassing		Lager of gelijk aan K40
U-waarden	Scheidingsconstructie	Max U-waarde (W/m ² K)	Gelijk aan de EPB-eis van 2016
		2015 2016	
	Daken en plafonds	0,24 0,24	
	Buitenmuren	0,24 0,24	
	Vloeren	0,30 0,24	
	Vensters	1,80 1,50	
	Beglazing	1,10 1,10	
	Deuren en poorten	2,00 2,00	
Ventilatie	Een volledig ventilatiesysteem A, B, C of D plaatsen.		Een volledig ventilatiesysteem A, B, C of D plaatsen.
Oververhitting	Niet van toepassing		Beperken tot 6500 Kh
E-peil	Maximaal E90 voor elke wooneenheid		Lager of gelijk aan E30
Netto-energiebehoefte	Niet van toepassing		Voor verwarming kleiner of gelijk aan 70 kWh/m ² per jaar
Hernieuwbare energie	Niet van toepassing		Minimumaandeel verplicht
Installaties	Niet van toepassing		Niet van toepassing

2.2.2 Oververhitting

De kans op oververhitting is de kans dat de temperatuur van de woning onwenselijk te hoog oploopt en zo een ongunstig binnenklimaat creëert. Het is dus vanzelfsprekend dat het risico op oververhitting beperkt dient te worden, dit is mogelijk door rekening te houden met de volgende aandachtspunten:

- Zorg voor voldoende thermische capaciteit door gebruik te maken van metselwerk of beton.
- Let op de oriëntatie van de vensters en de zonnetoetredingsfactor van de beglazing.
- Plaats eens zonnewering aan de zuidelijke vensters.

De oververhittingsindicator heeft een maximum toegelaten waarde van 6500 Kh. [7]

2.2.3 Netto-energiebehoefte

De netto-energiebehoefte is de benodigde energie voor de verwarming van de BEN-woning of EPW-eenheid². Deze bedraagt maximum 70 kWh/m² per jaar of (100-25*c) kWh/m² per jaar, hierin is c de compactheid³ van de EPW-eenheid. [9]

2.2.4 Minimumaandeel hernieuwbare energie

Het minimumaandeel aan hernieuwbare energie bij een BEN-woning moet minstens voldoen aan 10 kWh hernieuwbare energie per m² bruikbare vloeroppervlakte. Dit is mogelijk door één of een combinatie van één of meerdere van de maatregelen volgens artikel 9.1.12/2. [9]

- Een thermisch zonne-energiesysteem waarbij de volgende voorwaarden voor de collectoren gelden: een oriëntatie gericht naar het zuiden tussen het oosten en het westen, een helling die ligt tussen 0 en 70° en een apertuuroppervlakte van minimum 0,02 m² per m² bruikbare vloeroppervlakte van de wooneenheid.
- Een fotovoltaïsch zonne-energie systeem met de volgende voorwaarden voor de panelen: een oriëntatie gericht naar het zuiden tussen het oosten en het westen, een helling die ligt

² "Elke eenheid van aangrenzende lokalen die in hetzelfde gebouw liggen, die het voorwerp zijn van werken van dezelfde aard, die ontworpen of aangepast zijn om afzonderlijk te worden gebruikt, die een residentiele bestemming hebben en slechts één wooneenheid bevatten." [9] (Art. 1.1.1, §2 No. 40/2)

³ De compactheid is de verhouding tussen het beschermd volume en het totale verliesoppervlak. [7]

tussen 0 en 70° en een minimale productie van 7 kWh/jaar per m² bruikbare vloeroppervlakte van de wooneenheid

- Een biomassaketel als hoofdverwarming met de volgende voorwaarden: een minimum opwekkingsrendement van 85%, minstens 85% van de bruto-energiebehoefte van de woning dekt en voldoet aan de emissieniveaus omtrent CO en fijn stof.
- Een warmtepomp als hoofdverwarming met de volgende voorwaarden: minstens 85% van het bruto-energiebehoefte van de woning dekt en een seizoensprestatiefactor (SPF) groter dan 4 berekend zoals in EPB.
- Stadsverwarming of –koeling waarbij minstens 45% uit hernieuwbare energiebronnen is opgewekt.
- Een participatie in een nieuw project voor productie van hernieuwbare energie met volgende voorwaarden: het project bevindt zich in de provincie, de participatie is minstens €20/m² bruikbare vloeroppervlakte en het project produceert minstens 7 kWh/jaar per m² bruikbare vloeroppervlakte.

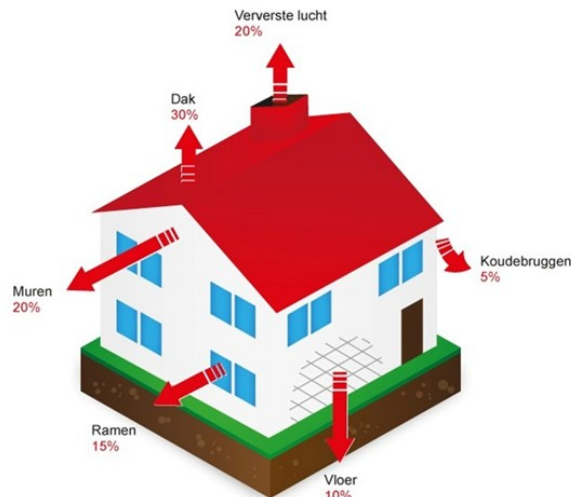
De verschillende randvoorwaarden om te voldoen aan het minimumaandeel aan hernieuwbare energie zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 4: Maatregelen minimumaandeel hernieuwbare energie. [7]

Maatregelen minimumaandeel hernieuwbare energie	
Thermisch zonne-energiesysteem (zonneboiler)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oriëntatie: O-Z-W ▪ Helling: 0° - 70° ▪ 0,02 m².aperatuur/m² bruto vloeroppervlakte
Fotovoltaïsch zonne-energie systeem (PV-systeem)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oriëntatie: O-Z-W ▪ Helling: 0° - 70° ▪ Minstens 7 kWh/jaar.m² bruto vloeroppervlakte
Biomassaketel/kachel of een kwalitatieve WKK	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minstens 85% van de bruto-energiebehoefte ▪ Opwekkingsrendement: min 85% ▪ Emissieniveaus voor CO en fijn stof
Warmtepomp	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minstens 85% van de bruto-energiebehoefte ▪ Seizoensprestatiefactor (SPF) > 4 (EPB)
Stadsverwarming of-koeling	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minstens 45% uit hernieuwbare energiebronnen
Participatie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minstens €20/m² bruto vloeroppervlakte ▪ Nieuw project binnen de provincie ▪ Minstens 7 kWh/jaar.m² bruto vloeroppervlakte

3 RENOVATIEMAATREGELEN

Zoals eerder vermeld is het energieverbruik van het Vlaamse woningbestand hoog en vertoont het woningbestand een groot potentieel aan isolatiemaatregelen om het energieverbruik te doen dalen. Onderstaande figuur geeft een indicatie van de mogelijk optredende warmteverliezen bij een niet geïsoleerde woning. Hieruit blijkt dat het belangrijk is om dak, muur en vloer van isolatie te voorzien en om vensters te voorzien van hoogrendementsbeglazing. Ook verzekeren van een goede luchtdichtheid rond ramen en deuren is een belangrijke factor.



Figuur 1: Gemiddelde warmteverliezen van een niet geïsoleerde woning. [10]

3.1 MUURISOLATIE

Omdat muren zonder isolatie instaan voor ongeveer 20 tot 30% van het warmteverlies, is het na-isoleren van de muren een belangrijke maatregel om het energieverbruik te doen dalen. Het na-isoleren van de muren kan op drie verschillende manieren. Een eerste mogelijkheid is het isoleren van de muur via de buitenzijde, een tweede mogelijkheid is het opvullen van de spouw met isolatie, de derde manier is het isoleren via de binnenzijde van de woning.

3.1.1 Spouwmuurisolatie

In België en specifiek in Vlaanderen is het zeer interessant om spouwmuurisolatie toe te passen. Dit is omdat het merendeel van woningen die gebouwd zijn na de Tweede Wereldoorlog voorzien zijn van een ongeïsoleerde spouw. Daarbij biedt het toepassen van spouwmuurisolatie ten opzichte van de andere maatregelen, het voordeel dat de binnen- en buitengevels intact blijven en dat de uitvoering zeer snel en goedkoop kan gebeuren. Een nadeel of beperking bij na-isolatie van een spouwmuur is dat de te behalen thermische warmteweerstand beperkt wordt door de spouwbreedte.

Volgens het Tetra-project 70127 'injected insulation of existing cavity walls: analysis of quality and suitability of materials and installation methods' gevoerd door de Universiteit van Gent (Ugent) en het Belgian Building Research Institute (BBRI), [11] blijkt dat het na-isoleren van de spouw leidt tot een verbetering van de thermische weerstand van de muur. Ook zal de binnen oppervlaktetemperatuur ter hoogte van koudebruggen licht stijgen, waardoor de koudebrug niet nadeliger is en de kans op condensatie dus afneemt. Bovendien verbetert de luchtdichtheid van de woning met 5 tot 20%.

Bij het plaatsen van spouwmuurisolatie zijn er een aantal aandachtspunten. Zo dient men te controleren of de spouwbreedte voldoende is en dat er zich geen mortelbaarden of koudebruggen in de spouw bevinden. Deze zouden voor vocht of schimmelproblemen kunnen zorgen, door het veroorzaken van een te lage oppervlaktetemperatuur. Ten tweede moet het voeg en metselwerk in

goede staat zijn en vermijdt men na-isolatie van de spouw best bij muren die beschilderd zijn of die zwaar onderworpen zijn aan slagregen, hierdoor blijft de muur niet onnodig vochtig. Het is dus belangrijk dat er vooraf een goed beeld van de huidige toestand wordt geschetst door bijvoorbeeld een endoscopisch onderzoek. [7]

Voor het na-isoleren van de spouw kan men gebruik maken van drie verschillende groepen isolatiematerialen. De eerste groep zijn de vezelmaterialen, hieronder vallen de minerale wollen zoals steenwol en glaswol. Van dit type isolatie bestaan er speciaal ontwikkelde soorten voor spouwvulling, deze zijn waterafstotend, dampdoorlatend en onbrandbaar. Daarbij is het een milieuvriendelijk product omdat het grotendeels uit gerecycleerd glas bestaat. De tweede groep zijn de parel- of korrelmaterialen zoals geëxpandeerd polystyreen (EPS). Deze groep materialen komt tegenwoordig zeer vaak voor, ze bieden een goede thermische weerstand, zijn dampdoorlatend, milieuvriendelijk en omdat ze worden ingespoten met een lijm, zijn we zeker dat ze niet inzakken. De derde groep zijn de isolatieschuimen of foams zoals polyurethaan (PUR). PUR-schuim heeft de beste isolerende eigenschappen van de drie soorten isolatie. Verder vult het al de gaten en kieren moeiteloos op. Het wordt dus vaak gebruikt bij moeilijk te bereiken plaatsen of bij vervuilde spouwen. Een aandachtspunt is dat al de voegen en kieren rond ramen goed moeten afsluiten. Indien niet zou de isolatie langs hier naar buiten kunnen komen. Ook dient de nodige aandacht geschonken te worden bij plaatsing, omdat de vrijkomende gassen toxisch en schadelijk voor de mens zijn. [12]

Onderstaande afbeelding (figuur 2) toont het stappenplan voor het plaatsen van spouwmuurisolatie. De eerste stap bestaat erin de spouw te controleren op eventuele onzuiverheden, via een endoscopisch onderzoek. Vervolgens wordt een boorpatroon uitgezet in de voegen en wordt de isolatie langs deze gaatjes ingespoten. Als de isolatie is ingespoten worden de gaatjes terug afgedicht met een mortel.



Figuur 2: Stappenplan spouwmuurisolatie. [13]

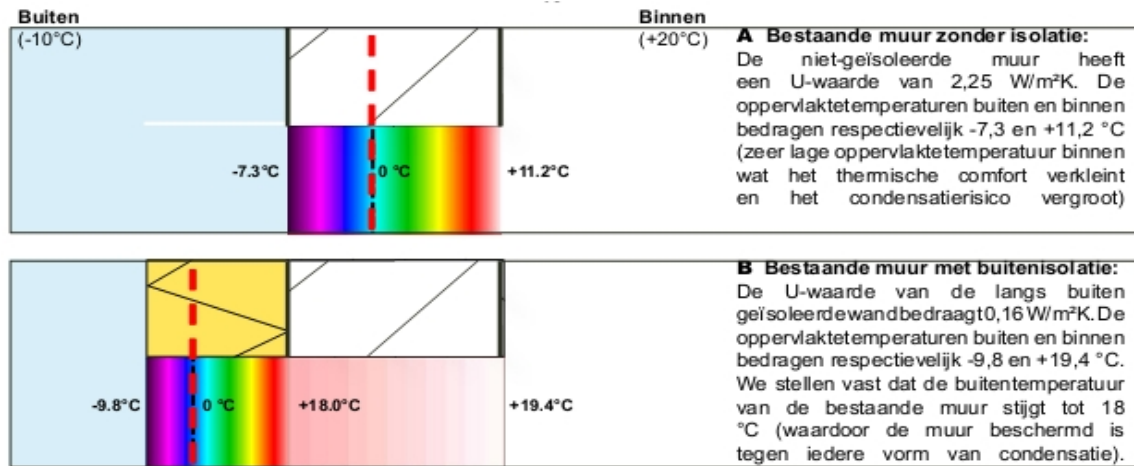
3.1.2 Buitenmuurisolatie

Een tweede mogelijkheid voor het na-isoleren van een muur is het plaatsen van buitengevelisolatie. Het na-isoleren van een massieve muur kan rechtstreeks via de buitenzijde. Indien het de na-isolatie van een spouwmuur betreft, dient men de spouw eerst met isolatie op te vullen. Doet men dit niet, dan zal er lucht circuleren in de spouw die de werking van de buitenisolatie teniet doet.

Het na-isoleren via de buitenzijde is fysisch gezien de beste manier. Door het aanbrengen van isolatie aan de buitenzijde, afgewerkt met een waterondoorlatende pleister of nieuwe gevel, creëert men een warme en droge muur aan de binnenzijde van de woning. Dit heeft als voordeel dat de kans op bouwknopen of koudebruggen aanzienlijk vermindert, dat de thermische inertie van het metselwerk verhoogt (wat zorgt voor een beter comfort) en dat de kans op condensvorming daalt.

Deze beweringen worden aangetoond door onderstaande afbeelding (figuur 3), waarop de oppervlaktetemperaturen bij een ongeïsoleerde en geïsoleerde muur worden weergegeven. Wat opvalt, is de hogere temperatuur van de binnenoppervlakte bij de geïsoleerde muur ten opzichte van

de ongeïsoleerde muur. Door deze hoge temperatuur zal de kans op condensatie sterk verlagen, omdat de temperatuur hoog boven het dauwpunt ligt. Verder zien we dat er een verschuiving is van het nulpunt, waardoor het metselwerk niet meer onderhevig is aan vorst. Door het plaatsen van buitengevelisolatie heeft men dus een warme muur gecreëerd waardoor bouwknopen en condensatie vermeden worden. Daarbij heeft men het gunstige effect van de thermische inertie van het metselwerk.



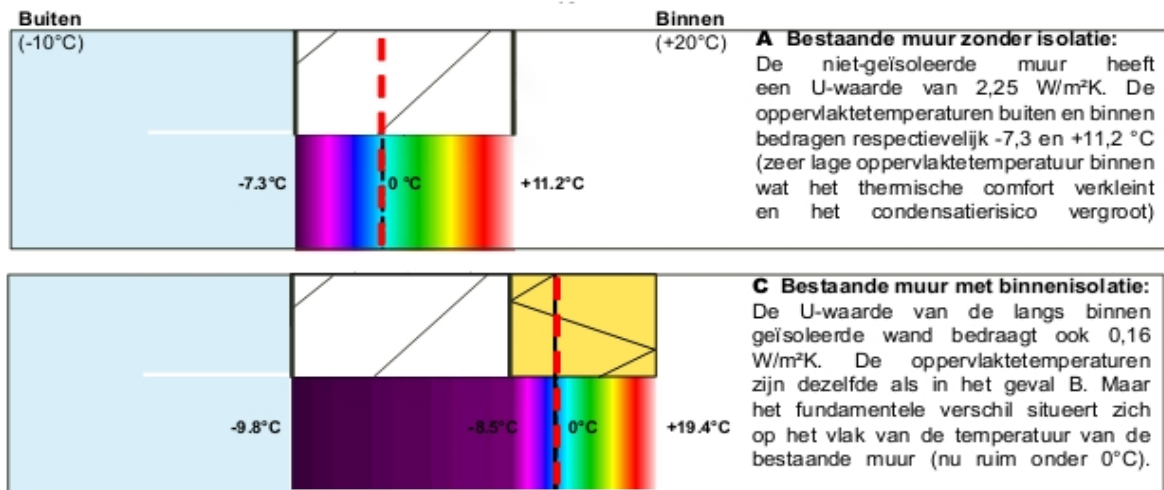
Figuur 3: Vergelijking oppervlaktetemperaturen muur zonder/met buitengevelisolatie. [14]

3.1.3 Binnenmuurisolatie

De laatste mogelijkheid betreft het na-isoleren langs de binnenzijde, dit is de meest ingewikkelde manier en wordt enkel aangeraden als één van voorgaande maatregelen niet mogelijk is. Het wordt meestal toegepast wanneer buitengevelisolatie niet mogelijk is, het gaat dan bijvoorbeeld om een massieve muur die grenst aan de perceelgrens of een beschermde buitengevel.

Binnenmuurisolatie heeft zowel een nadeel op thermisch vlak als een nadeel voor de bewoners. Op thermisch vlak is er het verlies van thermische inertie, door het ontstaan van een koude en vochtige muur. Hierdoor is er ook een grotere kans op koudebruggen of vochtproblemen. Voor de bewoners zelf, kan er redelijk wat overlast zijn bij de plaatsing van de binnenisolatie, doordat er nogal wat aanpassingswerken nodig zijn. Daarbij is er het plaatsverlies langs de binnenzijde van de woning.

Onderstaande figuur (figuur 4) toont een vergelijking van de oppervlaktetemperaturen bij een bestaande muur met en zonder binnenisolatie. Hierop is te zien dat de oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde wel stijgt in geval van binnenisolatie maar hieruit blijkt ook dat het nulpunt mee naar binnen verschuift. Dit zorgt ervoor dat het vlak van de oorspronkelijke binnenmuur een lagere oppervlaktetemperatuur heeft en dat de temperatuur in dit voorbeeld zelfs onder het vriespunt ligt. Daarmee wordt bewezen dat er nu een koude muur is, die gevoeliger is voor de weersomstandigheden.

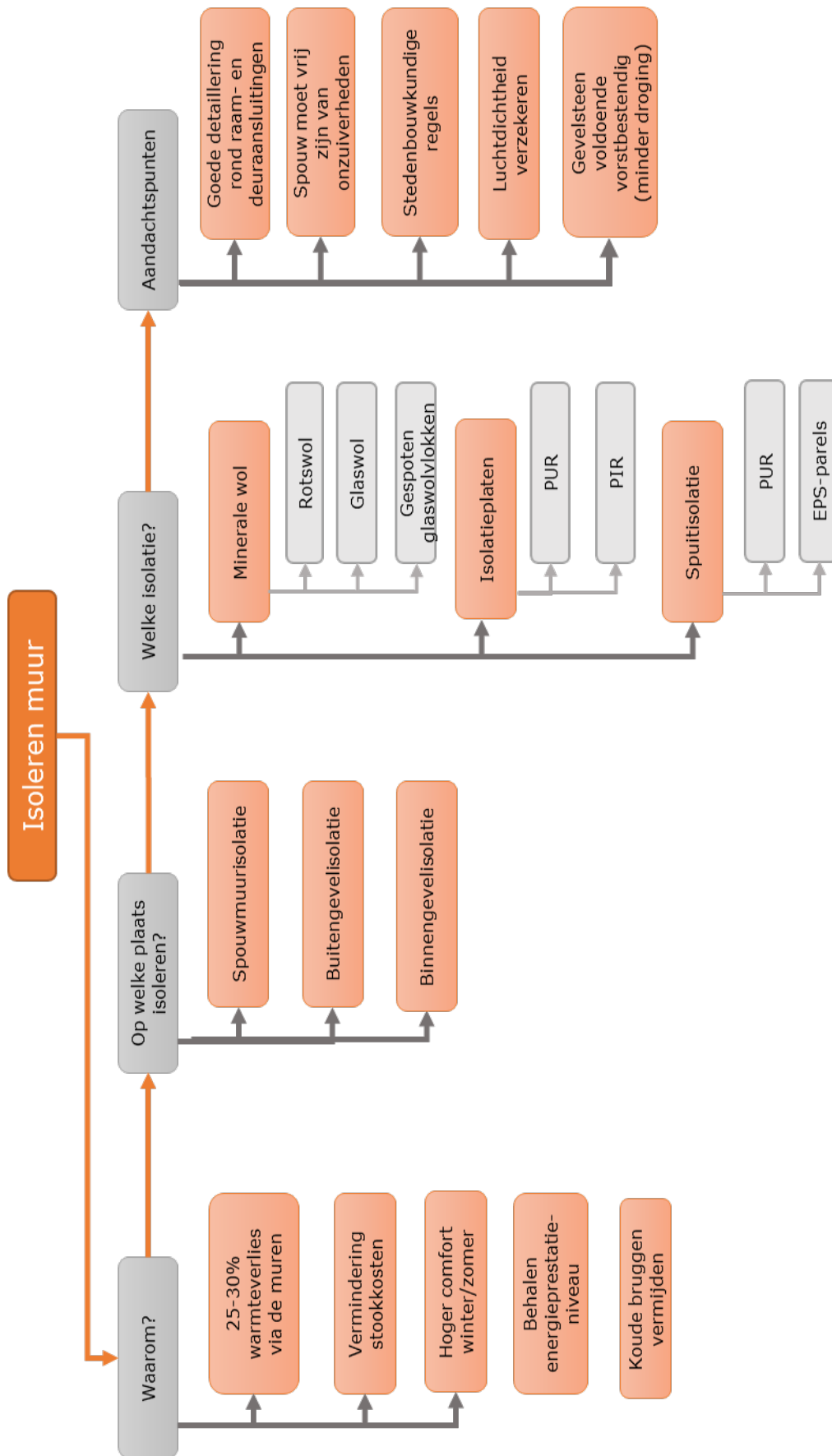


Figuur 4: Vergelijking oppervlaktetemperaturen muur zonder/met binnengevelisolatie. [14]

Men voelt dus dat dit niet de meest aangewezen manier is om na te isoleren, toch is het zeker niet slecht. Wil men een goede uitvoering realiseren dan dienen wel de nodige maatregelen en aandachtspunten gerespecteerd te worden. Bijvoorbeeld het verzekeren van een niet-doorbroken dampscherm aan de warme zijde van de woning of een controle van het bestaande metselwerk. De controle naar de staat van het metselwerk is nodig, omdat de muur in geval van binnenisolatie veel vochtiger wordt en er in de winter meer vorstschade kan optreden.

3.1.4 Schematische voorstelling van muurisolatie

Het getoonde schema (figuur 5) geeft een samenvatting van voorgaande besproken punten. Het toont de redenen waarom het aan te raden is om de muur na te isoleren. Daarnaast worden de verschillende positionering opties van de isolatie, de isolatietypes en de aandachtspunten voor muurisolatie getoond. In het uitgebreid schema (figuur 6) wordt er dieper op ingegaan en worden op basis van de positie van de isolatie t.o.v. de muur de verschillende kenmerken, isolatietypes en aandachtspunten weergegeven.



Figuur 5: Schematische voorstelling van muurisolatie.

Isoleren muur

Waar na-isoleren?	Buitengevelisolatie	Spouwmuurisolatie	Binnengevelisolatie
Kenmerken	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Behoud/verbetering zomercomfort</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Verandering uitzicht woning</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Koudebruggen weg te werken</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Toepasbaar bij muren met vorst- of vochtproblemen</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Hinder beperkt</div>	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Uitzicht woning ongewijzigd</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Spouwbreedte min 3-4 cm</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Korte uitvoeringstermijn (1 à 2 dagen)</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Relatief goedkoop</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Hinder beperkt</div>	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Koude bruggen quasi onvermijdelijk</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Via voorzetwand</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Verlies aan binnenruimte</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Daling zomercomfort (inertie metselwerk)</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Mogelijke vocht/schimmelproblemen</div>
Isolatie	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Isolatieplaten: PUR en PIR</div>	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Minerale wol: glas- en rotswol (gespoten variant)</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">EPS-parels</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Schuimisolatie: PIR</div>	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Minerale wol: glas- en rotswol</div>
Aandachtspunten	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Goede detaillering</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Stedenbouwkundige regels</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Spouw moet vrij zijn (geen ophopingen)</div>	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Beperking in U-waarde (breedte spouw)</div> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Gevelsteen voldoende vorstbestendig (minder droging)</div>	<div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 5px; padding: 2px;">Goede luchtdichtheid zeer belangrijk</div>

Figuur 6: Kenmerken, isolatie types en aandachtspunten bij muurisolatie.

3.2 ZOLDERVLOERISOLATIE EN DAKISOLATIE

Doordat warme lucht stijgt, zal de lucht geneigd zijn om zijn warmte af te geven via het dak. Via het dak van de woning treedt dus een aanzienlijk warmteverlies op. Het is dus van belang om voldoende isolatie te voorzien in de zoldervloer of in het hellend dak om het warmteverlies te beperken.

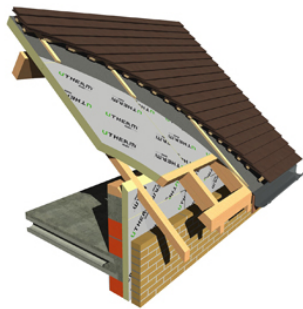
De keuze tussen zoldervloerisolatie of dakisolatie hangt af van de beschikbare ruimte, de aanwezigheid van een onderdak en gebruik van de zolderruimte. Indien de ruimte niet toegankelijk is of enkel als stockage plaats dient, isoleert men best de zoldervloer. Op deze manier is het verwarmde volume in gebouwschil het kleinst. Indien de zolderruimte toegankelijk is opteert men best voor dakisolatie. De keuze van isolatiesoort hangt af van het al dan niet aanwezig zijn van een onderdak en de beschikbare ruimte.

In beide gevallen is het belangrijk om voldoende aandacht te schenken aan de plaatsing van een ondoorlatend dampscherm aan de binnenzijde (warme zijde) en aan de aansluiting met de muurisolatie.

3.2.1 Hellend dak

Een hellend dak kan zowel via de buitenzijde als via de binnenzijde worden nageïsoleerd. De keuze hangt vooral af van de staat van het (onder)dak, de beschikbare ruimte (toegankelijke zolder) en het budget. Indien het dak in slechte of minder goede staat is, is het interessant om het dak via de buitenzijde te isoleren. Het onderdak en meestal ook de pannen, leien, of andere afwerkingsmaterialen moeten toch vernieuwd worden. Het voordeel van na-isoleren langs de buitenzijde is dat koudebruggen minder snel optreden omdat de isolatielaag niet wordt onderbroken. Verder is er binnenhuis geen plaatsverlies en kunnen de werken snel worden uitgevoerd. Bij rijwoningen kan de grotere sectie van het dak een nadeel zijn, omdat dit de aansluiting met de andere daken bemoeilijkt. In geval het dak nog in goede staat is en de zolder gemakkelijk toegankelijk is, dan opteert men best voor het isoleren via de binnenzijde. Dit heeft als voordeel dat het goedkoper en zelf uit te voeren is. Een nadeel is de grotere kans op koudebruggen, doordat de isolatie ter hoogte van de spanten onderbroken is.

Voor het isoleren via de buitenzijde wordt de bestaande dakbedekking eerst ontmanteld, zodat de bestaande structuur van spanten en kepers vrij komt. Hierop worden rechtstreeks stijve isolatieplaten bevestigd, die meestal bestaan uit polyurethaan. Op de platen wordt een folie bevestigd die het dak winddicht maakt. Tot slot wordt een nieuw onderdak geplaatst uit dak- en tengellatten en wordt het dak afgewerkt met een nieuwe bekleding. Deze opbouw wordt ook wel een Sarkingdak genoemd. Ook kan men gebruik maken van sandwich dakelementen.



Figuur 7: Opbouw Sarking-dakconstructie. [15]

Bij isoleren langs de binnenzijde is geen aanpassing nodig aan de structuur omdat het isolatiemateriaal tussen de bestaande draagstructuur wordt geplaatst. Indien de warmteweerstand niet voldoet als de volledige structuur is opgevuld, moet er een bijkomende isolatielaag voorzien worden. Deze wordt best geschrinkt geplaatst, zodat er minder kans is op openingen en spleten. Hierna wordt over de volledige oppervlakte een dampscherm geplaatst dat is afgedicht aan de naden met luchtdichte tape.

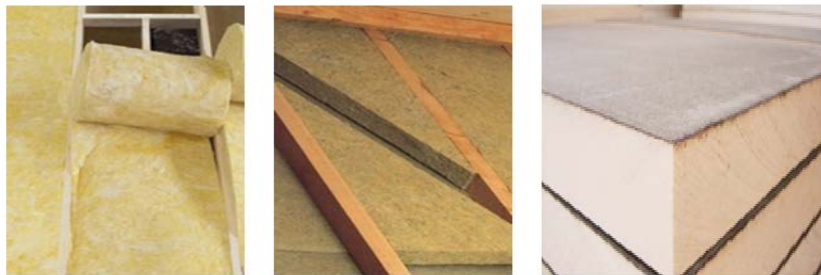


Figuur 8: Opbouw dakisolatie via binnenzijde. [16]

3.2.2 Zoldervloer

Als de zolderruimte niet als leefruimte in gebruik is, geniet het isoleren van de zoldervloer de voorkeur. Dit omdat bij het isoleren van de zoldervloer het beschermd volume zal verkleinen en de zolderruimte niet onnodig wordt mee verwarmd. Daarbij is de gebruikte hoeveelheid isolatiemateriaal t.o.v. een hellend dak minder, aangezien de te isoleren oppervlakte kleiner is (horizontale lengte kleiner dan schuine zijde).

Als de zoldervloer gemakkelijk te bereiken is, dan is het isoleren van de zoldervloer meestal eenvoudig. De manier waarop en welke isolatie gebruikt wordt hangt af van het gebruik van de zolder en de aanwezigheid van een zoldervloer. In geval de zolder gebruikt wordt als stockage plaats en er een zoldervloer aanwezig is, dan kunnen er druk vaste isolatieplaten (PUR of PIR) rechtstreeks op de bestaande vloer geplaatst worden. Ook kan men de bestaande vloer afbreken, de holle ruimtes tussen kepers en spanten opvullen met minerale wol of isolatieplaten en de vloer terug plaatsen. Indien de zolder niet gebruikt wordt en er geen vloer aanwezig is, worden rollen minerale wol uitgerold of worden isolatieplaten tussen de bestaande spanten geplaatst. Als de benodigde warmteweerstand na het opvullen van de spanten nog niet bereikt is, wordt een extra laag in loodrechte richting op de andere laag gelegd. Dit heeft als bijkomend voordeel dat spleten en gaten in de isolatielaag vermeden worden en de kans op koudebruggen daalt.



Figuur 9: Verschillende soorten isolatiematerialen (minerale wol, rotswol, PIR). [17]

Het kan zijn dat de zolder niet of moeilijk toegankelijk is, wegens kleine dakhellingen. In dit geval is het interessant om de zoldervloer op te vullen met minerale glaswol vlokken. De vlokken zijn voorzien van een laag siliconen, zodat ze geen vocht kunnen opnemen en worden met behulp van een slang en een spuitmachine door een gespecialiseerd aannemer op de zolder ingespoten. Het voordeel is dat door het inspuiten ook moeilijk te bereiken plaatsen geïsoleerd kunnen worden. [17]



Figuur 10: Isoleren van de zoldervloer m.b.v. minerale glaswolvlakken. [18]

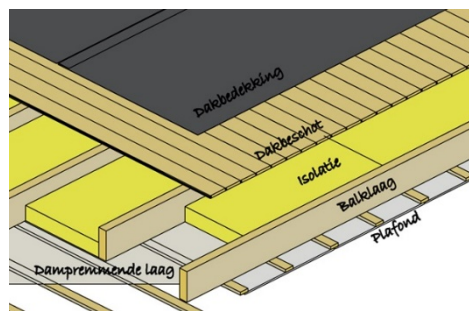
3.2.3 Plat dak

Ook het plat dak kan via de binnen- of buitenzijde worden nageïsoleerd. De keuze ervan is afhankelijk van de dakopbouw, de beschikbare binnenruimte en afwerking. De plaats waar de isolatie zich bevindt ten opzichte van de dakconstructie en de dakbedekking bepaalt of het gaat over een koud dak, een warm dak of een omgekeerd dak. [17]

Als de isolatie langs de binnenzijde van de dakconstructie wordt geplaatst, spreekt men van het koud dak-principe. Dit is te verklaren doordat de bovenliggende dakconstructie niet mee wordt opgewarmd

omdat de isolatielaag de binnenruimte van de dakconstructie afscheidt. Dit heeft een nadelig gevolg voor het thermisch comfort in de woning. Een goed voorbeeld hiervan is het vervallen van het goede thermische inertia vermogen bij een betonnen dak.

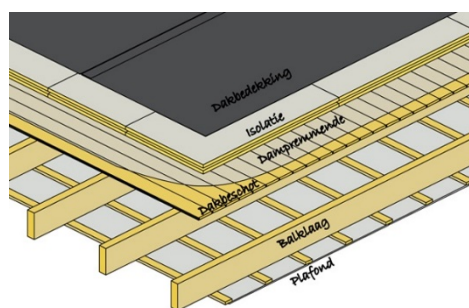
Verder wordt dit principe sterk afgeraden, daar de kans bestaat op vochtproblemen en inwendige condensatie. Dit kan voorkomen indien het dampscherm slecht geplaatst is of onderbroken wordt door bijvoorbeeld inbouwverlichting. Een goede aansluiting van het dampscherm aan de onderzijde van de constructie is dus noodzakelijk. Dit kan bekomen worden door gebruik te maken van glas- of rotswol isolatierollen die reeds voorzien zijn van een dampwerende laag. Verder kunnen aan de bovenzijde van het dak grote temperatuurschommelingen ontstaan, aangezien het enkel beschermd wordt door een waterkerende laag. Er is dus een aanzienlijke kans op vervormingen en scheurvorming van het dakbeschoot. [17]



Figuur 11: Koud dak principe. [17]

Bij het warm dak wordt de isolatie langs de buitenzijde op de bestaande dakconstructie geplaatst maar onder de waterkerende laag. Op deze manier wordt de isolatie beschermd van al de weersinvloeden en wordt de constructie mee opgewarmd. Hierdoor is de dakconstructie minder onderhevig aan de temperatuurschommelingen en doet het dak dienst als warmtebuffer. De extra thermische massa is gunstig voor het binnen comfort in zowel de zomer als de winter.

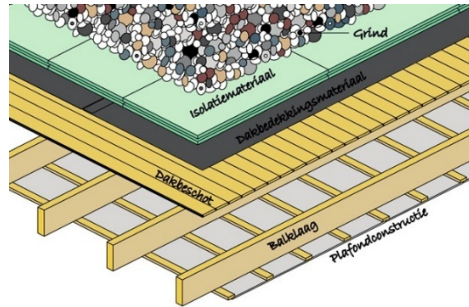
Belangrijk is dat onder de isolatielaag een dampscherm of dampremmende laag wordt geplaatst en dat er voldoende aandacht wordt besteed aan het aansluiten van de dakbedekking. Zodat mogelijke vocht of condensatie niet tot in de isolatie kan doordringen. Ook moet het isolatiemateriaal voldoende drukvast zijn, zodat het dak nog te betreden is. Dit betekent dat de XPS- en PIR-platen de meest gebruikte isolatietypes zijn. [19]



Figuur 12: Warm dak principe. [17]

Bij een omgekeerd dak wordt het isolatiemateriaal ook op de dakconstructie geplaatst maar nu boven de waterkerende laag. Doordat de dakbedekking beschermd wordt door de isolatielaag en de ballastlaag, is het een daktype dat frequent wordt toegepast bij daken die vaak belopen worden, zoals dakterrassen en balkons. Ook bij een renovatie wordt het vaak toegepast, zeker wanneer de dakbedekking nog in goede staat is en men deze niet wenst te vervangen. Wel dient men er rekening mee te houden dat de gebruikte isolatie vochtwerend en drukvast is. Dit is noodzakelijk omdat de dakbedekking onder de isolatielaag ligt en er bovenop de isolatielaag een ballastlaag ligt om de

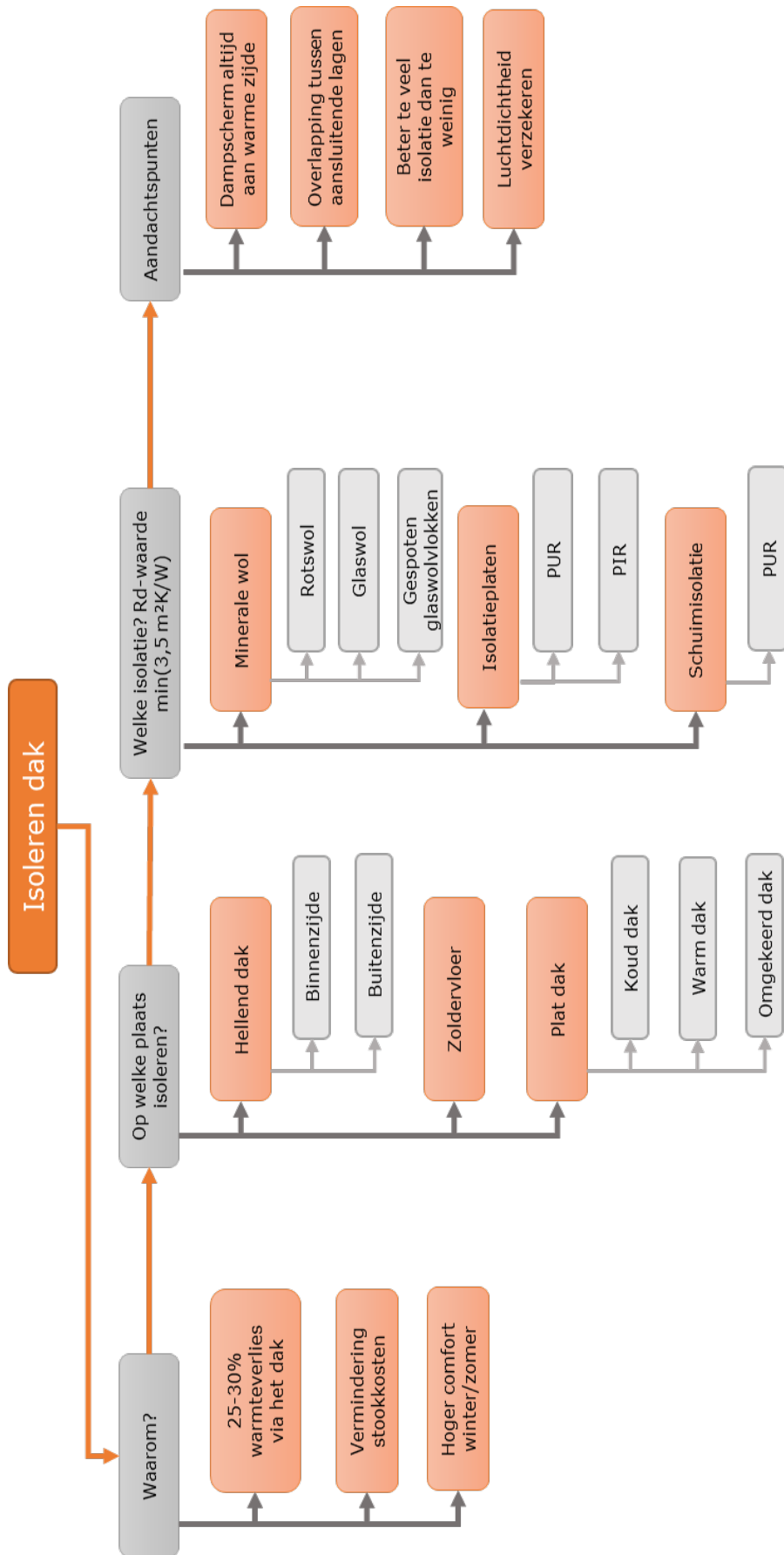
isolatie op zijn plaats te houden. De ballastlaag bestaat meestal uit grind of tegels en heeft het nadeel dat het de constructie verzwaart. Om een omgekeerd dak te kunnen plaatsen moet het bestaande dak dus zeker voldoende sterk zijn.



Figuur 13: Omgekeerd dak principe. [17]

3.2.4 Schematische voorstelling van dakisolatie

Het getoonde schema (figuur 14) geeft een samenvatting van voorgaande besproken punten. Het toont de redenen waarom het aan te raden is om het dak te isoleren. Daarnaast worden de verschillende positionering opties van de isolatie, de isolatietypes en de aandachtspunten voor dakisolatie getoond. In het uitgebreid schema (figuur 15) wordt er dieper op ingegaan en worden op basis van de positie van de isolatie en het daktype de verschillende kenmerken, isolatietypes en aandachtspunten weergegeven.



Figuur 14: Schematische voorstelling van dakisolatie.

Isoleren dak							
Waar na-isoleren?	Hellend dak		Zoldervloer		Plat dak		
	Binnenzijde	Buitenzijde	Bovenop	Koud dak	Warm dak	Omgekeerd dak	
Kenmerken	<p>Meestal toegepast bij spantendak of gordingendak</p> <p>Binnenafwerking moet mogelijk verwijderd worden en opnieuw geplaatst worden</p> <p>Grotere kans op koudebruggen door onderbreking isolatie</p> <p>Geschrinkt plaatsen van isolatie</p>	<p>Bestaand dak in slechte staat</p> <p>Doorlopende isolatie laag → minder kans op koude bruggen</p> <p>Binnenafwerking kan blijven en geen plaatsverlies</p> <p>Sandwich dakpanelen</p>	<p>Verkleining bescherm volume</p> <p>Minder isolatie nodig → goedkoper</p> <p>Soort isolatie afhankelijk van aanwezigheid zoldervloer</p>	<p>Geen thermische inertie → lager binnen comfort</p> <p>Vochtproblemen en inwendige condensatie mogelijk</p> <p>Vervorming en scheurvorming dakbeschot mogelijk door temperatuurschommelingen</p>	<p>Thermische inertie → hoger binnen comfort</p> <p>Kans op vocht en condensatie kleiner</p> <p>Kans op vervorming en scheurvorming dakbeschot klein</p>	<p>Thermische inertie → hoger binnen comfort</p> <p>Kans op vocht en condensatie zeer kleiner</p> <p>Zwaardere onderbouw</p> <p>Geen extra dampscherm</p>	
	Isolatie	<p>Minerale wol: glas- en rotswol (bij sandwich dakpanelen)</p> <p>Isolatieplaten: PUR en PIR</p> <p>Schuimisolatie: PIR</p>	<p>Minerale wol: glas- en rotswol + (gespoten variant)</p> <p>Isolatieplaten: PUR en PIR</p> <p>Schuimisolatie: PIR</p>		<p>Minerale wol: glas- en rotswol</p>	<p>Isolatieplaten: PUR en PIR</p> <p>Schuimisolatie: PIR</p>	<p>Isolatieplaten: PUR en PIR</p> <p>Schuimisolatie: PIR</p>
Aandachtspunten	<p>Dampscherm plaatsen aan de warme zijde anders kans op condensatie</p> <p>Dampscherm mag niet onderbroken worden</p> <p>Zorgen voor een goede luchtdichtheid</p>	<p>Zorgen voor een goede luchtdichtheid bij aansluiting dakvoet en zijmuur</p> <p>Opletten met recuperatie van oude dakpannen → vorstschade & moeilijk esthetisch terug te plaatsen</p>	<p>Dampscherm plaatsen aan de warme zijde anders kans op condensatie</p> <p>Dampscherm mag niet onderbroken worden</p> <p>Dakbedekking mag geen gebreken vertonen</p>	<p>Dampscherm plaatsen aan de warme zijde anders kans op condensatie</p> <p>Dampscherm mag niet onderbroken worden</p> <p>Dakbedekking mag geen gebreken vertonen</p>	<p>Dampscherm aan warme zijde condensatie gevaar</p> <p>Isolatiemateriaal ongevoelig voor krimp en uitzetting</p> <p>Isolatiemateriaal drukvast</p> <p>Dakbedekking van hoge kwaliteit, (weersinvloeden)</p>	<p>Dakbedekking mag niet geperforeerd worden</p> <p>Isolatiemateriaal vochtwerend en drukvast</p> <p>Voldoende belasting aanbrengen, opletten met stabiliteit van de constructie</p>	

Figuur 15: Kenmerken, isolatie types en aandachtspunten bij dakisolatie.

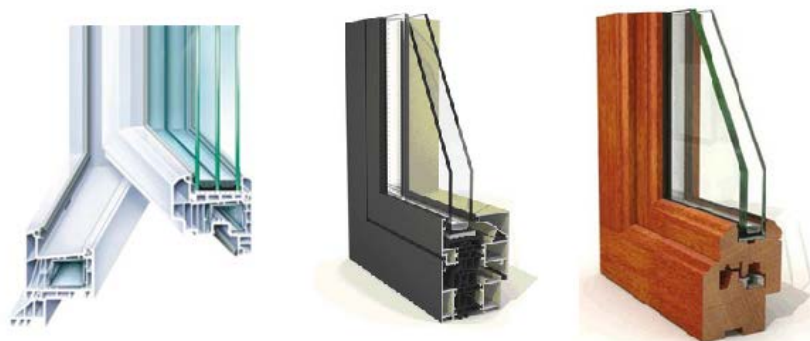
3.3 VENSTERS EN DEUREN

Het vervangen van ramen en deuren bij een woning heeft als voordeel dat de isolatiewaarde van de woning fors verhoogt. Zo isoleert hoogrendementsglas tot vijf keer beter dan enkel glas en tot twee à drie keer beter dan gewoon dubbelglas. Daarbij zorgen nieuwe raamprofielen, voorzien van hoogrendementsbeglazing, niet enkel voor een vermindering van de energiefactuur maar ook voor een hoger behaaglijkheidsgevoel in de zomer en de winter. De goede isolerende waarde van het glas zorgt ervoor dat in de winter de warmte binnen in huis wordt vastgehouden en dat koudestraling van buitenaf niet tot binnen kan doordringen. In de zomer is het omgekeerde waar; de invallende zonnestrallen worden terug naar buiten gekaatst, waardoor de binnentemperatuur niet te hoog oploopt. Verder zijn nieuwe raamprofielen beter beveiligd tegen inbraak en heeft de beglazing een betere akoestische isolatie.

Bij het plaatsen van nieuwe vensters heeft men de keuze uit dubbele of driedubbele beglazing. De keuze hangt af van de isolerende eigenschappen van de muur, het behoud van bestaande profielen en het te investeren budget. In geval van een renovatie van een oudere woning kiest men best voor hoogrendementsglas met dubbele beglazing, zeker als de muren van de woning niet of slecht geïsoleerd zijn. De reden hiervoor is dat de oppervlaktetemperatuur van het glas te hoog zou zijn in verhouding met de oppervlaktetemperatuur van de muur. Vocht uit de lucht zou condenseren tegen de muur i.p.v. tegen het glas. Hierdoor kunnen vochtplekken en zelfs schimmelvorming ontstaan.

De keuze van de raamprofielen is in eerste plaats afhankelijk van de staat waarin zich de bestaande profielen bevinden. Soms zijn de profielen nog in goede staat en wil men het uitzicht van de woning behouden (bijvoorbeeld bij houtenraamprofielen), een andere keer zijn ze slecht en aan vervanging toe. Een tweede aspect is de aanzienlijke meerkost van nieuwe profielen. Toch is het aan te raden nieuwe profielen te plaatsen, omwille van de sterk verbeterde isolerende eigenschappen.

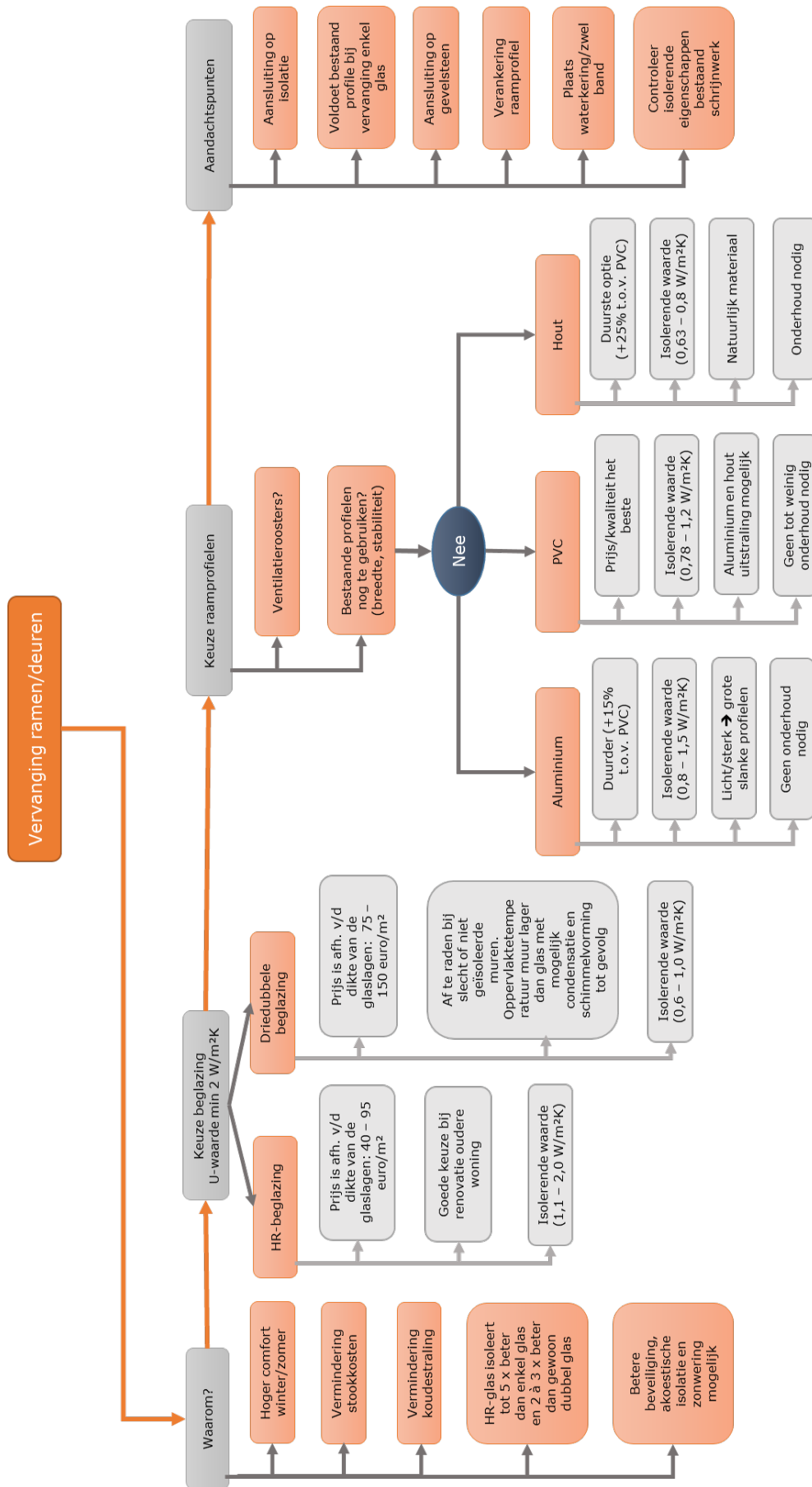
Indien men opteert voor nieuw schrijnwerk, dan heeft men de keuze uit drie soorten profielen. De drie verschillende soorten bestaan uit PVC, aluminium of hout. Het verschil tussen deze zit voornamelijk in de kostprijs, de isolerende eigenschappen, de sterkte, het uitzicht en het onderhoud. PVC-profielen zijn het goedkoopst en hebben na hout de beste isolerende eigenschappen. Aluminium profielen zijn ongeveer 15% duurder als PVC maar hebben het voordeel dat de profielen licht en sterk zijn, waardoor grotere glasoppervlakken dan bij PVC en hout mogelijk zijn. Hout is dan weer ongeveer 25% duurder als PVC en vraagt meer onderhoud, wel is het isolerend het beste materiaal en is het een natuurlijk product. [20]



Figuur 16: PVC, aluminium en hout raamprofiel. [21]

3.3.1 Schematische voorstelling van vensters en deuren

Het getoonde schema (figuur 17) geeft een samenvatting van voorgaande besproken punten. Het toont de redenen waarom het interessant is om ramen en deuren te vervangen. Daarnaast worden de verschillende glastypes en raamprofielen vergeleken met elkaar. Verder toont het de aandachtspunten die in acht genomen moeten worden bij de plaatsing.



Figuur 17: Schematische voorstelling van vensters en deuren.

3.4 VLOERISOLATIE EN KELDERISOLATIE

Ook via de onderzijde van een woning treedt een warmteverlies op. Om dit te beperken kan men overgaan tot het na-isoleren van de vloer, wat kan via de boven- of onderzijde van de vloer. De keuze is afhankelijk van het aanwezig zijn van een kelder of toegankelijke kruipruimte.

Bij afwezigheid van kelder of kruipruimte is na-isoleren van de bestaande vloer via de bovenzijde de aangewezen manier. Meestal zal hiervoor de bestaande vloer moeten worden uitgebroken, omdat anders de vrije hoogte te klein wordt en er structurele aanpassingen nodig zijn aan deurprofielen, trappen, ect. Daarbij is het uitbreken vaak een hele karwei. Zo moet er voorzichtig omgegaan worden met de nutsleidingen en andere onderbrekingen en dient er rekening te worden gehouden met instabiliteitsverschijnselen. Hiernaast is er de kans om bestaande nutsvoorzieningen mee te renoveren. Zo kunnen oude elektrische bedradingen op een veiligere manier geplaatst worden en kunnen waterleidingen in geïsoleerde behuizing gelegd worden. Verder is er de mogelijkheid om vloerverwarming te plaatsen, wat energetisch interessant is en een verhoging in comfort kan betekenen.

Indien een woning over een kelder of kruipruimte beschikt is het beter om de bestaande vloer via een van deze ruimtes te isoleren. Dit kan door isolatie aan te brengen tegen de onderkant van de vloer of door het isoleren van de keldervloer en keldermuur. Het voordeel is dat de bestaande vloer niet moet worden uitgebroken en dat er positieve stijging is, van het effect van thermische inertie van de vloer. Eenmaal de vloer opgewarmd, zal deze zijn warmte langer vasthouden en dus niet meer zo koud aanvoelen.

Bij het isoleren langs de bovenzijde zijn harde isolatieplaten het meest gebruikt, in geval de vloer niet wordt uitgebroken. Indien de vloer wordt uitgebroken, wordt meestal geopteerd voor gespoten PUR, dit heeft als voordeel dat leidingen eenvoudig weggewerkt kunnen worden. Bij het isoleren langs de onderzijde wordt meestal PUR gespoten tegen het vloer oppervlak of wordt de kruipruimte opgevuld met glaswolvlakken of isolatieparels.



Figuur 18: Verschillende isolatie types bij vloerisolatie. [12]

4 KOUDEBRUGGEN EN BOUWKNOPEN

4.1 DEFINITIES

Een koudebrug is een discontinuïteit in een structuur waarbij er warmteoverdracht plaatsvindt tussen de binnen- en buitenschil van die structuur. Vaak gaat dit gepaard met ongewenste warmteverliezen en plaatsen waar condensatie- en/of schimmelproblemen zich voordoen. Het optredend warmteverlies is te wijten aan een rechtstreeks contact tussen binnen en buitenschil, door een niet-isolerend materiaal of door een slechte uitvoering of ontbreken van thermische isolatie in de structuur. Daarbij komt een koudebrug meer tot uiting indien het materiaal dat de koudebrug creëert zeer goed geleidend is.

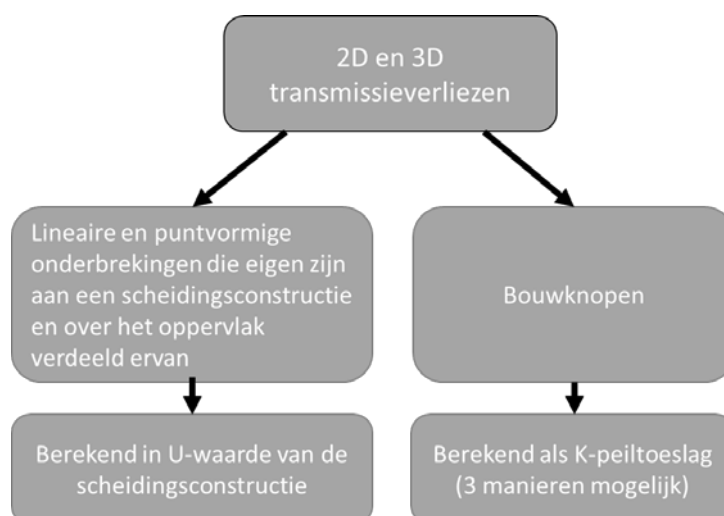
Typische plaatsen waar koudebruggen optreden zijn openingen in de isolatie van de aansluitingen van aangrenzende systemen. Hiermee wordt bedoeld aansluitingen zoals tussen muur-en-dak, muur-en-balkon, muur-en-muur, openingen en doorboringen in een muur of zelfs luchtstromingen.

Een bijna perfecte en continue uitvoering van de isolatie is de oplossing om het risico op condensatie en het verlies en winst van warmte te beperken. Indien een perfecte uitvoering niet mogelijk is, is het belangrijk om het totaal effect van de koudebrug te reduceren door de isolatie te laten overlappen waar mogelijk. In dergelijk geval spreekt men niet van een koudebrug maar van een bouwknop.

Een bouwknop is de verzamelnaam van detailuitvoeringen van plaatsen in een constructie, waar mogelijk een extra warmteverlies optreedt. Dit betekent dat een bouwknop niet noodzakelijk een koudebrug is. Als de koudebrug technisch correct is uitgevoerd en er in feite geen sprake meer is van een koudebrug, omdat er geen rechtstreeks transmissie verlies meer is, spreekt men toch nog steeds van een bouwknop.

4.2 TRANSMISSIEVERLIEZEN

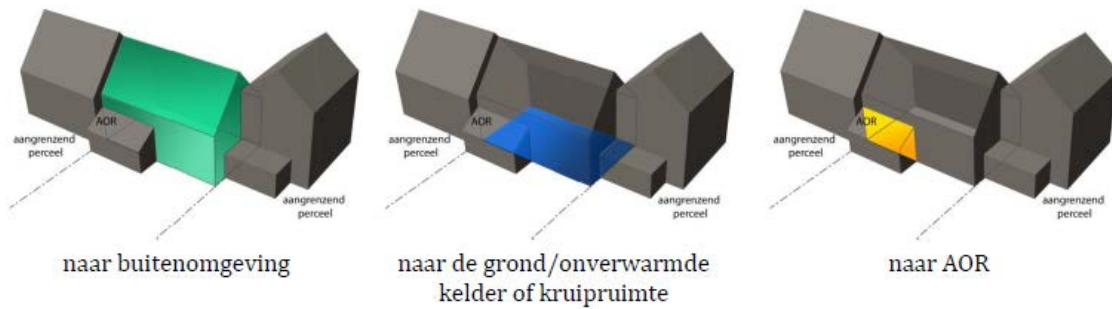
Bij de berekening van de transmissieverliezen in een gebouw via bouwknopen wordt er enkel rekening gehouden met de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak. D.w.z. dat er enkel rekening wordt gehouden met de verliesoppervlakten van een beschermd volume van een gebouw die in contact staan met de buitenomgeving, de bodem of een onverwarmde aangrenzende ruimte (OAR). [22]



Figuur 19: Verdeling 2D en 3D transmissieverliezen.

4.2.1 Scheidingsconstructie van het verliesoppervlak

Een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak is het deel van de constructie dat de scheiding vormt tussen het beschermd deel van de constructie en het deel dat grenst aan de buitenomgeving, de bodem, kelders of aangrenzende onverwarmde ruimtes. Een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak verschilt van elkaar indien de opbouw, oriëntatie, helling en/of begrenzing van elkaar verschilt. [23]



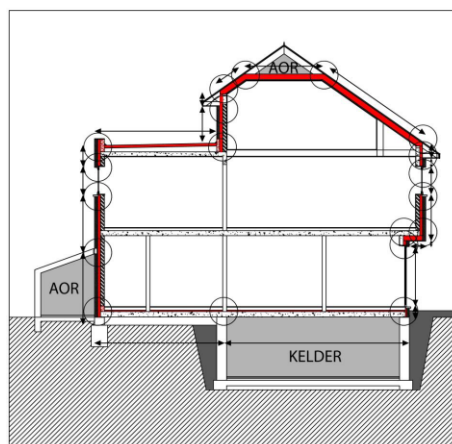
Figuur 20: Scheidingsconstructies van het verliesoppervlak. [22]

4.2.2 Lineaire bouwknop

Volgens bijlage 8 van het energiebesluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 [23] en het toelichtingsdocument, ontwerp tot wijziging van bijlage 4/5 van het EPB-besluit [22] kan een lineaire bouwknop zich voordoen op elke plaats in de gebouwschil onder één van de hieronder volgende situaties.

A. Twee scheidingsconstructies:

Bij de samenkomst van twee scheidingsconstructies van het verliesoppervlak is er altijd sprake van een bouwknop. Dit houdt in dat zelfs als de isolatiedetailering correct is uitgevoerd, zoals bijvoorbeeld bij raam- en deuraansluitingen of twee gevel aansluitingen, men nog steeds spreekt over een bouwknop. [22]

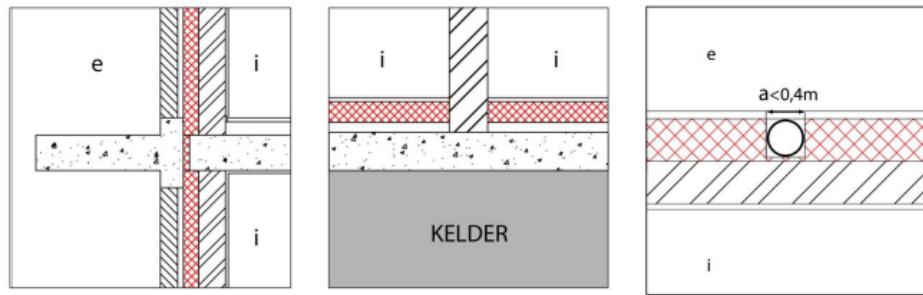


Figuur 21: Lineaire bouwknop waar twee scheidingsconstructies samen komen. [22]

B. Lijnvormige onderbreking:

Men spreekt ook van een lineaire bouwknop op een plaats waar de isolatie van een scheidingsconstructie al dan niet lijnvormig is onderbroken, dit over de volledige dikte van de isolatielaag door een thermisch beter geleidend materiaal. Wel dient de bouwknop in één en hetzelfde vlak te liggen en mag de afstand tussen twee volledige delen isolatie maximum 0,4 m

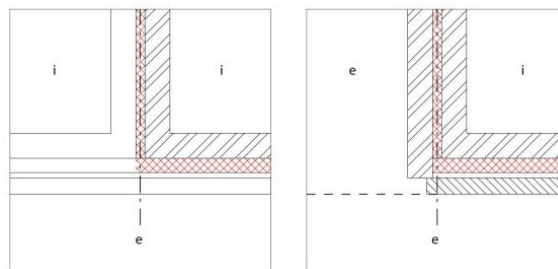
bedragen. Mogelijke oorzaken van dit type bouwknop kunnen zijn: inkepingen voor afvoerbuizen, slechte plaatsing van de waterkering of uitstekende delen van de vloerplaat. [22]



Figuur 22: Lineaire bouwknop: lijnvormige onderbreking door slechter isolerend materiaal. [22]

C. Aangrenzend perceel:

De laatste situatie doet zich voor wanneer een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak samenvalt met een scheidingsconstructie die grenst aan een aangrenzend perceel. Hiervoor dient de andere scheidingsconstructie geen deel uit te maken van het verliesoppervlak, het kan dus gaan over zowel een binnenmuur als een buitenmuur.

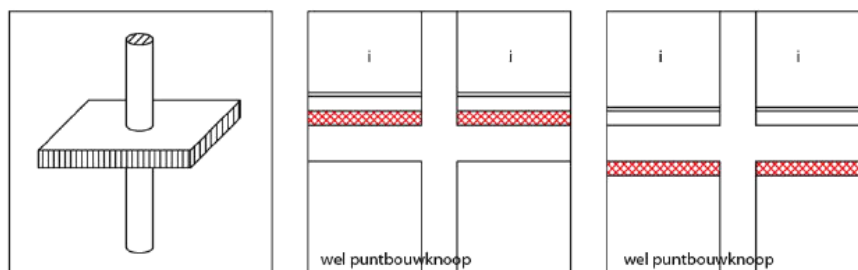


Figuur 23: Lineaire bouwknop, scheidingsconstructie grenst met aangrenzend perceel. (links: binnenmuur, rechts: buitenmuur) [22]

4.2.3 Puntvormige bouwknop

Een puntvormige bouwknop wordt door bijlage 8 van het energiebesluit [23] omschreven als een plaats in de gebouwschil waar de isolatielaag van een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak puntvormig onderbroken wordt, al dan niet over de volledige dikte van de isolatielaag, door een thermisch beter geleidbaar materiaal.

Een aantal voorbeelden van mogelijke bouwknopen van dit type zijn: metalen bevestigingspunten van zonneluifels of zonnepanelen, onderbreking van de isolatie door een wand of balk loodrecht op het vlak van de scheidingsconstructie.



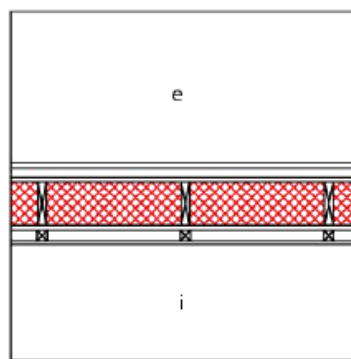
Figuur 24: Puntbouwknop, puntvormige onderbreking door een thermisch beter geleidbaar materiaal. [22]

4.3 WAT ZIJN GEEN BOUWKNOPEN

Wat in een constructie op gebouwschil niet aanzien wordt als bouwknopen wordt beschreven in bijlage 8 van het energiebesluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 [23] en het toelichtingsdocument, ontwerp tot wijziging van bijlage 4/5 van het EPB-besluit [22]

4.3.1 Onderbrekingen eigen aan de scheidingsconstructie

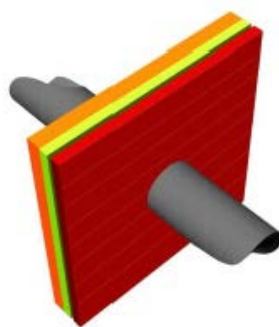
Onderbrekingen die eigen zijn aan de scheidingsconstructie dienen ingerekend te worden in de U-waarde (of R-waarde) van de scheidingsconstructie en tellen zo mee in de EPB-berekening. Dit is bijvoorbeeld het geval bij niet-homogene bouwlagen, waar het verschil in warmtedoorgangscoefficiënt niet mag beschouwd worden als bouwknop. Een ander voorbeeld zijn de spouwankers in een spouwmuur, deze worden aangerekend aan de U-waarde van de gehele muur. Dit geldt voor alle onderbrekingen die eigen zijn aan de scheidingsconstructie zoals ook afstandhouders van de beglazing, houten stijl en regelwerk, Z-profielen als ophanging voor gevelbekleding enz.



Figuur 25: Hout stijlen, eigen aan de constructie bij houtskeletbouw. [22]

4.3.2 Doorboringen t.g.v. leidingdoorvoeren

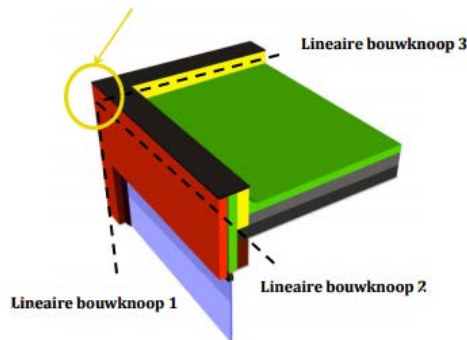
Als de leidingdoorvoeren in het vlak van de scheidingsconstructie liggen, dienen deze ingerekend te worden als bouwknop. Als de leidingdoorvoer het vlak van de scheidingsconstructie doorkruist, wordt dit niet aanzien als een bouwknop. Voorbeelden hiervan zijn ventilatiekanalen, nutsleidingen, rookgasafvoeren en regenwaterafvoeren die niet in het vlak van de scheidingsconstructie zitten.



Figuur 26: Rookgasafvoer, doorboringen t.g.v. leidingdoorvoeren. [22]

4.3.3 Snijding van 2 of 3 lineaire bouwknoepen

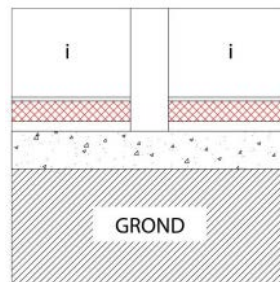
Een knooppunt waar 2 of 3 lineaire bouwknoepen samenkomen, hoeft niet nog eens extra als puntbouwknoop ingerekend te worden. Dit knooppunt kan dan als één enkele bouwknoop ingerekend worden.



Figuur 27: Snijding van drie lineaire bouwknoepen, niet meer inrekenen als puntbouwknoop. [22]

4.3.4 Onderbreking scheidingsconstructie in direct contact met de grond

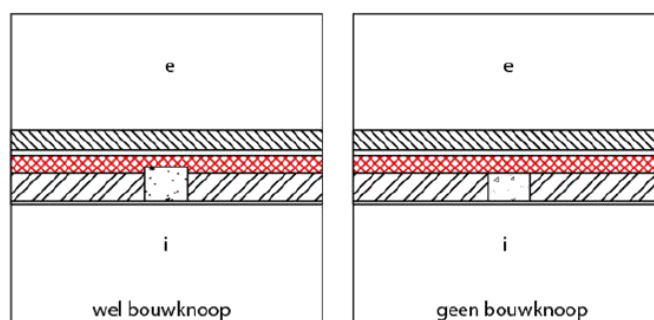
Wanneer er een onderbreking is van de scheidingsconstructie (welke de isolatielaag bevat) en de aansluiting tussen het nieuwe constructiedeel en de bestaande scheidingsconstructie in direct contact staat met de grond is dit geen bouwknoop. Als er een binnenmuur wordt geplaatst op de vloerplaat en de vloerplaat op volle grond aanzet, is er dus geen bouwknoop, ook al wordt hiervoor de isolatielaag onderbroken. Dit is ook het geval voor bijvoorbeeld funderingen die een vloerplaat ondersteunen en hiervoor de scheidingsconstructie onderbreken.



Figuur 28: Binnenmuur in rechtstreeks contact met de vloerplaat. [22]

4.3.5 Wanneer de isolatielaag continu doorloopt

Er is geen sprake van een bouwknoop als er tegen de scheidingsconstructie een nieuw element wordt geplaatst, dat geen invloed heeft op de continuïteit van de isolatielaag. Met andere woorden, eender welke constructie mag geplaatst worden in of tegen een scheidingsconstructie, zolang de isolatielaag maar niet wordt onderbroken. Deze verandering van de scheidingsconstructie dient wel ingerekend te worden in de U-waarde hiervan.

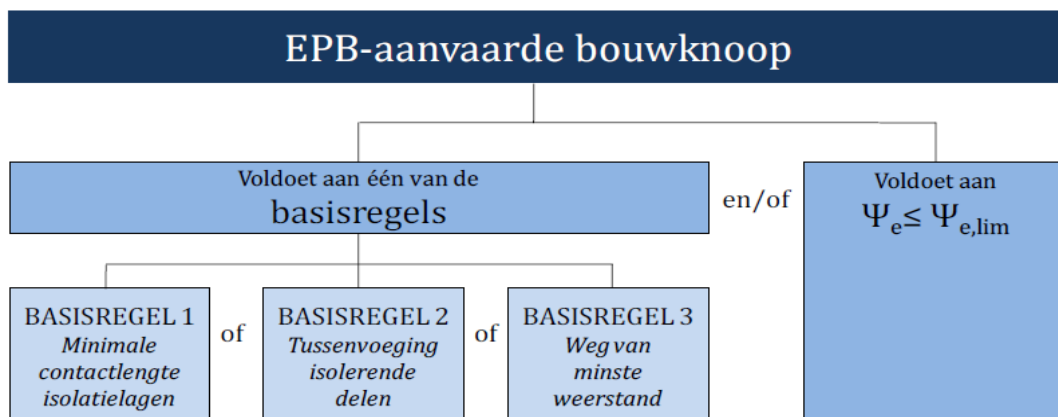


Figuur 29: Continue en onderbroken isolatielaag. [22]

4.4 WAT ZIJN EPB AANVAARDE BOUWKNOPEN

EPB aanvaarde bouwknoopen zijn bouwknoopen die geen onwenselijke invloed hebben op de energetische waarde in die knoop. Met andere woorden, het zijn koudebrugarme bouwknoopen. Deze worden in de EPB berekening gezamenlijk ingerekend door een K-peiltoeslag van 3 K-punten.

Een bouwknoop heeft geen invloed op de energetische waarde van een knoop en is dus koudebrugarm als het voldoet aan de basisregels van koudebrugarm detail en/of $\psi_e \leq \psi_{e,lim}$. De basisregel voor een koudebrugarm detail is dat de gebouwschil niet wordt onderbroken, zodat er een continuïteit is van zowel het isolatiemateriaal als het constructiemateriaal.

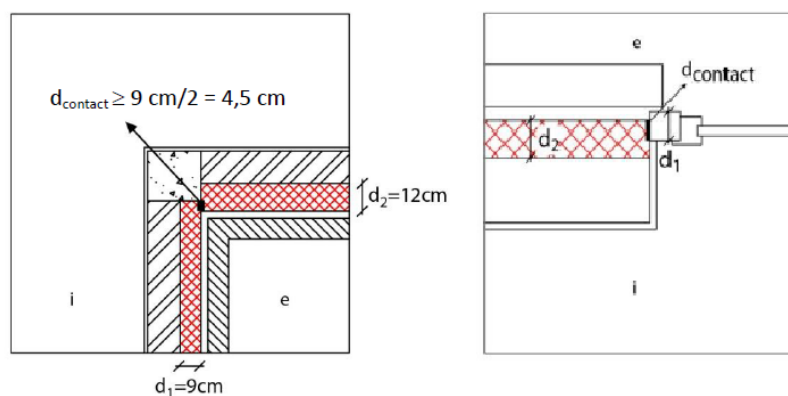


Figuur 30: Principe schema voor een EPB-aanvaarde bouwknoop. [22]

4.4.1 Basis regel 1

Basis regel 1 zegt dat de minimum contact lengte $d_{contact}$ van de isolatielagen nooit kleiner mag zijn dan de halve dikte van de aangrenzende isolatielagen. Bij raam- en deurprofielen moet in geval van een niet-thermisch onderbroken profiel, de halve dikte van het profiel dat zich loodrecht op het glasoppervlak bevindt, in contact staan met de aangrenzende isolatie. Bij een thermisch onderbroken profiel moet de volledige dikte van de thermische onderbreking in contact staan met de aangrenzende isolatie.

$$d_{contact} \geq \frac{1}{2} * \min(d_1, d_2)$$



Figuur 31: Basis regel 1, aangrenzende diktes. [22]

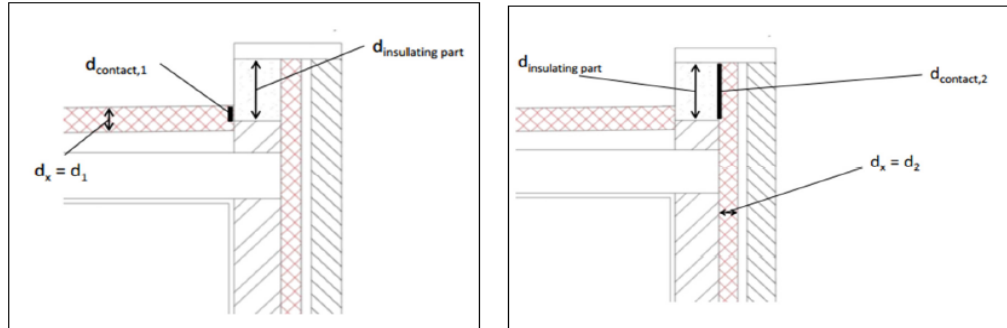
4.4.2 Basis regel 2

Indien de isolatielagen niet direct tegen elkaar geplaatst kunnen worden maar de ruimte tussen de isolatielagen opgevuld kan worden met een ander isolerend materiaal, is basis regel 2 van toepassing. De volgende voorwaarden zijn van toepassing:

$$\lambda_{insulating\ part} \leq 0,2W/mK$$

$$R \geq \min\left(\frac{R_1}{2}; \frac{R_2}{2}; 2\ \text{of}\ 1,5\ \text{bij}\ \text{raam} - \text{en}\ \text{deurprofielen}\right)$$

$$d_{contact,i} \geq \frac{1}{2} * \min(d_{insulating\ part}; d_x)$$

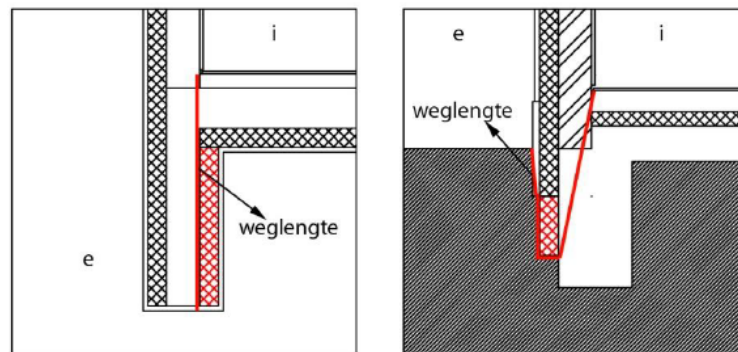


Figuur 32: Basis regel 2, tussenvoegend deel. [22]

4.4.3 Basis regel 3

Basis regel 3 is van toepassing wanneer aan basis regel 1 en 2 niet voldaan is. Dit betekent dat de thermische gebouwschil niet behouden blijft en onderbroken wordt. De regel zegt dat de weg van de minste weerstand minstens 1 meter moet bedragen.

$$l_i \geq 1\ \text{meter}$$



Figuur 33: Basis regel 3, weg van minste weerstand. [22]

De voorwaarde dat $\psi_e \leq \psi_{e,lim}$ is minder simpel te beschrijven. Dit dient aangetoond te worden met een gevalideerde numerieke berekening.

4.4.4 Voorwaarden lineaire warmtedoorgangscoefficiënt

De gevalideerde numeriek berekende lineaire warmtedoorgangscoefficiënt voor elke bouwknop moet kleiner zijn dan de gedefinieerde grenswaarden om door te gaan als EPB-aanvaarde bouwknop.

Tabel 5: Grenswaarden lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ψ_e . [22]

	$\Psi_{e,lim}$
1. BUITENHOEKEN (1)(2) <ul style="list-style-type: none"> • 2 muren • Andere buitenhoeken 	-0.10 W/m.K 0.00 W/m.K
2. BINNENHOEKEN (3)	0.15 W/m.K
3. VENSTER- en DEURAANSLUITINGEN	0.10 W/m.K
4. FUNDERINGSAANZET	0.05 W/m.K
5. BALKONS - LUIFELS	0.10 W/m.K
6. AANSLUITINGEN VAN EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE BINNEN EENZELFDE BESCHERMD VOLUME OF TUSSEN 2 VERSCHILLENDE BESCHERMDE VOLUMES OP EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE VAN HET VERLIESOPPERVLAK	0.05 W/m.K
7. ALLE KNOPEN DIE NIET ONDER 1 T.E.M 6 VALLEN	0.0 W/m.K
(1) met uitzondering van funderingsaanzet (2) Voor een buitenhoek moet de hoek α – gemeten tussen de twee buitenoppervlakken van de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak – voldoen aan: $180^\circ < \alpha < 360^\circ$. (3) Voor een binnenhoek moet de hoek α – gemeten tussen de twee buitenoppervlakken van de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak – voldoen aan: $0^\circ < \alpha < 180^\circ$.	

5 THEORETISCHE ACHTERGROND WARMTEOVERDRACHT

5.1 DE WARMTEGELEIDINGSCOËFFICIËNT VAN EEN MATERIAAL

Een (bouw)materiaal heeft altijd een zekere warmtegeleiding. Materialen die slecht geleiden en dus de warmte niet of weinig doorgeven worden isolatiematerialen genoemd. De isolatiewaarde van een materiaal wordt bepaald door factoren zoals de aard, de vochtigheid en de temperatuur van het materiaal. De warmtegeleidingscoëfficiënt is de energie, in dit geval de warmtestroom, die door een volume van 1 m³ stroomt bij een verandering van temperatuur van 1 K. Het symbool voor de warmtegeleidingscoëfficiënt is λ (Griekse letter lambda), deze grootte wordt uitgedrukt in W / mK. Hoe lager de λ -waarde is, hoe slechter het materiaal de warmte geleidt. Materialen met een lage λ -waarde zijn dus goede isolatoren. [24]

5.2 DE WARMTEDOORGANGSWEERSTAND VAN EEN MATERIAAL

De warmtedoorgangswaarde R is een grootte die de verhouding weergeeft van een homogeen materiaal tussen de dikte en de warmtegeleidingscoëfficiënt van dat materiaal. De warmtedoorgangswaarde ($R = \frac{d}{\lambda}$) wordt uitgedrukt in m²K / W. Hieruit volgt dat wanneer de dikte van het materiaal toeneemt ook de warmtedoorgangswaarde toeneemt en als het materiaal een lage warmtegeleidingscoëfficiënt heeft (goed isolerend materiaal) de warmtedoorgangswaarde ook zal toenemen. [24]

5.3 DE WARMTEOVERGANGSCOËFFICIËNT

De warmteovergangscoefficiënt h wordt uitgedrukt in W / m²K. De warmteoverdracht doorheen een constructie kan zowel door straling als door convectie gebeuren. Er wordt wel een onderscheid gemaakt bij de verschillende omgevingsfactoren.

Zo is er de warmteovergangscoefficiënt h_{se} die de warmtestroom weergeeft tussen de buitenzijde van de wand en de buitenomgeving. Deze warmtestroom is er door zowel convectie als door straling en wordt weergegeven per eenheid van oppervlakte en per eenheid van temperatuurverschil. [24]

De warmteovergangscoefficiënt h_{si} geeft de warmtestroom tussen de binnenzijde van de wand en de buitenomgeving weer. De warmteovergangswaarden (R_{se} en R_{si}) zijn het omgekeerde hiervan, oftewel: [24]

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \text{ en } R_{si} = \frac{1}{h_{si}}$$

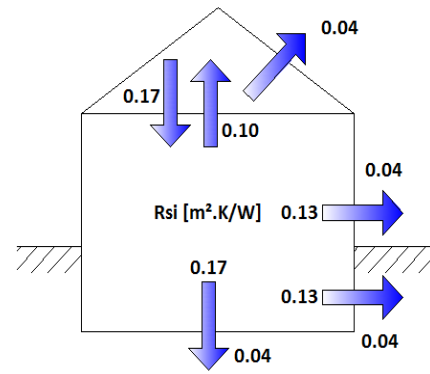
De waarden voor deze coëfficiënten zijn experimenteel bepaald en worden beïnvloed door volgende factoren:

- De stromingsnelheid;
- De warmtegeleidingscoëfficiënt van de stoffen;
- De ruwheid van de oppervlakte;
- De temperatuur van beide oppervlakken;
- De stand van de wand en de warmtestroomrichting.

De aangenomen waarden zijn terug te vinden in onderstaande tabel en worden verduidelijkt in figuur 34.

Tabel 6: Warmteovergangsweerstanden voor binnen en buiten.

Richting warmtestroom	Element	R_{si} in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	R_{se} in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Horizontaal	Raam, muur	0.13	0.04
Verticaal	Vloer	0.17	0.04
Verticaal	Dak, plafond	0.10	0.04



Figuur 34: Warmteovergangsweerstanden per vlak voor binnen en buiten.

Opmerking:

In hoeken is de warmteovergangscoefficient van de binnenzijde aangenomen als $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dit is te wijten aan de warmtestralingscomponent die in een hoek afneemt en aan de verminderde luchtstroming.

5.4 DE WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT

Het symbool voor de warmtedoorgangscoefficient is U en wordt uitgedrukt in $\text{W/m}^2\text{K}$. De U -waarde geeft dus weer wat de warmtestroom is tussen beide zijden van een constructie zoals een raam, binnen- of buitenmuur, enz. De warmtestroom wordt weergegeven bij een oppervlakte van 1 m^2 en bij een temperatuurverschil van 1 K . De U -waarde is de inverse van de totale warmteweerstand en kan dus geschreven worden als: [24]

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Er is sprake van de totale warmteweerstand omdat een wand meestal bestaat uit meerdere materialen en dus een combinatie is van verschillende weerstanden. Ook de overgangsweerstanden worden hierbij in rekening gebracht. De warmtestroom die beschouwd wordt staat loodrecht op het oppervlak. Hieruit volgt dus:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R + R_{se}$$

Waarin R_T de totale warmteweerstand voorstelt met:

- $R_{se} = \frac{1}{h_{se}}$ De overgangsweerstand natte zijde
- ΣR De som van de warmteweerstanden van alle constructieonderdelen
- $R_{si} = \frac{1}{h_{si}}$ De overgangsweerstand aan droge zijde
- Allen weergegeven in $\text{m}^2\text{K/W}$

En aangezien $U = \frac{1}{R_T}$ geeft dit:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se}}$$

6 VOCHT IN EEN GEBOUW

In bouwconstructies bevindt zich in de verschillende materialen en constructieonderdelen vocht onder de vorm van water en waterdamp. De aanwezigheid van vocht heeft verschillende oorzaken. Zo kan een constructie in rechtstreeks contact staan met water of kan een constructie in contact staan met vochtige buiten- of binnenlucht. [25]

Vocht ten gevolge van rechtstreeks contact met water zoals regendoorslag en opstijgend vocht wordt constructief opgelost (bijv. een spouwmuur en het plaatsen van een waterkering) en vereist geen berekeningsmethodes. In tegenstelling tot vocht dat ontstaat door de waterdamp in de lucht en het verschil in dampdruk (bijv. oppervlaktecondensatie en inwendige condensatie). Hierbij wordt alvorens een constructieve oplossing te bieden, de plaats van voorkomen en de oorzaak van het onderliggende vochtprobleem berekend en geanalyseerd. [25]

Het voorkomen van vocht in een gebouw kan leiden tot directe en indirecte schade aan het gebouw. Zo is er kans op een vermindering van duurzaamheid van de constructieonderdelen door bijvoorbeeld vorstschade, corrosie of houtrot. Ook kan het uitzicht van de constructie veranderen door vochtplekken, zoutuitbloeiingen of zelfs schimmels. [25]

6.1 VOCHTIGE LUCHT: DEFINITIES, FORMULES EN GROOTHEDEN

De verplaatsing van vocht doorheen een constructie is toe te wijzen aan warmte- en massatransport. Dit betekent dat de wet van behoud van energie en de wet van behoud van massa geldig zijn.

Enkele vormen van massatransport zijn [25]:

- **Luchttransport:** De verplaatsing van lucht doorheen een constructiecomponent of ruimte als drager van warmte en vocht.
- **Dampdiffusie:** De verplaatsing van waterdamp in lucht of de poriën van materialen door verschillen in waterdampconcentraties.
- **Convectief damptransport:** De verplaatsing van waterdamp door de stroming van vochtige lucht veroorzaakt door luchtdrukverschillen.

6.1.1 Dampdruk en verzadigingsdampdruk

De dampdruk is de druk van vochtige lucht bij een bepaalde temperatuur en is afhankelijk van de waterdampconcentratie, de gasconstante en de temperatuur. De waterdampconcentratie is de hoeveelheid massa waterdamp per volume-eenheid.

$$P_d = \rho_d \cdot R_d \cdot T \quad (Pa)$$

De verzadigingsdampdruk is de maximale dampdruk die bij een bepaalde temperatuur hoort en is afhankelijk van de verzadigingsdampconcentratie, de gasconstante en de temperatuur. De verzadigingswaterdampconcentratie is de maximale hoeveelheid massa waterdamp per volume-eenheid.

$$p'_d = \rho'_d \cdot R_d \cdot T \quad (Pa)$$

Met:

- P_d Dampdruk (Pa)
- P'_d Verzadigingsdampdruk (Pa)
- T Temperatuur (K)
- R_d Gasconstante voor waterdamp (462 J/kgK)
- ρ_d Waterdampconcentratie (kg/m³)
- ρ'_d Verzadigingsdampconcentratie (kg/m³)

6.1.2 Relatieve vochtigheid

De relatieve vochtigheid is de verhouding van de werkelijke hoeveelheid waterdamp ten opzichte van de maximale hoeveelheid waterdamp van de lucht. De maximale hoeveelheid relatieve vochtigheid bedraagt 100%.

$$RV = \frac{p_d}{p'_d} \cdot 100 = \frac{\rho_d}{\rho'_d} \cdot 100 \%$$

6.1.3 Dauwpunt

Het dauwpunt is de temperatuur waarbij de relatieve vochtigheid van de lucht 100% bedraagt. Omdat het fysisch niet mogelijk is dat de lucht meer waterdamp bevat, zal er bij verder afkoelen van de temperatuur condensatie optreden.

6.2 DAMPDIFFUSIE

Dampdiffusie is het verschijnsel van damptransport door een potentiaalverschil in dampdruk Δp (Pa) of dampconcentratie Δp (Pa) en kan beschreven worden door de wet van Fick⁴:

$$q = \frac{D}{R_d \cdot T} \cdot \frac{\delta_p}{\delta_x} = -\delta \cdot \frac{\delta_p}{\delta_x} = \frac{-\delta_a}{\mu} \cdot \frac{\delta_p}{\delta_x}$$

Met:

- q De dampstroomdichtheid ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)
- D De binaire diffusiecoëfficiënt (m^2/s)
- R_d De gasconstante van waterdamp ($462 \text{ J}/\text{kgK}$)
- T De absolute temperatuur (K)
- δ De waterdampstroomgeleidingscoëfficiënt van het materiaal (s)
- δ_a De waterdampgeleidingscoëfficiënt van lucht (s)
- μ Het diffusieweerstandsgetal van het materiaal (-)

De hoeveelheid waterdamp door diffusie is afhankelijk van de grootte van het dampspanningsverschil en de weerstand tegen diffusie van het te doordringen materiaal. De weerstand tegen diffusie wordt beschreven door het diffusieweerstandsgetal μ en geeft de verhouding weer van hoeveel keer groter de weerstand tegen diffusie is ten opzichte van de weerstand van een luchtlaag bij de zelfde dikte, druk en temperatuur.

6.2.1 Stationair isotherm damptransport

Een stationair isotherm damptransport wil zeggen dat de materiaaleigenschappen en randvoorwaarden tijdsonafhankelijk zijn, de materialen niet-hygroscopisch zijn en het vochttransport en de warmteoverdracht 1-dimensionaal verloopt. Onder deze voorwaarden kan de 2^{de} wet van Fourier⁵ die de warmtegeleiding doorheen een materiaal omschrijft (wet van behoud van energie), beschreven worden door de wet van behoud van massa. [25]

$$\frac{\delta_p^2}{\delta_x^2} = 0$$

De oplossing van deze functie is van de vorm: $p = a \cdot x + b$

Waarbij a en b de integratieconstanten zijn en hun waarde bepaald is door de randvoorwaarden. Indien men randvoorwaarden bepaalt als volgt ($x=0, p=p_1$ & $x=d, p=p_2$), dan wordt het dampdrukverloop omschreven als volgt.

⁴ Adolf Eugen Fick (1829-1901), een Duits fysioloog die in 1855 de diffusiewetten beschreef.

⁵ Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), een Franse wiskundige en natuurkundige die in 1822 de relatie tussen warmteoverdracht en geleiding beschreef.

$$p = p_1 + \frac{p_2 - p_1}{d} \cdot x$$

Geweten is dat de grootte van de dampstroomdichtheid omschreven wordt door de wet van Fick. Als men een diffusieconstante N invoert die voor elk materiaal gelijk is, dan wordt de dampstroomdichtheid:

$$q = \frac{-1}{\mu \cdot N} \cdot \frac{\delta_p}{\delta_x}$$

Met:

$$N = \frac{1}{\delta_a} = \frac{R_d \cdot T}{D} = 5,4 \cdot 10^9 \text{ (1/s)}$$

Bekijkt men de dampstroomdichtheid tussen twee punten op een afstand d van elkaar dan wordt de dampstroomdichtheid:

$$q = \frac{p_2 - p_1}{\mu \cdot d \cdot N}$$

Bij een wand- of dakconstructie verschilt de diffusieweerstand laag per laag omdat de constructie is opgebouwd uit verschillende materialen. In geval van een stationaire dampdiffusie is de dampstroomdichtheid constant en zal de ingaande dampstroom gelijk zijn aan de uitgaande dampstroom en dus is de dampstroomdichtheid gelijk aan:

$$q = \frac{\Delta p}{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot d_i \cdot N} = \frac{\Delta p}{Z_t}$$

Met:

- Z_t De diffusieweerstand van de wand (m/s)

De diffusieweerstand is dus afhankelijk van het diffusieweerstandsgetal en de dikte van elk materiaal. De dampstroomdichtheid is groter naarmate het dampdrukverschil over de structuur groter is of als het diffusieweerstandsgetal en de dikte van de structuur kleiner zijn.

6.3 CONDENSATIE IN EEN STRUCTUUR

Condensatie treedt dus op als de verzadigingsdampdruk bereikt is en de temperatuur nog verder daalt. Indien men voorgaande formules bekijkt dan kan men het reëel dampdrukverloop over een structuur bepalen. Is de verzadigingsdampdruk op een oppervlaktegedeelte van de structuur lager dan de reële dampdruk, door een lage oppervlaktetemperatuur en een kleine diffusieweerstand van het materiaal, dan zal op deze plaats inwendige condensatie ontstaan. De hoeveelheid inwendige condensatie is dus afhankelijk van het dampdrukverschil en de diffusieweerstand. De grootte van het dampdrukverschil is afhankelijk van het temperatuurverschil. Dit betekent dat in de wintermaanden het dampdrukverschil het grootst is en dus ook de kans op vorming of de hoeveelheid van inwendige condensatie het grootst is.

Zoals geweten is, kan inwendige condensatie schade veroorzaken aan een structuur. Het is daarom van belang om te controleren als er op jaarbasis condensatie optreedt en indien er optreedt om te weten waar deze juist optreedt. Dit controleren kan met behulp van numerieke software, maar kan ook gecontroleerd worden met een vereenvoudigde methode, de methode van Glaser.

6.4 OPPERVLAKTECONDENSATIE EN SCHIMMELVORMING

Bij een gebouw is er niet alleen kans op inwendige condensatie maar ook op oppervlaktecondensatie. Dit fenomeen komt voor wanneer de oppervlaktetemperatuur van een constructievlak, lager is dan

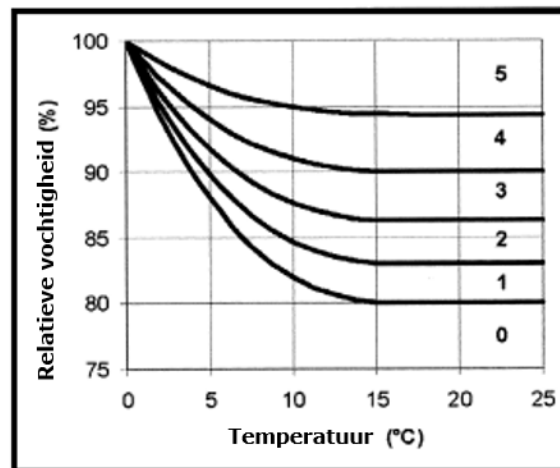
het dauwpunt van de binnenlucht. De lucht die in contact staat met het constructievlak heeft op dit moment een relatieve vochtigheid van 100%, dit zal leiden tot het condensvorming op het constructievlak.

Als dit constructievlak uit een poreus materiaal bestaat, zodat het hygroscopisch vocht kan bevatten, dan bestaat de kans dat er schimmelvorming op het materiaal ontstaat. Dit kan enkel indien het materiaal gedurende lange tijd vochtig is en als de oppervlaktetemperatuur van het materiaal voldoende hoog is.

De voorwaarden voor de beheersing van schimmelgroei en de criteria voor de thermische kwaliteit worden hieronder beschreven.

6.4.1 Randvoorwaarden voor schimmelgroei beheersing

Het isopleet-diagramma bepaalt de ontwikkeling van de hoeveelheid schimmelvorming in functie van de temperatuur en de relatieve vochtigheid van het binnenoppervlak. Uit het isopleet-diagramma blijkt dat de optimale relatieve vochtigheid van het binnen oppervlak 80% bedraagt en dat de ideale temperatuur 15°C is. Wordt de temperatuur lager, dan zal er minder snel schimmelgroei ontstaan. Indien de temperatuur het vriespunt bereikt, zal de schimmelgroei volledig tot zijn einde komen, zelfs indien de relatieve vochtigheid 100% bedraagt. [25]



Figuur 35: Isopleet-diagramma in functie van de schimmel-index. [25]

De schimmel-index vertoont hierbij: [25]

- 0 Geen ontwikkeling van schimmel
- 1 De groei-initiatie
- 2 Matige groei
- 3 Zichtbare groei
- 4 Schimmelaantasting (10% van oppervlak)
- 5 Schimmelaantasting (50% van het oppervlak)

Om de vorming van schimmelgroei aan het binnenoppervlak van een woning bij poreuze materialen te vermijden, wordt de relatieve vochtigheid begrensd op 80%, onafhankelijk van de binnenoppervlaktetemperatuur. Omdat de relatieve vochtigheid afhankelijk is van de binnendampdruk en de oppervlaktetemperatuur, geldt het volgende: [25]

$$\phi_{si} = \frac{p_i}{p_{sat}(\theta_{si})} < 0,8$$

Waarbij:

- ϕ_{si} De relatieve vochtigheid van het binnenoppervlak (-)

- P_i De binnendampdruk (Pa)
- $P_{\text{sat}}(\theta_{si})$ De verzadigingsdampdruk bij θ_{si} (Pa)
- θ_{si} De binnenoppervlaktetemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)

6.4.2 Thermische kwaliteit van het oppervlak

De temperatuur van het binnenoppervlak kan bepaald worden door het stationair warmtetransport. Het temperatuurverloop wordt gegeven door:

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{U}{\alpha_i}(\theta_i - \theta_e)$$

Waarbij:

- θ_i De binnentemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_e De buitentemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
- U De warmtedoorgangscoefficiënt van de constructie ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
- α_i De warmteovergangscoefficiënt aan het binnenoppervlak ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

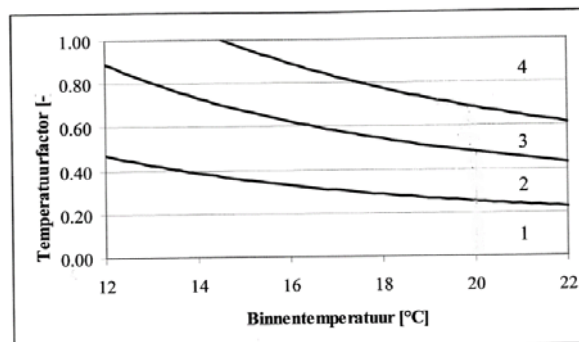
We weten dat de kans op condensatie en schimmelvorming stijgt naarmate de oppervlaktetemperatuur daalt. Uit de formule is af te leiden dat die kans dus groter wordt wanneer de warmtedoorgangscoefficiënt groot is en dus wanneer de muur slecht geïsoleerd is. Verder vergroot de kans als het temperatuurverschil tussen binnen en buiten stijgt of wanneer de warmteovergangscoefficiënt daalt. Omdat we enkel de isolerende eigenschappen van een constructie kunnen beïnvloeden en niet de gevolgen van lokale effecten, voeren we een temperatuurfactor f in, die onafhankelijk is van de randvoorwaarden. [25]

De temperatuurfactor f kan dus aanzien worden als een maat voor condensatiegevaar. Hoe lager de waarde voor f is, hoe meer risico op condensatie. De waarde van de temperatuurfactor ligt tussen 0 en 1 en wordt bepaald als volgt:

$$f = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

De factor f mag niet kleiner zijn dan 0.65, dit is de algemeen aanvaarde waarde tot waar er geen noemenswaardige vocht- of schimmelproblemen optreden. Indien men een waarde van 0.7 kan bereiken met geringe aanpassingen wordt dit sterk aanbevolen. Hoe dichterbij 1 ligt, hoe dichterbij de binnenoppervlaktetemperatuur aanleunt bij de luchttemperatuur van de binnenomgeving. Dit zorgt niet alleen voor de verlaging van condensatie maar ook verhoging van het behagelijkheidsgevoel. [24]

Onderstaande figuur (figuur 34) geeft op basis van de binnentemperatuur en de klimaatklasse van de woning, de minimale temperatuurfactor weer, om schimmelvorming te vermijden. De klimaatklasse van een woning is meestal 2 of 3.



Figuur 36: De temperatuurfactor f in functie van de binnentemperatuur en de klimaatklasse. [25]

6.5 METHODE VAN GLASER: BEREKENING VAN HOOFDCONSTRUCTIEDELEN

De methode van Glazer is een rekenmethode, die een constructie of deel van een constructie kan controleren op inwendige condensatie en droging. De Glazer methode bepaalt voor elke maand de hoeveelheid condensatie of droging en kijkt hiervan op jaar basis de gecumuleerde hoeveelheid. Het is een vereenvoudigde methode met de volgende hypothesen [25]:

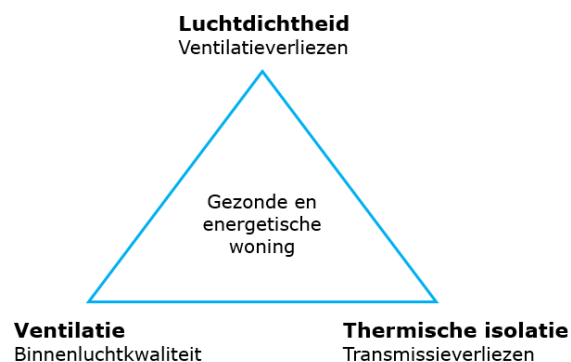
- Vochttransport gebeurt enkel door dampdiffusie
- Alle materialen zijn niet hygroscopisch en kunnen dus geen hoeveelheid waterdamp opnemen of afgeven tijdens diffusie
- λ en μ -waarde zijn constant
- Enkel warmteoverdracht door geleiding
- Warmteoverdracht en vochttransport gebeuren 1-dimensionaal
- De constructie is aanvankelijk droog
- Er wordt stationair gerekend

7 LUCHTDICHTHEID VAN EEN GEBOUW

Het belang van het energetisch niveau en de vochthuishouding in een gebouw is reeds in voorgaande hoofdstukken besproken. In dit hoofdstuk wordt er dieper ingegaan op de luchtdichtheid in een gebouw omdat het samen met de andere twee pijlers de basis vormt voor een energetische woning.

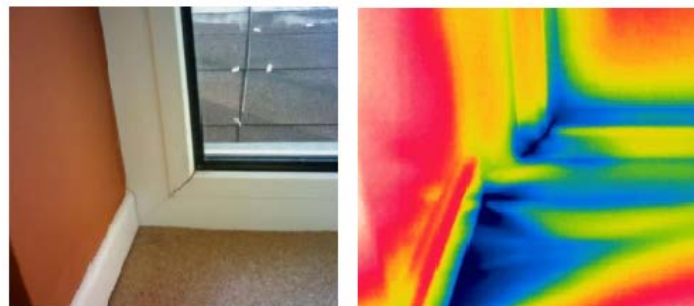
7.1 LUCHTDICHTHEID

Sinds de energieprestatieregelgeving, is luchtdichtheid een belangrijk issue bij het bouwen en renoveren van een woning. Dit komt omdat luchtdichtheid een rechtstreeks verband heeft met het thermisch niveau en de kwaliteit van de binnenlucht van een woning. Zo heeft een goede luchtdichtheid enkel zin als er voldoende thermische isolatie aanwezig is, omgekeerd heeft een goede isolatie weinig nut als er door een slechte luchtdichtheid, aanzienlijke warmteverliezen optreden. Verder is het van belang een goed ventilatiesysteem te voorzien indien het energetisch niveau en de luchtdichtheid van goede kwaliteit zijn. Zo niet is de kans op een ongezonde woning, door een slechte luchtkwaliteit en door mogelijke condensatie- of schimmelvorming groot. Concreet wil dit zeggen dat zowel de luchtdichtheid als de isolatie en de ventilatie onafscheidelijk van belang zijn.



Figuur 37: Onafscheidelijke driehoek. [26]

Dat de luchtdichtheid van een woning gebreken vertoont is eenvoudig zelf aan te tonen. Dit kan door met je hand rond raam- en deuraansluitingen te voelen. Als er luchtlekken zijn, zal dit snel merkbaar zijn, zeker wanneer er een voldoende sterke wind staat buiten. Andere mogelijkheden zijn het gebruik maken van thermografie of rookgeneratoren. Bij thermografie zal het infraroodbeeld een duidelijk donkerder kleurpatroon vertonen rond aansluitingen als er luchtlekken optreden. In geval van rookgeneratoren zal de rook door de openingen gaan of zal er een duidelijke verstoring van het rookbeeld optreden.

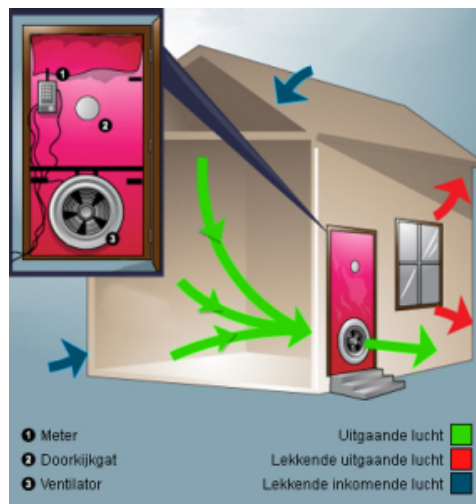


Figuur 38: Luchtlekker rond raamaansluiting. [27]

Aan de andere zijde bestaat er ook een manier om het lekdebiel doorheen de gebouwschil in kaart te brengen. Dit kan door een luchtdichtheidsmeting of de zogenaamde blowerdoortest. Hierbij wordt een drukverschil van 50 Pa geïnduceerd tussen binnen- en buitenzijde van de woning door middel

van een ventilator. Door luchtlekken zal dit drukverschil willen dalen. Er kan dus gezegd worden dat het luchtdebiet dat de ventilator moet opwekken om het drukverschil constant te houden een goede indicatie is voor de luchtdichtheid.

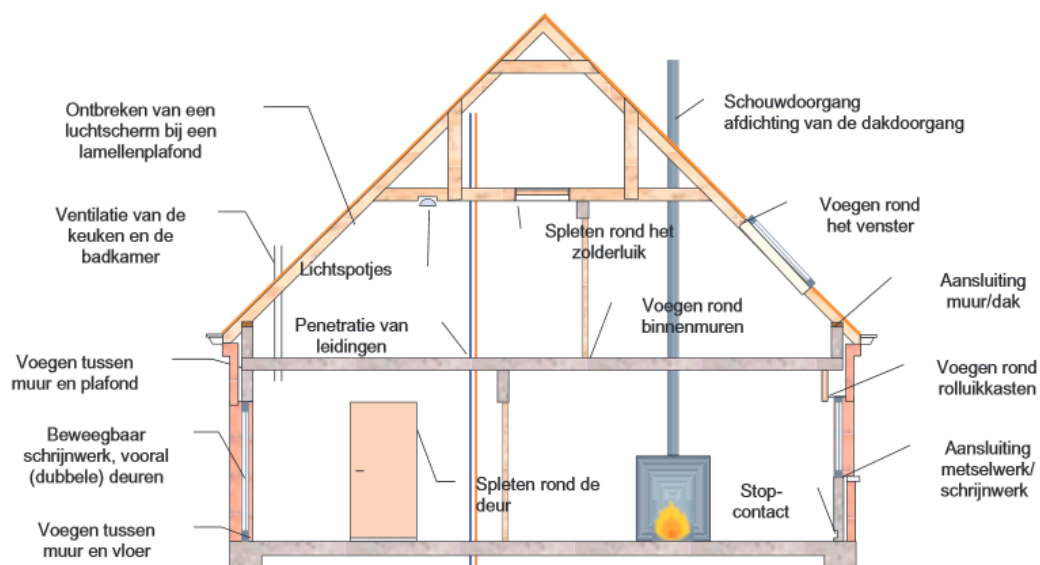
Indien we het lekdebiet V_{50} (m^3/h) delen door het binnenvolume spreekt men van het infiltratievoud n_{50} (m^3/h). Het infiltratievoud drukt het aantal luchtwisselingen per uur in een gebouw uit en geeft hiermee een indicatie over de prestatie van een gebouw weer. Als we het lekdebiet delen door het buitenverliesoppervlak, dan geeft dit de oppervlakteluchtdichtheid v_{50} ($m^3/h m^2$). Hieruit blijkt dat voor een compacte woning, waarvoor het verlies oppervlak dus kleiner is, de luchtdichtheid verbetert. [28]



Figuur 39: Principe figuur van luchtlekken bij een blowerdoortest. [29]

7.2 REALISATIE VAN LUCHTDICHTHEID

Wetende dat een goede luchtdichtheid van groot belang is bij een woning, trachten we hier te verklaren hoe men deze luchtdichtheid kan realiseren. Hiervoor moet geweten zijn, waar de meest frequente luchtlekken in een woning optreden. Onderstaande figuur (figuur 38) geeft hier een indicatie van.



Figuur 40: Veel voorkomende luchtlekken in een woning. [28]

De kritische punten doen zich vooral voor bij doorboringen van het luchtscherm bijvoorbeeld ter hoogte van nutsleidingen, ventilatie, enz. Dit maakt het bij renovatie extra moeilijk omdat daar niet op voorhand is nagedacht deze openingen slim te ontwerpen. Voor de meeste leidingen en dergelijke zijn er moffen beschikbaar die luchtdichtheid zouden garanderen maar toch dient hier aandachtig op gelet te worden.

Er zijn verschillende materialen mogelijk om een luchtdichte laag te vormen, de meest voorkomende zijn dampschermen, bepleistering, platen of zelfs ter plaatse gestort beton. Al worden er door verschillende fabrikanten allerlei materialen aangeboden die ze zelf bestempelen als luchtdicht.

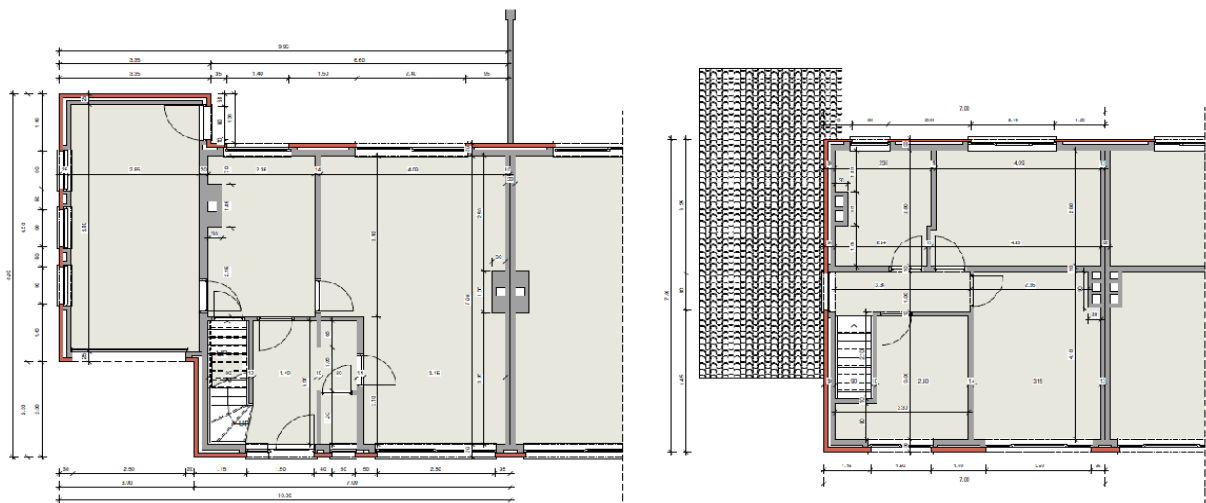
De communicatie tussen de verschillende bouwinstaties is van groot belang om te voorkomen dat de luchtdichte lagen niet correct op elkaar zouden kunnen aansluiten. Daarnaast moet er ook voorzichtiger gewerkt worden als men in de buurt van een luchtdichte laag komt. Wordt deze onderbroken (bijvoorbeeld een scheur door middel van gereedschap of een doorboring met een schroef) dan heeft dit dramatische gevolgen voor de luchtdichtheid van het gehele oppervlak.

8 CASESTUDIE WONINGTYPE: 6GH

Wat volgt is de studie van het gekozen woningtype. Hierin komen de schilpbouw van de woning en gekozen aannames aanbod. Verder wordt de huidige energetische toestand van de woning besproken d.m.v. een K-peil berekening in de EPB-software.



Figuur 41: Enkele foto's van woningtype 6GH.


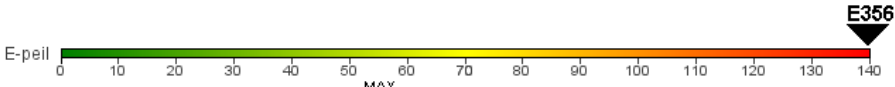


Figuur 42: Grondplannen woningtype 6GH.

8.1 GEBOUWSCHIL ANALYSE

Het woning type 6Gh betreft een halfopen bebouwing, gebouwd tussen 1969 en 1971. Het bestaat uit twee verdiepingen met een aangrenzende garage. De benedenverdieping beschikt over een afzonderlijk toilet, hal, woonruimte en keuken. De bovenverdieping heeft een badkamer en drie slaapkamers. De woning heeft een bruto vloeroppervlakte van 126 m², een verliesoppervlakte van 288,57 m² en een beschermd volume van 359,5 m³. Dit resulteert in een compactheid van 1,25 m. Een EPB-berekening toonde aan dat de energieprestatie van de woning K162/E356 bedraagt. Verdere beschrijving en details zijn terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 7: Beschrijving en detail woningtype 6GH.

Woningtype 6GH: beschrijving & details	
<p>Woningtype: halfopen bebouwing Periode: 1969-1971 Bruto vloeroppervlakte: 126 m² Beschermd volume: 359,5 m³ Verliesoppervlakte: 288,57 m² Compactheid: 1,25 m K-peil: 162 E-peil: 356 Gemiddelde U-waarde: 1,75 W/m²K Netto energie behoefte: 297,95 kWh/m²</p>	
	

De EPB-berekening toonde volgende U-waarden aan voor de verschillende constructiedelen van het woningtype.

Tabel 8: U-waarden woningtype per constructiedeel.

Constructiedeel	Beschrijving	Geïsoleerd	U-waarde (W/m ² K)
Hellend dak	Vloer op volle grond	Nee	1,9
Plat dak	Houten balkconstructie	Nee	1,3
Muur	Spouwmuur	Nee	1,93
Vloer	Vloer op volle grond	Nee	0,71
Ramen	Houten ramen met dubbelglas	/	2,97
Deuren	Houten deuren	/	2,19

Een vergelijking tussen de berekende U-waarden van de huidige toestand en de BEN-eis toont aan dat geen enkel van de constructiedelen voldoet.

Tabel 9: U-waarden huidige toestand vs. BEN.

U-waarden constructiedelen		
	Berekend	BEN
Muur	1,93	≠ 0,24 W/m ² .K
Hellend dak	1,9	≠ 0,24 W/m ² .K
Plat dak	1,3	≠ 0,24 W/m ² .K
Vloer	0,71	≠ 0,24 W/m ² .K
Vensters	2,97	≠ 1,5 W/m ² .K

8.2 BOUWKNOPEN ANALYSE

Als wat volgt worden de belangrijkste bouwknopen van het woningtype 6GH besproken. Hiervan wordt geïllustreerd waarom de bouwknoppen al dan niet voldoen a.d.h.v. bouwplannen, een thermografisch onderzoek, een softwareanalyse en een dauwpuntcontrole.

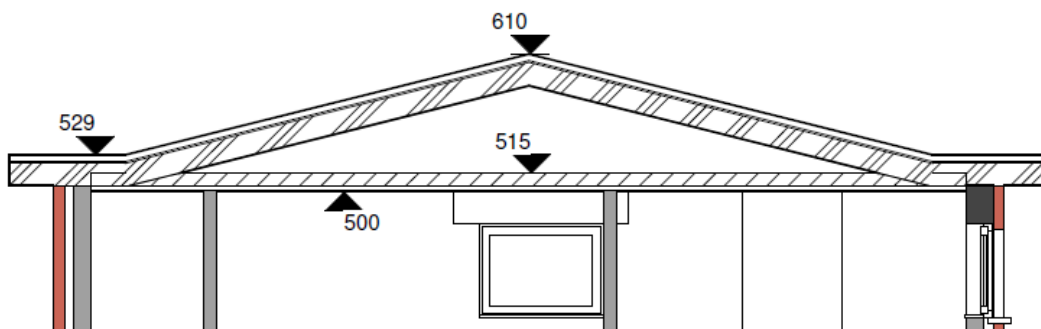
Voor de berekening in THERM werden volgende parameters ingesteld:

- Buiten: $T = -10^{\circ}\text{C}$ & $\alpha_i = 1/25$
- Zolder: $T = 5^{\circ}\text{C}$ & $\alpha_i = 1/10$ & $\alpha_e = 1/5.88$
- Binnen: $T = 20^{\circ}\text{C}$ & $\alpha_i = 1/5$

8.2.1 Aansluiting gevel-dak

A. Beoordeling volgens uitvoeringsplan

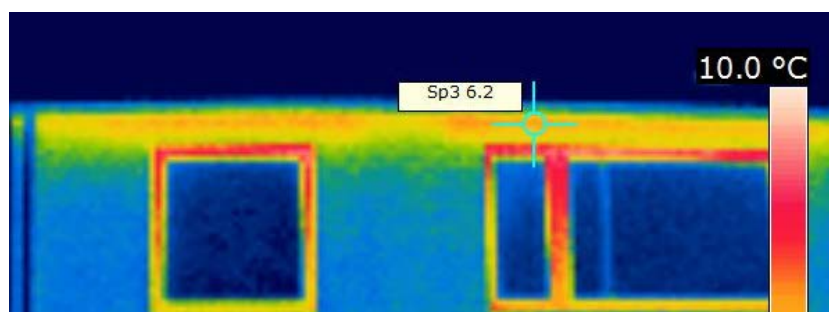
Op onderstaande afbeelding is te zien dat op plaatsen waar zich een venster bevindt, de lateibalk boven dit venster doorloopt tot tegen de gevelsteen. Dit kan leiden tot een lineaire bouwknoop met een grote invloed op basis van warmteverlies en aanzienlijke gevolgen omtrent condensatie. Op de plaatsen waar zich geen venster bevindt, loopt de spouw tot tegen de uitstekende nis. Ook dit betreft een lineaire bouwknoop, omdat de spouw en het dak niet voorzien zijn van (aangrenzende)isolatie.



Figuur 43: Doorsnede dakconstructie typewoning 6GH.

B. Beoordeling volgens thermografie

Op onderstaande figuur (figuur 44) is duidelijk een hogere temperatuur onder de dakoversteek waar te nemen. Ter hoogte van de lateibalken is er een licht variërende en donkerdere kleur op te merken. Dit kan er op wijzen dat de lateibalk in werkelijkheid doorloopt tot tegen de gevelsteen. Een andere opmerking is dat de hogere temperatuur aan de dakrand te verklaren is doordat het dak een oversteek heeft. Door deze oversteek zullen er minder windwervelingen optreden, waardoor de muur trager afkoelt.



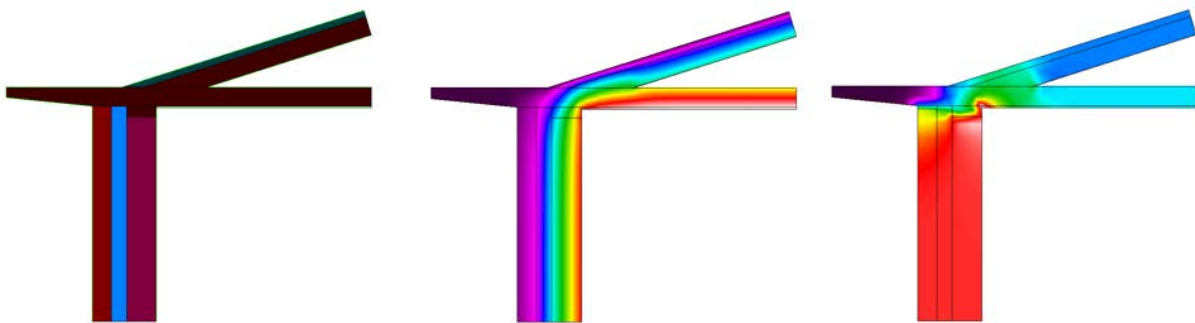
Figuur 44: Infraroodbeeld t.h.v. dakoversteek.

C. Beoordeling volgens Therm-software

Hellend dak

Figuur 45 geeft weer hoe met de THERM software een bouwknop bestudeerd kan worden. De opbouw van de figuur is analoog voor alle andere illustraties vanuit de THERM software. Eerst wordt er steeds een structurele opbouw links weergegeven, waarna de isotherme opbouw in het midden en rechts de fluxmagnitude. Als het patroon van de isothermen (midden) verstoord wordt door een discontinuïteit in de gebouwschil, is er sprake van een koudebrug

Uit figuur 45 is af te leiden dat er een verhoging van warmtetransport plaatsvindt ter hoogte van de aansluiting van de dakstructuur met de horizontale dakspant. Deze stijging in warmtetransport is het gevolg van de lagere warmteweerstand van de ongeïsoleerde dakspant t.o.v. de muur. Daarnaast is de oppervlaktetemperatuur in de binnenhoek van de constructie veel lager dan die van de omliggende constructieoppervlakken, dit kan leiden tot een vochtprobleem.



Figuur 45: hellend dak bestaande toestand in THERM.

Voor het analyseren van het risico op vochtproblemen berekenen we de f-factor, deze geeft een duidelijke indicatie voor het al dan niet optreden van condensatie op het oppervlak. (zie 6.4)

In bovenhoek muur met spant:

$$f = \frac{13.5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,78 > 0,65$$

Ter hoogte van bovenkant spant:

$$f = \frac{8.2^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})} = 0.79 > 0,65$$

Ter hoogte van binnenkant dakstructuur:

$$f = \frac{2.3^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,82 > 0,65$$

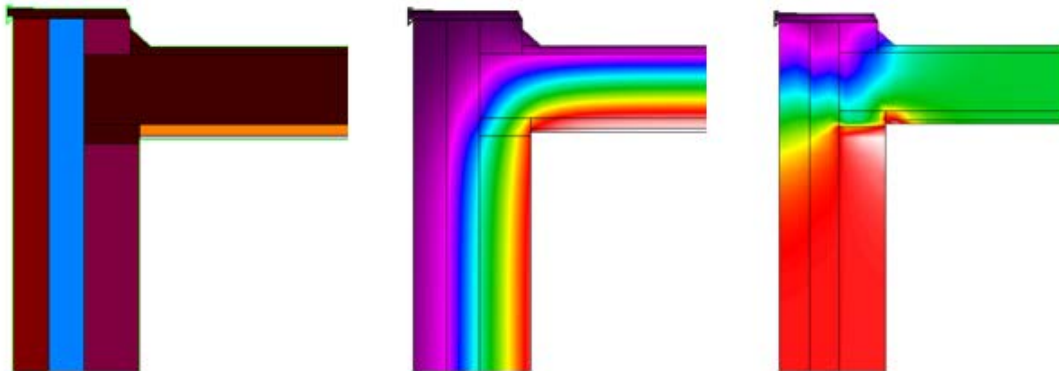
Er kan geanalyseerd worden dat er over de gehele dakaansluiting in de bestaande toestand geen vochtproblemen zullen optreden. Op de fluxmagnitude figuur is zichtbaar dat de muur minder isolerend werkt als de dakstructuur, dit kan gezien worden aan de rode kleur van de muur wat wil zeggen dat de flux groter is dan in het dak. Een grotere flux wil zeggen dat er een grotere warmtestroom is en zo ook een groter energetisch verlies.

Plat dak

De garage die tegen de woning ligt wordt in meerdere gevallen als leefruimte gebruikt. Het is dus van belang dat het warmteverlies en de vochtthuishouding ook hier gecontroleerd wordt. De opbouw van het dak is van onder naar boven: gipskartonplaat, vals plafond (wat in het ontwerp omgerekend

is van heterogene naar homogene laag), ligger, houten afwerking en EPDM-laag. De EPDM-laag is niet verwerkt in het ontwerp omdat de isolerende bijdrage als nihil beschouwd wordt.

De fluxmagnitude figuur (rechts) maakt duidelijk dat het energetisch niveau van de muur lager ligt dan die van de dakconstructie. Dit heeft tot gevolg dat er ter hoogte van de aansluiting een discontinuïteit zichtbaar is. Enerzijds is naar vochtproblematiek deze discontinuïteit geen probleem aangezien de oppervlaktetemperatuur van beide constructiedelen hoog genoeg is om geen vocht risico te verwachten. Dit wordt ook aangetoond door de berekening van de f-factor. Anderzijds is naar het BEN-verhaal toe deze bouwknop energetisch nog niet aanvaardbaar.



Figuur 46: plat dak bestaande toestand in THERM.

Ter hoogte van hoekaansluiting muur met plat dak:

$$f = \frac{12^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,73 > 0,65$$

Aan het oppervlak van het vals plafond:

$$f = \frac{15,8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,86 > 0,65$$

Aan oppervlak van de muur:

$$f = \frac{13,1^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,77 > 0,65$$

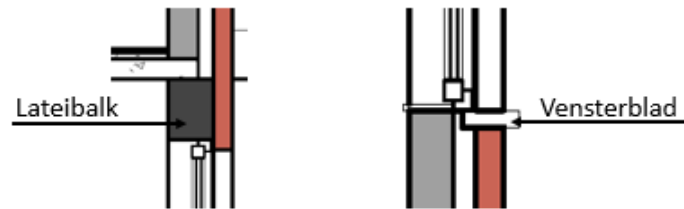
8.2.2 Raamaansluitingen: lateibalk/vensterbank-raam

De aansluiting van raam- en deurprofielen op de isolatie is een cruciaal en belangrijk punt. Indien de aansluiting niet correct is, kunnen er luchtlekken en tochtkieren ontstaan rondom de vensters en deuren. Deze kunnen leiden tot aanzienlijke warmteverliezen en een oncomfortabel behaaglijkheidsgevoel. Ook lateibalken en vensterbalken dienen te allen tijde thermisch onderbroken te zijn, zodat het warmteverlies beperkt blijft en er geen kans op condensatie ontstaat omwille van te lage oppervlaktetemperaturen.

A. Beoordeling volgens uitvoeringsplan

Op het linkerdeel van onderstaande afbeelding (figuur 47) is te zien dat ook hier de lateibalk doorloopt tot tegen de gevel. Doordat de lateibalk de spouw doorbreekt en in contact staat met de gevel is er sprake van een bouwknop. Verder kan de koudebrug verklaard worden doordat de aansluiting van de lateibalk met de buitengevel een kleinere warmteweerstand heeft dan de oorspronkelijke spouwmuur. Ook verhindert de lateibalk een continue aansluiting van het raamprofiel met de spouwmuur of beter tot tegen de isolatie en is er dus geen thermische onderbreking. Zoals geweten kan dit leiden tot aanzienlijke warmteverliezen en ongewenste vocht of schimmel problemen.

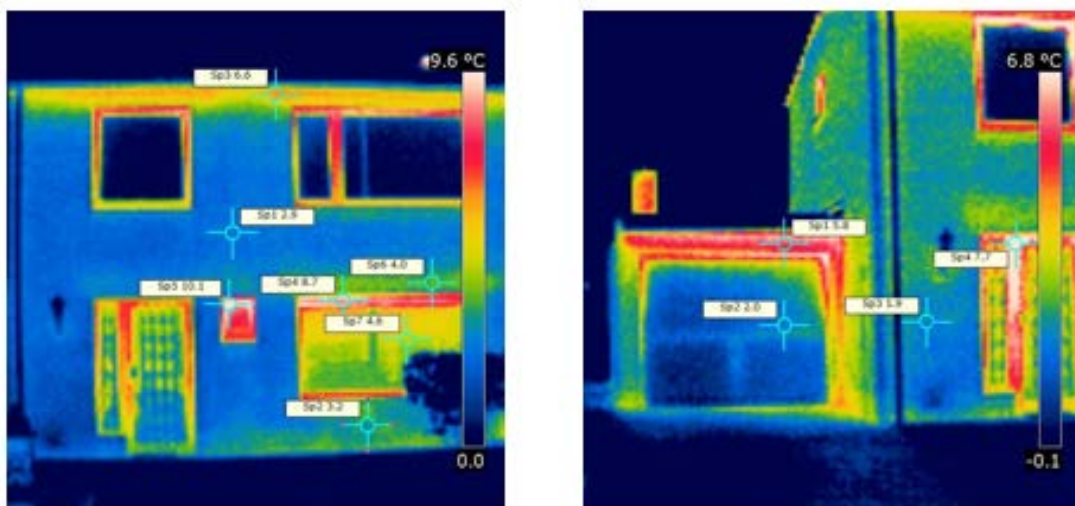
Op het rechtergedeelte van de figuur (figuur 47) is de venster aansluiting langs de onderzijde te zien. Hieruit blijkt dat de onderzijde van het venster geplaatst wordt op het vensterblad. Dit is correct zolang het vensterblad niet tot tegen het binnenspouwblad komt en de ruimte tussen het vensterblad en binnenblad geïsoleerd is. Het betreft een gevoelig punt, omdat het verwarmingselement zich vaak direct onder het raam bevindt en er dus grote warmteverliezen kunnen optreden.



Figuur 47: Lateibalk en vensterblad bestaande toestand.

B. Beoordeling volgens thermografie

Op onderstaande figuur (figuur 48) vertonen de randen rond ramen en deuren een opmerkelijk hogere temperatuur. Hieruit valt te besluiten dat de aansluiting tussen muur en raam- of deurprofiel of tussen profiel en raam niet optimaal is. Dit kan het gevolg zijn van niet thermisch onderbroken raamprofielen of een slechte luchtdichtheid rondom de profielen. Verder valt op, dat de temperatuur ter hoogte van de lateibalk bij de garage opmerkelijk hoger ligt dan de temperatuur van de naaste omgeving. Ook bij de lateibalk van het venster is een hogere temperatuur waar te nemen, doch minder autoritair dan bij de garage. Een mogelijke verklaring is dat de lateibalk niet thermisch onderbroken is en hoogstwaarschijnlijk in rechtstreeks contact staat met het gevelmetselwerk. Deze aanname wordt ook verder gebruikt voor het onderzoek omdat dit de meest negatieve situatie zal zijn.



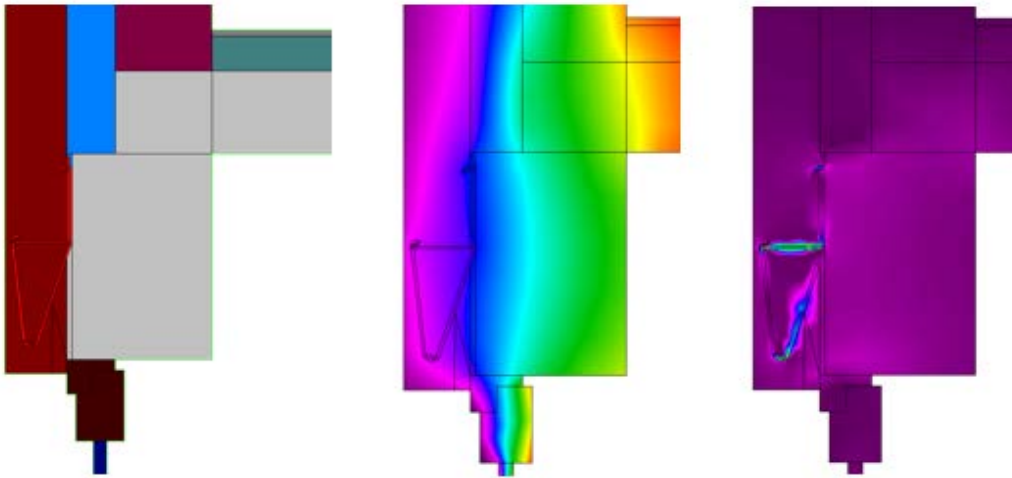
Figuur 48: Infraroodbeeld lateibalk, venster- en deuraansluitingen.

C. Beoordeling volgens Therm-software

Lateibalk

Ter hoogte van de lateibalk is de temperatuur hoger dan aan de rest van het buitenoppervlak, dit wijst op een hoger warmtetransport, dat leidt tot een hoger energetisch verlies (figuur 49). Dit verlies is het grootst daar waar het raamprofiel en het metselwerk elkaar snijden. Er is sprake van een koudebrug ter hoogte van deze kruising. Dit is ook duidelijk waar te nemen in de fluxmagnitudoefiguur. Er is duidelijk een verhoging van temperatuurverschil doorheen de lateibalk net boven het raamprofiel. De spouwhaak geeft in de fluxmagnitudoefiguur ook een duidelijke weergave wat wil

zeggen dat de warmte geleiding hier zeer hoog is. Dit was te verwachten aangezien staal een zeer geleidend materiaal is, doch kan er niet gezegd worden dat de spouwhaak een grote invloed heeft op de totale bouwknoop. Dit is te verklaren door de grote invloed van de lateibalk, deze is minder geleidend als het staal maar veel groter in oppervlakte.



Figuur 49: Lateibalk - raamaansluiting in THERM.

Door het berekenen van de f-factor wordt duidelijk dat er zich niet alleen energetische problemen voor doen maar dat er ook condensatieproblemen optreden. Op beide kritische punten is een ontoelaatbare waarde voor de f-factor waar te nemen. Op deze plaats zullen zich zeer waarschijnlijk vochtproblemen voordoen. Ter hoogte van de lateibalk is dit over een groter oppervlak terwijl er bij de aansluiting van het raamprofiel en de lateibalk er zich een meer lokaal probleem stelt.

Ter hoogte van lateibalk:

$$f = \frac{7,6^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,59 < 0,65$$

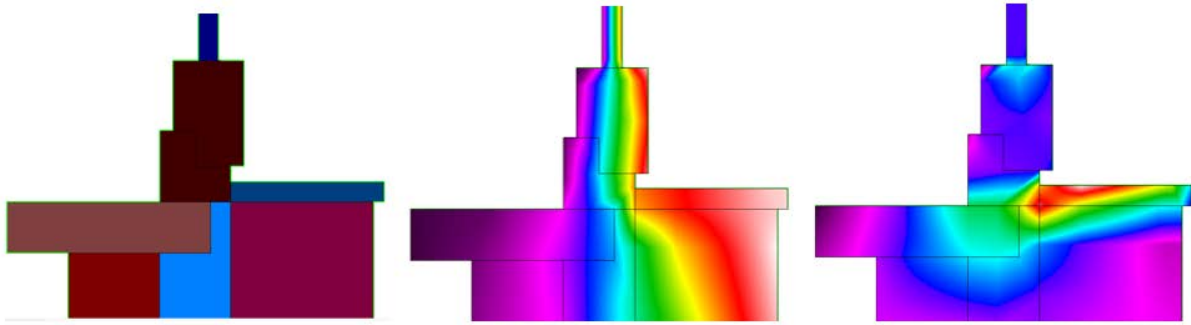
Ter hoogte van aansluiting raamprofiel en lateibalk:

$$f = \frac{3,6^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,45 < 0,65$$

Tijdens het plaatsbezoek zijn er echter geen vochtvlekken of schimmelvorming vastgesteld. Een mogelijke verklaring is dat de oppervlaktetemperaturen van constructieonderdelen in werkelijkheid hoger liggen dan de berekende waarden uit THERM. Dit komt omdat de verwarmingselementen zich net onder de vensters bevinden en dus ook onder de lateibalk. Hierdoor zal een warmteschild ontstaan en is er dus een verhoogde droging van de lateibalk.

Vensterbank

Onderaan het raam is een discontinuïteit waar te nemen ter hoogte van de buitendorpel. De invloed hiervan is eerder gering, in tegenstelling tot de koudebrug ter hoogte van de lateibalk. Dit is te verklaren doordat het gaat over een kleiner oppervlak, de invloed van de koudebrug reikt dus minder ver. Dit is te zien in de fluxmagnitude figuur. Voor de vochtthuishouding kan dit wel problematischer zijn, aangezien er zich een groter temperatuurverschil voordoet met het naastliggend oppervlak. Daarnaast valt ook de discontinuïteit op ter hoogte van het raamprofiel.



Figuur 50: Vensterblad bestaande toestand in THERM.

De f-factor ter hoogte van aansluiting van bovenzijde raamdorpel met het raamprofiel ligt net onder de grens die als aanvaardbaar wordt beschouwd. Er valt wel op te merken op de fluxmagnitudo figuur dat de verandering van temperatuur in de spouw tussen de buitendorpel en het binnenblad rood gekleurd is. Dit wil zeggen dat er een verhoogde temperatuursverandering is wat kan wijzen op inwendige condensatie. Moest de spouw opgevuld worden voor na-isolatie kan het ontwikkelde vocht tussen de dorpel en het binnenblad de isolatie aantasten. Bijkomend wordt er ook onderzocht wat er zou gebeuren moest de buitendorpel tot tegen het binnenblad geplaatst zijn. Dit komt in de praktijk vaak voor omdat dit de plaatsing van de dorpel vergemakkelijkt.

Ter hoogte van aansluiting bovenzijde raamdorpel met raamprofiel:

$$f = \frac{9,2^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,64 < 0,65$$

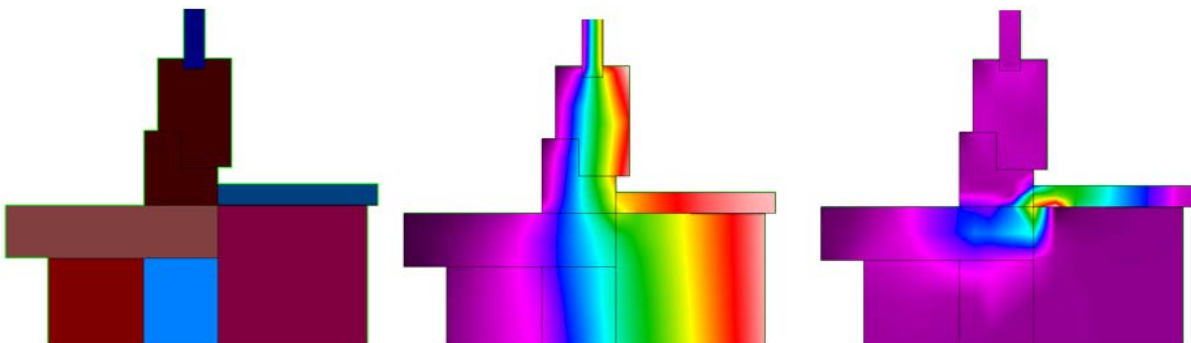
Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{6,2^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,54 < 0,65$$

De aansluiting tussen het raamprofiel en het glas vertoont een groter condensatieprobleem met een f-factor van 0,54. Deze waarde is zeker niet aanvaardbaar en zal zelfs in minder 'extreme' omstandigheden (temperaturen hoger dan -10°C) al zorgen voor condensatieproblemen. Een oorzaak hiervan kan zijn dat het glas tegen het profiel is getekend terwijl in de praktijk het glas doorloopt in het profiel, dit wordt ook bijkomend onderzocht.

Vensterbank praktijk

In de praktijk komt het vaak voor dat vensterbanken tot tegen het binnenblad worden geplaatst. De verklaring hiervoor is dat het de plaatsing vergemakkelijkt aangezien er dan geen rekening gehouden hoeft te worden met de juiste afstand tussen binnenblad en vensterbank. Hieronder wordt dit fenomeen geanalyseerd naar zowel vocht- als warmtehuishouding.



Figuur 51: Praktijk situatie vensterblad in THERM.

Na de aanpassingen in het ontwerp, naar een meer praktijkgericht detail, valt op dat de ingreep twee veranderingen teweeg brengt. De f-factor maakt duidelijk dat de condensatiegevoeligheid aan het oppervlak nog verhoogd is. Energetisch is deze situatie nefast aangezien er een groter warmteverlies zal zijn. Daarnaast is de aansluiting tussen het raamprofiel en het glas naar condensatie toe aanvaardbaar geworden, weliswaar met het laagste comfort. Energetisch is deze situatie ook verbeterd door het meer continue karakter van de verbinding.

Ter hoogte van aansluiting bovenzijde raamdorpel met raamprofiel:

$$f = \frac{7.8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,59 < 0,65$$

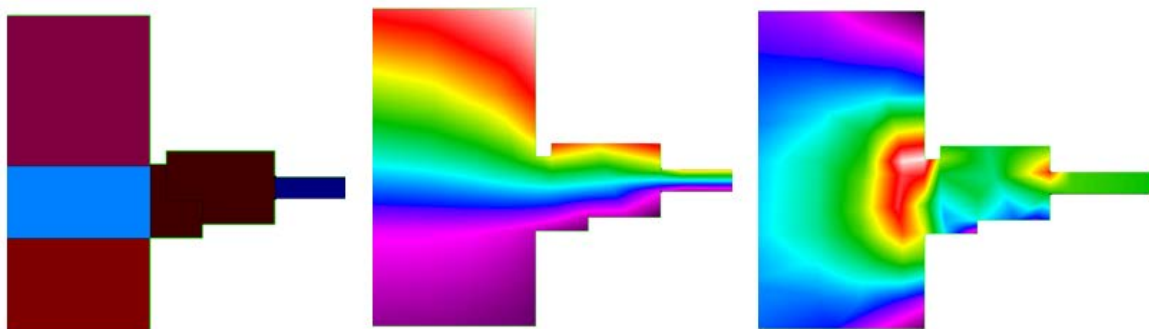
Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{9.5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,65$$

=> aanvaardbaar maar laagste comfort

Zijkant raamaansluiting

De raamaansluiting aan de zijkant van het raam vertoont geen directe tekenen van groot warmteverlies. Er is in de fluxmagnitude figuur wel te zien dat er warmteverlies zal zijn omdat het vensterprofiel direct aansluit op de luchtsponw.



Figuur 52: Zijkant raamaansluiting in THERM.

Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{6.8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,56 < 0,65$$

=> niet aanvaard

Ter hoogte van aansluiting raamprofiel met muur:

$$f = \frac{7.2^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,57 < 0,65$$

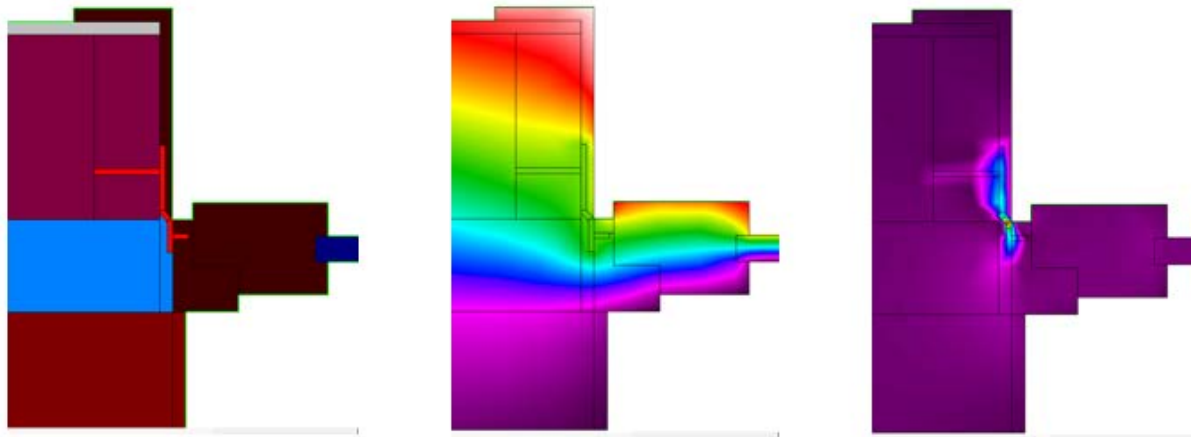
=> niet aanvaard

Uit de f-factor berekening blijkt dat er een duidelijk condensatieprobleem ter hoogte van het raamprofiel optreedt. Dit probleem doet zich voor in zowel de aansluiting met het glas als met de muur, dit is te verklaren door te kijken naar het ontwerp. Hierin is het glas niet doorgetekend en het profiel niet correct aangesloten op de muur.

Zijkant raamaansluiting praktijk

Om een realistischer beeld te schetsen van de bestaande toestand is het ontwerp aangepast naar een meer gedetailleerde en structureel correctere versie. Zo loopt de gevelsteen een tweetal centimeter door over het raamprofiel. Ook is het raamprofiel bevestigd aan het binnenblad met een

stalen profiel en bijhorende bouten. Dit geheel wordt overlapt met een houten omkasting naar binnen toe.



Figuur 53: Detail raamaansluiting in Therm.

Op de fluxmagnitude figuur is duidelijk de hoge geleidbaarheid van het staal te zien. De warmte vindt hier de weg van minste weerstand, waardoor het oppervlak in de buurt van het staal sterk afkoelt. Het gevolg hiervan is dat de f-factor een ontoelaatbaar lage waarde aanneemt. Er is dus sprake van een vochtprobleem over dit oppervlak. Het energetisch aspect is in dit geval minder problematisch aangezien het over een klein oppervlak gaat met een geringe invloedzone. Al kan de algemene isolerende waarde van de bouwknoop niet als goed beschouwd worden. Ter hoogte van de aansluiting van het glas met het raamprofiel is er een toelaatbare f-factor waardoor er geen problemen verwacht worden.

Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{9,9^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,66 > 0,65$$

Ter hoogte van aansluiting raamprofiel met muur:

$$f = \frac{6,8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,56 < 0,65$$

8.3 GLASER BEREKENING

Om te controleren of er inwendige condensatie optreedt in de muur in de bestaande toestand wordt hier een Glaser berekening uitgevoerd.

A. Opbouw structuur

In onderstaande tabel wordt de structuuropbouw weergegeven met van elke laag de dikte, de warmtegeleidingscoëfficiënt en het weerstandsgetal. Verder wordt de diffusieweerstand en warmteweerstand van elke laag berekend, de aangenomen binnen- en buitendampdruk zijn helemaal onderaan weergegeven. De dampdrukken worden constant verondersteld.

Tabel 10: Randvoorwaarden structuuropbouw wand.

Opbouw structuur		Binnen	Pleister	Binnenblad	spouw-lucht	gevelsteen	Buiten
d (m)	-		0,01	0,14	0,07	0,09	-
λ (W/mK)	-		0,9	0,68	0,39	1,26	-
μ	-		11	8	1	13	-
$\mu*d$	-		0,11	1,12	0,07	1,17	-
R (m ² K/W)	0,125		0,01	0,21	0,18	0,07	0,04
z (m/s)	0	5,9E+08	6E+09	3,8E+08	6318000000		
Diffusieconstante N	5400000000		1/s				
Binnendampdruk Pi	1400		Pa	(20°C - 60% RV)			
Buitendampdruk Pe	600		Pa	(3°C - 80% RV)			

B. Maandberekening januari

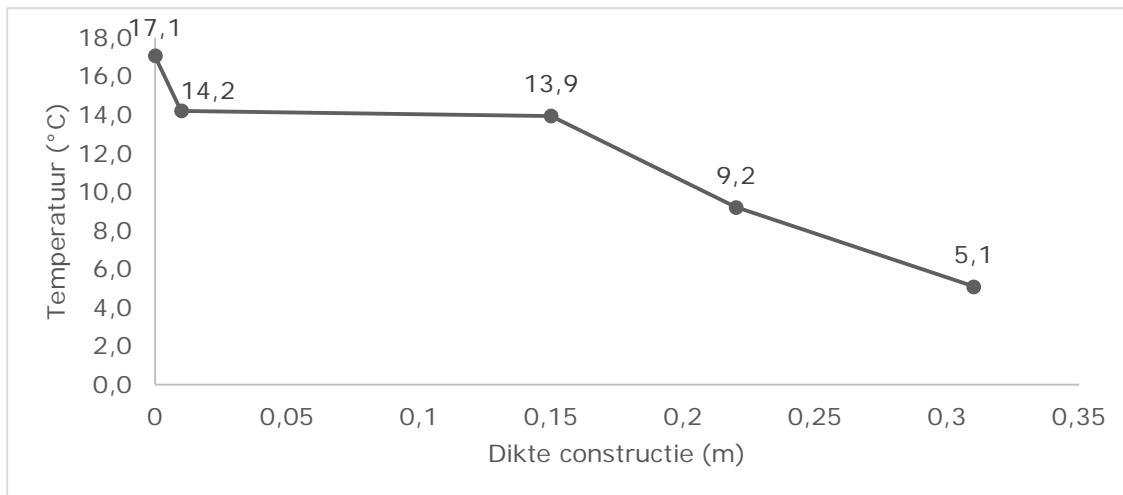
De maandberekening voor januari toont in de linker bovenhoek de warmtestroomdichtheid en de dampstroomdichtheid, deze worden berekend op basis van de warmteweerstand en de dampdiffusieweerstand. Met deze gegevens wordt respectievelijk het temperatuur- en dampdrukverloop over de structuur bepaald. Het verzadigingsdampdrukverloop wordt bepaald a.d.h.v. een tabel (bijlage D) waarbij men voor elke theta de verzadigingsdruk afleest.

Tabel 11: Berekening temperatuur- en dampdrukverloop januari (BT).

Januari					
Warmteweerstand	0,63	m ² K/W	q1	5,79E-08	
warmtestroomdichtheid	22,96	W/m ²	q2	3,16E-08	
dampdiffusieweerstand	1,3E+10	m/s	G	70,53	g/m ² , maand
dampstroomdichtheid	4,5E-08	kg/m ² s			
Temperatuurverloop		Verzadigingsdrukverloop		Dampdrukverloop	
theta 1	17,1	p'1		p1	1284
theta 2	14,2	p'2	1618	p2	1284
theta 3	13,9	p'3	1587	p3	1257
theta 4	9,2	p'4	1163	p4	983
theta 5	5,1	p'5	878	p5	966
theta 6	3,4	p'6	779	p6	679
theta 7	2,5	p'7		p7	679

$\theta_n = \theta_1 - q * \sum_{i=1}^{n-1} R_i$
→
 $p_n = p - q * \sum_{i=1}^{n-1} Z_i$

Het temperatuurverloop doorheen de bestaande constructie wordt weergegeven in onderstaande grafiek. Hierop is duidelijk de overgang van de verschillende constructie elementen te zien.

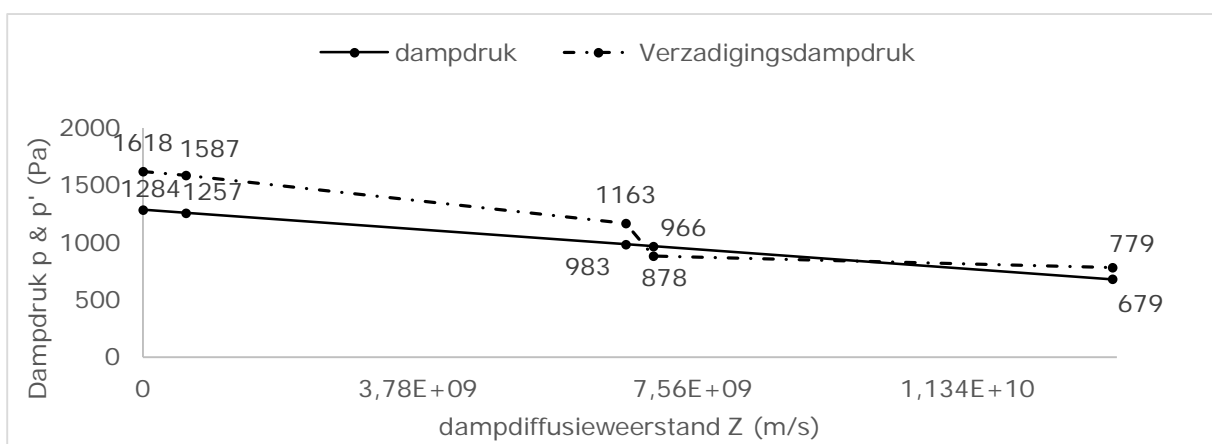


Figuur 54: Temperatuurverloop januari (BT).

Het dampdrukverloop voor de maand januari wordt weergegeven in onderstaande grafiek. De aangeduide punten geven de dampdruk weer, op een scheidingsoppervlak van twee materialen in de structuur. Merk op dat het reële dampdrukverloop lineair verloopt. Verder vertoont het verzadigingsdampdrukverloop een knik ter hoogte van de binnenzijde van de gevelsteen, waardoor deze onder de reële dampdruk komt te liggen. Aangezien dit praktisch niet mogelijk is, treedt er ter hoogte van dit punt condensatie op, te wijten aan de kleine diffusieweerstand en de sterke temperaturdaling.

De hoeveelheid condensatie wordt bepaald door het verschil van de twee vochtstromen. De vochtstroom wordt bepaald door het verschil van de dampdrukspanning tussen de reële dampdruk en verzadigingsdampdruk, te delen door de som van de diffusieweerstanden. De verzadigingsdampdruk is degene die die gelegen is onder de reële dampdruk.

$$G = \left(\frac{(1284 - 878)}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} - \frac{(878 - 679)}{(Z_4)} \right) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 31 \cdot 1000 = 70,53 \text{ g/m}^2 \text{ maand}$$



Figuur 55: Dampdrukverloop januari bestaande toestand (BT).

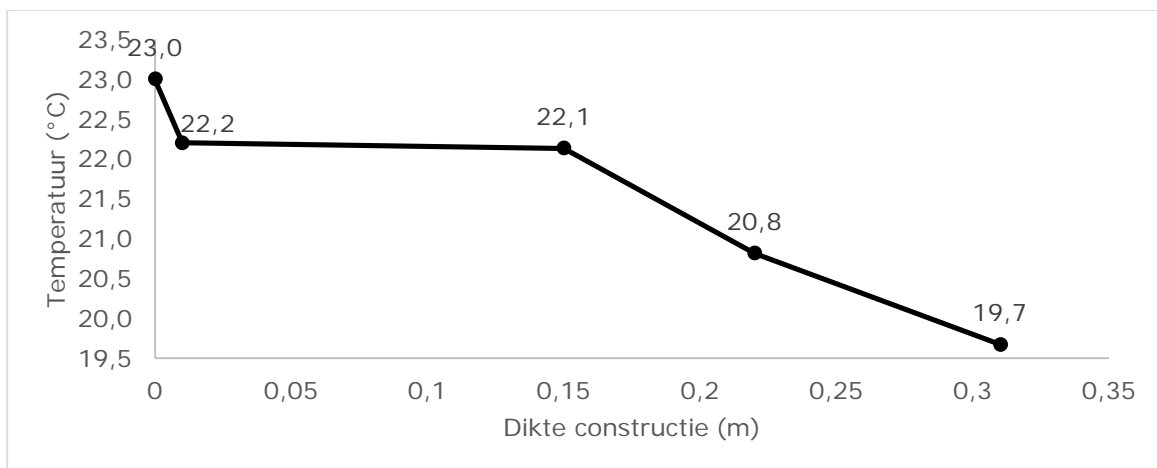
C. Maandberekening juli

De maandberekening voor juli toont dat de oppervlaktetemperaturen opmerkelijk hoger liggen dan in de maand januari. Deze hoge temperaturen resulteren dan ook in hogere verzadigingsdampdrukken. Gemiddeld zal de verzadigingsdruk in deze maand niet beneden de reële dampdruk liggen, wat resulteert in een maandelijkse droging.

Tabel 12: Berekening temperatuur- en dampdrukverloop juli (BT).

Juli					
Warmteweerstand	0,63	m ² K/W	q1	-8,18E-08	
warmtestroomdichtheid	6,38	W/m ²	q2	1,21E-07	
dampdiffusieweerstand	1,3E+10	m/s	G	-542,89	g/m ² , maand
dampstroomdichtheid	1,4E-08	kg/m ² s			
Temperatuurverloop			Verzadigingsdrukverloop		Dampdrukverloop
theta 1	23,0		p1		p1 1720
theta 2	22,2		p2	2675	p2 1720
theta 3	22,1		p3	2659	p3 1712
theta 4	20,8		p4	2455	p4 1625
theta 5	19,7		p5	2294	p5 1620
theta 6	19,2		p6	2224	p6 1530
theta 7	19,0		p7		p7 1530

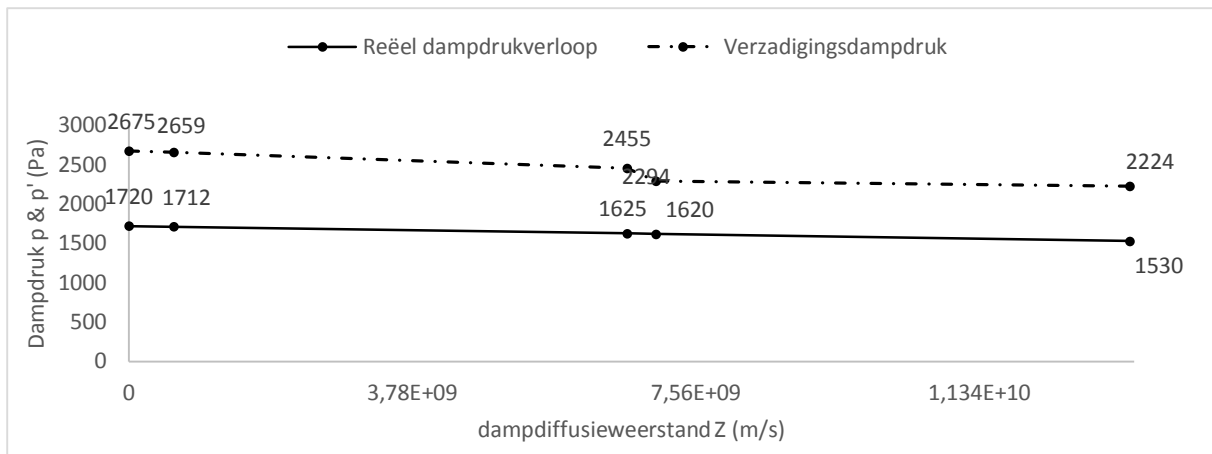
Het temperatuurverloop doorheen de constructie in de maand juli, toont ook nu duidelijk de overgang van de verschillende materialen. Merk op dat het temperatuurverschil nu slechts 3,3°C is i.p.v. 12°C van in de maand januari.



Figuur 56: Temperatuurverloop juli (BT).

Merk op dat de verzadigingsdampdruk in de maand juli overal boven het reëel dampdrukverloop ligt. Dit wil zeggen dat er geen condensatie zal optreden, de berekening toont dan ook een droging van 542 g/m² per maand aan.

$$G = \left(\frac{(1720 - 2294)}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} - \frac{(2294 - 1500)}{(Z_4)} \right) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 31 \cdot 1000 = -542,89 \text{ g/m}^2\text{maand}$$



Figuur 57: Dampdrukverloop juli (BT).

D. Overzichtstabel

De overzichtstabel toont voor elke maand:

- de gemiddelde binnen- en buitentemperatuur,
- de binnen- en buitendampdruk,
- de oppervlaktetemperatuur van het mogelijke condensatievlak,
- de verzadigingsdampdruk op het condensatievlak,
- de reële dampdruk op het condensatievlak,
- de hoeveelheid condensatie of droging,
- de hoeveelheid gecumuleerd condensaat.

De tabel toont aan dat de gecumuleerde hoeveelheid condensaat op jaarbasis -2081,6 g/m² per jaar bedraagt. Dit betekent dat er globale droging is en de kans op schade door toedoen van vocht klein is.

Tabel 13: Samenvattende tabel Glaser (BT).

	θ_i	$\theta_{e^{**}}$	P_i	P_e	θ_c	P'_c	P_c	K	D	V
Januari	17,1	2,5	1284	679	5,1	878	966	70,5	0,0	70,5
Februari	17,5	3,6	1313	735	6,0	935	1009	59,2	0,0	59,2
Maart	18,5	6,5	1390	885	8,6	1117	1124	5,8	0,0	5,8
April	19,7	9,8	1478	1057	11,6	1365	1256	0,0	-87,5	-87,5
Mei	21,7	15,2	1621	1337	16,4	1864	1471	0,0	-316,3	-316,3
Juni	22,7	18,1	1698	1487	18,9	2182	1587	0,0	-479,3	-479,3
Juli	23,0	19,0	1720	1530	19,7	2294	1620	0,0	-542,9	-542,9
Augustus	22,6	17,7	1687	1466	18,6	2142	1570	0,0	-460,4	-460,4
September	21,7	15,2	1621	1337	16,4	1864	1471	0,0	-316,3	-316,3
Oktober	19,7	9,8	1478	1057	11,6	1365	1256	0,0	-87,5	-87,5
November	18,4	6,1	1379	864	8,3	1094	1108	11,0	0,0	11,0
December	17,3	3,2	1302	713	5,7	915	992	62,0	0,0	62,0
									V	-2081,6

9 TOEPASSING RENOVATIEMAATREGELEN

In dit hoofdstuk worden verschillende renovatiemaatregelen samengevoegd in een renovatiematrix. Deze matrix biedt verschillende alternatieven aan voor elke maatregel en heeft als opzet om de BEN-eis te behalen via verschillende routes. De gekozen weg is afhankelijk van de kostprijs en ingrijpendheid van een maatregel en de wil van de bewoner om de BEN-eis te behalen. De renovatiematrix is weergegeven in bijlage A.

Daarna volgt een uiteenzetting van het gefaseerd renoveren, waarin de verschillende fases uitgelegd en besproken worden. Het doel hiervan is mensen aan te zetten tot renoveren ook als zij niet de middelen hebben om een complete renovatie ineens uit te voeren.

Aansluitend worden de complete renovatiescenario's besproken. Omdat een volledige uitwerking van de verschillende routes tot de BEN-eis buiten het bereik van deze thesis ligt, beperken we ons tot het geven van enkele varianten. Deze varianten hebben enkel betrekking op isolatieverbeteringen van een woning. Ze zijn gerangschikt op basis van eenvoudig toepasbare maatregelen tot meer ingrijpende maatregelen.

Voor de verschillende scenario's, wordt kort besproken welke verschillende maatregelen en welke stappen ondernomen zijn. Verder wordt aangetoond wat de impact van deze maatregelen is op het energetisch niveau van de woning. De verschillende renovatiescenario schema's zijn terug te vinden in de bijlage.

Tot slot wordt de impact die een afzonderlijke renovatiemaatregel heeft op de behandelde bouwknopen uit het vorige hoofdstuk besproken.

9.1 DEELRENOVATIES

9.1.1 Gefaseerd renoveren

A. Fase 1

In de eerste fase wordt er best gekozen voor het isoleren van het hellend dak. Aangezien hier de grootste warmteverliezen optreden, de renovatiemaatregel weinig hinder veroorzaakt en de kostprijs beperkt blijft. Aangeraden is om de sandwich dakpanelen te verkiezen boven de glaswolvlokken, de reden hiervoor is een gelijkmatigere isolatielaag en een verbetering van het uitzicht van de dakstructuur. Daarnaast kan er in een latere fase ook een betere aansluiting gemaakt worden met de buitengevelisolatie. Een nadeel is dat de zolderverdieping mee opgewarmd wordt terwijl dit geen leefruimte is, het volume van de zolderverdieping is weliswaar beperkt.

- Dakisolatie: 10 – 14 cm sandwich dakpaneel ($R = 4,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Tabel 14: U-waarden constructiedelen renovatiefase 1.

U-waarden constructiedelen		
	<u>Berekend</u>	<u>BEN</u>
Muur	1,93	≠ 0,24 W/m ² .K
Hellend dak	0,22	< 0,24 W/m ² .K
Plat dak	1,3	≠ 0,24 W/m ² .K
Vloer	0,71	≠ 0,24 W/m ² .K
Vensters	2,97	≠ 1,5 W/m ² .K

Door het isoleren van het hellend dak met een sandwichpaneel daalt de U-waarde tot onder vooropgestelde doestelling, de BEN-norm. Naar K-peil toe zorgt de ingreep voor een aanzienlijke daling van 30 K-punten, wat het K-peil op een niveau van K132 brengt.

Tabel 15: Samenvatting K-peil na renovatiefase 1.

K eisen: fase 1	
K-peil	132
Gemiddelde U-waarde	1,42 W/m ² .K
Verliesoppervlakte	288,57 m ²
Beschermd volume	359,5 m ³
Compactheid	1,25 m
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies	385,95 W/K
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen	24,83 W/K
Totale warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie	410,78 W/K

B. Fase 2

In de tweede fase wordt er overgegaan naar het na-isoleren van de spouwmuur met EPS-parels. Deze keuze is gemaakt omdat het warmteverlies door de muren het tweede grootste verliesaandeel heeft. Logischer wijs wordt ook de garage meegenomen in deze ingreep. Daarnaast wordt ook aangeraden om gelijktijdig de ramen te vervangen, zowel het profiel als het glas. Dit omwille van het feit dat bij de vervanging van de raamprofielen, na het opvullen van de spouw, er een mogelijk risico is op het loskomen van de spouwmuurisolatie. Hierdoor zou de aansluiting van de raamprofielen niet gewaarborgd blijven.

- Dakisolatie: 10 – 14 cm sandwich dakpaneel ($R = 4,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Beglazing: verbeterd dubbelglas ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Profielen: nieuwe PVC-profielen met ventilatieroosters ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Spouwmuurisolatie: 7 cm EPS-parels ($\lambda = 0.034 \text{ W/mK}$)

Tabel 16: U-waarden constructiedelen renovatiefase 2.

U-waarden constructiedelen		
	<u>Berekend</u>	<u>BEN</u>
Muur	0,43	≠ 0,24 W/m ² .K
Hellend dak	0,22	< 0,24 W/m ² .K
Plat dak	1,3	≠ 0,24 W/m ² .K
Vloer	0,71	≠ 0,24 W/m ² .K
Vensters	1,74	≠ 1,5 W/m ² .K

De spouwmuurisolatie brengt de U-waarde van de muur tot op 0,43 W/m².K, deze waarde ligt nog steeds boven de vooropgestelde BEN-norm. De spouwmuurisolatie is echter beperkt tot maximaal 7 cm, de breedte van de spouw. Er kan ook vastgesteld worden dat de vensters eveneens niet voldoen aan de BEN-eis. Desondanks daalt het K-peil toch drastisch met 60 K-punten.

Tabel 17: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 2.

K eisen: fase 2	
K-peil	72
Gemiddelde U-waarde	0,78 W/m ² .K
Verliesoppervlakte	288,57 m ²
Beschermd volume	359,5 m ³
Compactheid	1,25 m
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies	200,56 W/K
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen	24,83 W/K
Totale warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie	225,39 W/K

C. Fase 3

De volgende fasering in de renovatie is het isoleren van het plat dak. Deze maatregel komt pas in de derde fase aanbod omdat het isoleren van het plat dak niet op dezelfde wijze als het hellend dak wordt uitgevoerd. Hierdoor is het niet evident om het isoleren van het hellend dak en het plat dak als één maatregel te zien. Het gaat tevens over een relatief kleine oppervlakte en de garage is niet voor elke woning een verwarmde ruimte. Daardoor is het meer dan waarschijnlijk dat het isoleren van het plat dak pas in de derde fase wordt uitgevoerd.

- Dakisolatie: 10 – 14 cm sandwich dakpaneel ($R = 4,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Beglazing: verbeterd dubbelglas ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Profielen: nieuwe PVC-profielen met ventilatieroosters ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Spouwmuurisolatie: 7 cm EPS-parels ($\lambda = 0.034 \text{ W/mK}$)
- Plat dak isolatie: 8 cm drukvaste PIR-platen ($\lambda = 0.024 \text{ W/mK}$)

Tabel 18: U-waarden constructiedelen renovatiefase 3.

U-waarden constructiedelen		
	<u>Berekend</u>	<u>BEN</u>
Muur	0,43	≠ 0,24 $\text{W/m}^2\text{.K}$
Hellend dak	0,22	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{.K}$
Plat dak	0,24	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{.K}$
Vloer	0,71	≠ 0,24 $\text{W/m}^2\text{.K}$
Vensters	1.74	≠ 1,5 $\text{W/m}^2\text{.K}$

Het isoleren van het plat dak zorgt ervoor dat de gehele dakoppervlakte voldoet aan de BEN-eis. Dit is een positieve impuls aangezien het grootste aandeel van het warmteverlies zich hier voordoet. Het K-peil zakt verder tot een peil van K66, wat al bestempeld kan worden als aanvaardbaar.

Tabel 19: Samenvatting K-peil na renovatiefase 3.

K eisen: fase 3	
<i>K-peil</i>	66
<i>Gemiddelde U-waarde</i>	0,71 $\text{W/m}^2\text{.K}$
<i>Verliesoppervlakte</i>	288,57 m^2
<i>Beschermd volume</i>	359,5 m^3
<i>Compactheid</i>	1,25 m
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies</i>	179,94 W/K
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen</i>	24,83 W/K
<i>Totale warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie</i>	204,77 W/K

D. Fase 4

In de laatste fase wordt er buitengevelisolatie toegevoegd aan de gebouwschil. Hiermee wordt er getracht om de gebouwschil tot BEN te brengen. Buitengevelisolatie is gekozen boven binnengevelisolatie voor zowel bouwfysische als esthetische redenen. Aangezien de bestaande gevels vaak verouderd of slecht onderhouden zijn. Ook kan er met buitengevelisolatie een performantere aansluiting gemaakt worden met aangrenzende isolatielagen.

Tabel 20: U-waarden constructiedelen renovatiefase 4.

U-waarden constructiedelen			
	<u>Berekend</u>		<u>BEN</u>
Muur	0,23	<	0,24 W/m ² .K
Hellend dak	0,22	<	0,24 W/m ² .K
Plat dak	0,24	<	0,24 W/m ² .K
Vloer	0,71	≠	0,24 W/m ² .K
Vensters	1,74	≠	1,5 W/m ² .K

Door het aanbrengen van de buitengevelisolatie voldoet de U-waarde van de muur aan de BEN-eis. Hierdoor voldoen alle opake constructiedelen aan de BEN-norm. Het K-peil is verder gedaald tot een waarde van K59, deze waarde behaalt niet de beoogde K30 van de BEN-norm. Desondanks kan er op een vrij eenvoudige technische en financieel haalbare manier een relatief energiezuinig K-peil bereikt worden. Dit kan gefaseerd worden uitgevoerd en zorgt dat de woning te allen tijde bewoonbaar blijft en er een minimum aan hinder wordt ondervonden. Deze fasering geeft de bewoner de tijd en ruimte om zowel op menselijk als financieel vlak de renovatie op eigen tempo uit te voeren.

Tabel 21: Samenvatting K-peil na renovatiefase 4.

K eisen: fase 4	
K-peil	59
Gemiddelde U-waarde	0,63 W/m ² .K
Verliesoppervlakte	288,57 m ²
Beschermd volume	359,5 m ³
Compactheid	1,25 m
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies	158,05 W/K
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen	24,83 W/K
Totale warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie	182,88 W/K

9.1.2 Renovatiescenario 1

In de eerste variant is gekozen voor eenvoudig toe te passen maatregelen, waarvan de kostprijs laag is en de overlast voor de bewoners minimaal. Deze variant heeft enkel als doel het globale isolatieniveau van de woning te verbeteren. Het zijn maatregelen die bij een renovatie vaak als eerste naar voren komen en die eenvoudig gefaseerd uit te voeren zijn. De volgende maatregelen worden toegepast:

- Zoldervloer isolatie: 20 cm cellulose of glaswolvlokken ($\lambda = 0.034 \text{ W/mK}$)
- Plat dakisolatie: 8 cm drukvaste PIR-platen ($\lambda = 0.024 \text{ W/mK}$)
- Spouwmuurisolatie: 7 cm EPS-parels ($\lambda = 0.034 \text{ W/mK}$)
- Beglazing: verbeterd dubbelglas ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Profielen: bestaande profielen behouden

Het toepassen van de maatregelen zorgt voor een verandering van de indicatieve U-waarden van de verschillende constructiedelen. Onderstaande tabel toont de veranderingen en vergelijkt ze met de BEN-eis. Uit deze tabel blijkt dat niet aan de BEN-eis voor muren en vensters wordt voldaan. De oorzaak is de beperking van de isolatiedikte door de spouwbreedte en het behoud van de bestaande raamprofielen. Voor de dakconstructies wordt de BEN-eis wel behaald, dit is mogelijk doordat er geen beperking in geometrie is, waardoor er voldoende dik geïsoleerd kan worden. Vloerisolatie komt bij deze variant niet aan bod en voldoet vanzelfsprekend niet.

Tabel 22: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 1.

U-waarden constructiedelen		
	Berekend	BEN
Muur	0,43	$\not\leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{.K}$
Hellend dak	0,22	$< 0,24 \text{ W/m}^2\text{.K}$
Plat dak	0,24	$< 0,24 \text{ W/m}^2\text{.K}$
Vloer	0,71	$\not\leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{.K}$
Vensters	1,64	$\not\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{.K}$

Op vlak van K-peil zorgen de verbeteringen van de gebouwschil voor een daling van 99 K-punten t.o.v. de oorspronkelijke toestand. Hierdoor is het globaal K-peil na de renovatie gereduceerd tot K63. Merk op dat de verliesoppervlakte en het beschermd volume gedaald zijn t.o.v. de bestaande toestand. Deze daling is te wijten aan het isoleren van de zoldervloer i.p.v. het hellend dak. Toch zorgt deze daling niet voor een verbetering van de compactheid. Dit komt door de kleinere oppervlakte winst in verhouding met de grotere volume winst. De samenvatting van het K-peil is terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 23: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 1.

K eisen: situatie 1 (zoldervloer + platdak + EPS-parels + U 1,1 glas bestaand profiel)	
<i>K-peil</i>	63,00
<i>Gemiddelde U-waarde</i>	0,66 $\text{W/m}^2\text{.K}$
<i>Verliesoppervlakte</i>	285,70 m^2
<i>Beschermd volume</i>	330,24 m^3
<i>Compactheid</i>	1,16 m
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies</i>	165,20 W/K
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen</i>	23,36 W/K
<i>Totale warteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie</i>	188,56 W/K

9.1.3 Renovatiescenario 2

De tweede variant beschrijft eveneens relatief eenvoudig toe te passen maatregelen. Wel zal de kostprijs en de impact op overlast van deze maatregel iets hoger liggen dan de eerste variant. Dit komt vooral door de meer ingrijpende maatregel voor dakisolatie en het plaatsen van nieuwe raamprofielen. De gekozen maatregelen zijn:

- Dakisolatie: 10 – 14 cm sandwich dakpaneel ($R = 4,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Plat dakisolatie: 8 cm drukvaste PIR-platen ($\lambda = 0.024 \text{ W/mK}$)
- Spouwmuurisolatie: 7 cm EPS-parels ($\lambda = 0.034 \text{ W/mK}$)
- Beglazing: verbeterd dubbelglas ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Profielen: nieuwe PVC-profielen met ventilatie roosters ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Door het toepassen van de maatregelen uit het tweede scenario, blijkt dat de U-waarde voor de vensters nadeliger wordt t.o.v. het eerste scenario. Dit is te verklaren doordat de nieuwe profielen voorzien zijn van ventilatieroosters, wat een negatieve invloed heeft op de totale U-waarde van het venster. Toch zijn deze ventilatieroosters noodzakelijk om een goede luchtkwaliteit te garanderen. Zeker wanneer de gebouwschil volledig geïsoleerd wordt en hierdoor de luchtdichtheid van de woning sterk verbeterd. De indicatieve U-waarden van het tweede renovatiescenario zijn terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 24: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 2.

U-waarden constructiedelen		
	<u>Berekend</u>	<u>BEN</u>
Muur	0,43	≠ 0,24 W/m ² .K
Hellend dak	0,22	< 0,24 W/m ² .K
Plat dak	0,24	< 0,24 W/m ² .K
Vloer	0,71	≠ 0,24 W/m ² .K
Vensters	1,74	≠ 1,5 W/m ² .K

Ondanks dat de U-waarden van de vensters, de verliesoppervlakte en de warmteoverdracht door transmissie in dit scenario licht stijgt, is er toch geen verandering van het K-peil. Dit is te wijten aan de stijgende compactheid van de woning. Het K-peil van het tweede renovatiescenario bedraagt ook K63, dit is eveneens een daling van 99 K-punten t.o.v. de oorspronkelijke toestand. De samenvatting van het K-peil is terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 25: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 2.

K eisen: situatie 2 (kingspin dakpaneel + platdak + EPS-parels + U 1,1 glas PVC)	
<i>K-peil</i>	63,00
<i>Gemiddelde U-waarde</i>	0,68 W/m ² .K
<i>Verliesoppervlakte</i>	288,57 m ²
<i>Beschermd volume</i>	359,50 m ³
<i>Compactheid</i>	1,25 m
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies</i>	171,53 W/K
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen</i>	24,83 W/K
<i>Totale warteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie</i>	196,35 W/K

9.1.4 Renovatiescenario 3

Variante drie is een meer ingrijpende maatregel, wat als logisch gevolg heeft dat de kostprijs en overlast voor de bewoners hoger ligt. Hierbij wordt na het opvullen van de spouw ook buitengevelisolatie geplaatst. Dit heeft het voordeel dat de BEN-eis voor muren behaald wordt en dat een aansluiting met verticale randisolatie (vloer) mogelijk is. Het nadeel is dat de muuropbouw dikker wordt en de aansluiting met de naastliggende woning moeilijker wordt.

- Dakisolatie: 10 – 14 cm sandwich dakpaneel ($R = 4,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Plat dakisolatie: 8 cm drukvaste PIR-platen ($\lambda = 0.024 \text{ W/m.K}$)
- Spouwmuurisolatie: 7 cm EPS-parels ($\lambda = 0.034 \text{ W/m.K}$)
- Buitengevelisolatie: 6 cm EPS-isolatieplaat met steenstrips ($\lambda = 0.032 \text{ W/m.K}$)
- Beglazing: drievoudige beglazing ($U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Profielen: nieuwe PVC-profielen met ventilatieroosters ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Vloerisolatie: XPS-platen tot 1m diep onder maaiveld ($\lambda = 0.036 \text{ W/m.K}$)

De berekeningen uit de EPB-software tonen aan dat wanneer men na spouwisolatie ook buitengevelisolatie toepast, het mogelijk is om de opgelegde U-waarde van $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$ te behalen. Om dit te bereiken moeten de EPS-isolatieplaten minimum 6 cm dik zijn en moeten ze bevestigd worden met thermisch onderbroken ankers op het bestaande metselwerk. Merk op dat door de plaatsing van drievoudige beglazing wel aan de U-normwaarde voor vensters voldaan is. Verder wordt door het plaatsen van verticale randisolatie de U-waarde van de vloer bijna gehalveerd. De indicatieve U-waarden voor elk constructiedeel zijn terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 26: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 3.

U-waarden constructiedelen		
	<u>Berekend</u>	<u>BEN</u>
Muur	0,23	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Hellend dak	0,22	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Plat dak	0,24	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Vloer	0,46	≠ 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Vensters	1,48	< 1,5 $\text{W/m}^2\text{K}$

Door het toepassen van bovenstaande maatregelen, waardoor de schildelen die in contact staan met de buitenomgeving allen geïsoleerd worden, is het K-peil gedaald tot K46. In vergelijking met de oorspronkelijke toestand is dit een daling van 116 K-punten, in vergelijking met de vorige toestand een daling van 17 K-punten. De samenvatting van het K-peil is terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 27: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 3.

K eisen: situatie 3 (kingspin dakpaneel + platdak + EPS-parels + U 0,6 glas PVC + buitengevel)	
<i>K-peil</i>	46,00
<i>Gemiddelde U-waarde</i>	0,50 $\text{W/m}^2\text{K}$
<i>Verliesoppervlakte</i>	288,57 m^2
<i>Beschermd volume</i>	359,50 m^3
<i>Compactheid</i>	1,25 m
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies</i>	120,81 W/K
<i>Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen</i>	24,31 W/K
<i>Totale warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie</i>	145,11 W/K

9.1.5 Renovatiescenario 4

De vierde variant is de meest ingrijpende en duurste renovatievariant. Hierbij wordt het dak vervangen door sandwich dakelementen en wordt de buitengevel afgebroken tot op het binnenspouwblad. Ook nu wordt verticale randisolatie en isolatieplaten met steenstrips geplaatst. Het voordeel ten opzichte van de vorige variant is dat de nieuwe muuropbouw niet breder wordt als de oude en een perfecte aansluiting met naastliggende woning mogelijk is. Verder wordt in deze variant ook vloerisolatie geplaatst, wat voor een verdere K-peil daling richting de normwaarde moet zorgen.

- Dakisolatie: 10 – 14 cm sandwich dakpaneel ($R = 4,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Plat dakisolatie: 8 cm drukvaste PIR-platen ($\lambda = 0.024 \text{ W/m.K}$)
- Buitengevelisolatie: 14 cm EPS-isolatieplaat met steenstrips ($\lambda = 0.032 \text{ W/m.K}$)
- Beglazing: drievoudige beglazing ($U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Profielen: nieuwe PVC-profielen met ventilatieroosters ($U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Vloerisolatie: XPS-platen tot 1m diep onder maaiveld ($\lambda = 0.036 \text{ W/m.K}$)
- Vloerisolatie: 6 cm gespoten PUR ($\lambda = 0.027 \text{ W/m.K}$)

Doordat nu ook vloerisolatie wordt toegepast, voldoet elk onderdeel van de gebouwschil aan de normwaarde voor BEN. Om aan deze normwaarde te geraken zal er minimum 6 cm gespoten PUR geplaatst moeten worden. Hiervoor dient men eerst de bestaande vloer en dekkingsvloer uit te breken tot op de funderingsplaat, waarna de isolatie gespoten kan worden. Om de vloeropbouw in hoogte te beperken kan gekozen worden voor een vezelversterkte chape, hierdoor kan de chape hoogte, beperkt worden tot minimum 3 cm. De onderstaande tabel toont de indicatieve U-waarden van het vierde renovatiescenario.

Tabel 28: U-waarden constructiedelen renovatiescenario 4.

U-waarden constructiedelen		
	<u>Berekend</u>	<u>BEN</u>
Muur	0,24	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Hellend dak	0,22	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Plat dak	0,24	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Vloer	0,23	< 0,24 $\text{W/m}^2\text{K}$
Vensters	1,48	< 1,5 $\text{W/m}^2\text{K}$

Uit de EPB-berekening blijkt dat na het toepassen van vloerisolatie een K-peil van K42 bereikt wordt. Dit is slechts 2 K-punten hoger als de huidige EPB-eis (2015) en 12 K-punten hoger als de BEN-eis. Hierbij valt op te merken, dat de bouwknopen nog forfaitair zijn ingerekend. Een goede detaillering van de bouwknopen, waardoor deze allen EPB-aanvaard worden, zou dus leiden tot een K-peil van K35. De samenvatting van het bereikte K-peil na het vierde renovatiescenario is terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 29: Samenvatting K-peil na renovatiescenario 4.

K eisen: situatie 4 (kingspin dakpaneel + platdak + U 1,1 glas PVC + buitengevel + vloer)	
K-peil	42,00
Gemiddelde U-waarde	0,46 $\text{W/m}^2\text{K}$
Verliesoppervlakte	288,57 m^2
Beschermd volume	359,50 m^3
Compactheid	1,25 m
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de scheidingsconstructies	104,57 W/K
Warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie doorheen de bouwknopen	27,48 W/K
Totale warteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie	132,05 W/K

9.2 BOUWKNOPEN ANALYSE: INVLOED RENOVATIEMAATREGELEN

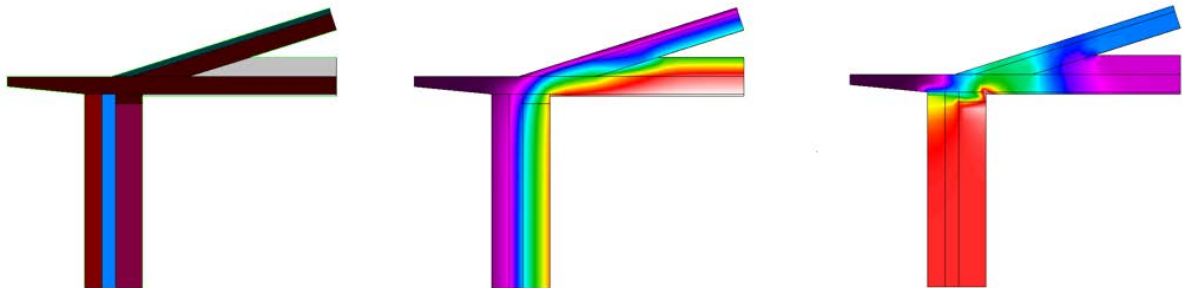
Eerder werden al de verschillende renovatiemaatregelen en de optredende bouwknoppen voor het woningtype verklaard en aangetoond. In wat volgt trachten we te onderzoeken welke invloed een renovatiemaatregel heeft op een bestaande bouwknoop en welk effect het heeft op het energetisch niveau.

9.2.1 Dakisolatie

A. Hellend dak: isoleren van zoldervloer

Als eerste maatregel die toegepast wordt, is er gekozen voor het isoleren van de zoldervloer met glaswolvlokken. De keuze voor dakisolatie is te verklaren omdat er via het dak algemeen het grootste energetisch verlies optreedt, daarbij is het isoleren van een dak relatief goedkoop t.o.v. andere maatregelen. De keuze voor glaswolvlokken is te verantwoorden omdat er geen directe toegang mogelijk is naar de zolder. Deze is afgewerkt met gipskartonplaten en heeft nergens een toegangsluik tot de zolder. Omwille van deze reden is het onmogelijk om de zolder te isoleren met drukvaste isolatieplaten of rollen uit minerale wol. Het dak kan dus enkel via de buitenzijde geïsoleerd worden door het inblazen van glaswolvlokken. Hiervoor dient de dakbedekking te worden onderbroken en kan langs deze opening het isolatiemateriaal worden ingebracht. De keuze voor glaswolvlokken en de gedetailleerde uitleg van uitvoering werd al besproken in 3.2.2.

Uit de berekening in Therm na de renovatiemaatregel blijkt, dat de temperatuur aan de bovenkant van de spant gedaald is met 2.4°C. Deze temperatuurdaling wil zeggen dat er minder warmte verloren gaat naar de zolder. In de fluxmagnitude figuur is dit te zien door de 'koudere' paarse kleur, wat wijst op een geringere warmtestroom. Dit is energetisch een positieve ontwikkeling aangezien de zolder niet in gebruik is en het opwarmen van de zolder verloren warmte is. Ook de f-factor toont aan dat het comfort verbetert, de oppervlaktetemperatuur stijgt en de kans op condensatie daalt. De waarde van de f-factor ligt zelfs overal boven de grenswaarde, er is dus geen kans op condensatie.



Figuur 58: Invloed zoldervloerisolatie op dak-muuraansluiting.

In bovenhoek bij aansluiting muur met spant:

$$f = \frac{13.5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,78 > 0,65$$

Ter hoogte van bovenkant spant:

$$f = \frac{5.8^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})} = 0.95 > 0,65$$

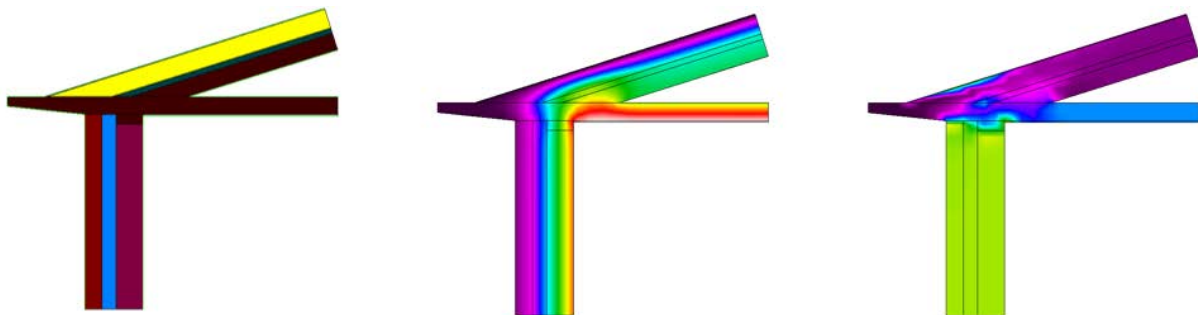
Ter hoogte van binnenkant dakstructuur:

$$f = \frac{2.3^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,82 > 0,65$$

B. Hellend dak: sandwich dakpaneel over bestaande dakstructuur

Een andere maatregel voor dakisolatie bestaat er in om een nieuwe isolerende structuur over de bestaande dakstructuur te installeren. Een aandachtspunt is dat de huidige dakconstructie de extra belasting t.g.v. deze nieuwe structuur kan dragen. Dit overzetsdak bestaat uit een isolatielaag van PIR dat een toplaag heeft uit zink/aluminium en gegalvaniseerd staal. Een voorbeeld hiervan is het Roof Tile paneel van Kingspan.

Uit de analyse van Therm is te concluderen dat in de fluxmagnitude figuur, alle lagen een continu verloop hebben. Een continu verloop is positief, dit betekent dat het warmteverlies beperkt is en er geen koudebruggen aanwezig zijn. De f-factor wijst uit dat er geen risico's zijn op vochtproblemen en er over een zeker comfort gesproken kan worden. Er valt wel op te merken dat de temperatuur aan de bovenkant van de spant 8.2°C is, terwijl de temperatuur op zolder 5°C is. Dit wijst erop dat de zolder verwarmd wordt door onderliggende verdieping en aangezien de zolder geen woonruimte is, kan dit beschouwd worden als warmteverlies. Echter door de kleine dakhelling en het beperkte volume van de zolderruimte is het verlies naar deze ruimte aanvaardbaar. Dit werd eerder ook al aangetoond met de verbetering van de compactheid bij het toepassen van deze maatregel.



Figuur 59: Invloed sandwich dakpaneel op dak-muuraansluiting.

In bovenhoek bij aansluiting muur met spant:

$$f = \frac{15.3^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,84 > 0,65$$

Ter hoogte van bovenkant spant:

$$f = \frac{8.2^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})} = 0,79 > 0,65$$

Ter hoogte van binnenkant dakstructuur:

$$f = \frac{4.4^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,96 > 0,65$$

9.2.2 Spouwmuurisolatie

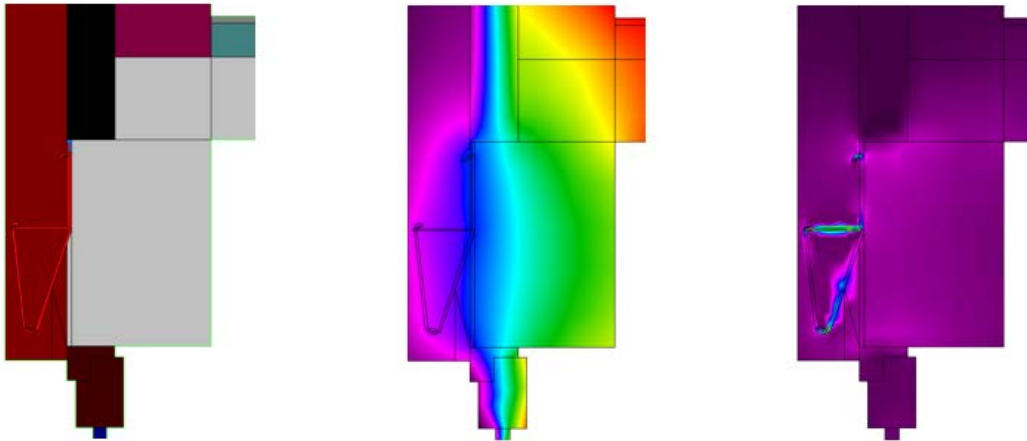
A. Lateibalk

Als isolatiemateriaal voor de spouwmuur is gekozen voor EPS-parels. In wat volgt onderzoeken we het effect van spouwvulling op de koudebrug ter hoogte van de lateibalk. Uit de analyse van de bestaande toestand is gebleken dat zich hier mogelijk een condensatieprobleem voordoet. Wordt deze toestand nu verbeterd of komt de koudebrug meer tot uiting?

Uit de THERM is af te leiden dat er een algemene verbetering van de muur is. De muur heeft een hogere oppervlaktetemperatuur en zal zich als een 'warme' muur gedragen. Ter hoogte van de lateibalk zien we in de isothermen figuur wel nog een variantie, dit is nog steeds te wijten aan het rechtstreeks contact tussen de lateibalk en de buitengevel. Wanneer men de oppervlaktetemperaturen tussen deze en de bestaande toestand vergelijkt, ziet men een lichte

stijging van de temperatuur (+0.6°C). Er is dus een lichte verbetering van de bouwknop. Dit is in lijn met de waarnemingen uit het onderzoek “retrofit cavity-wall insulation” (M. Delghust en A. Janssens 2010) [11], waarbij een verhoging van de oppervlaktetemperatuur en een verbetering van de luchtdichtheid werd waargenomen bij koudebruggen na spouwmuurisolatie.

In de fluxmagnitude figuur is de beugel van het metselwerkondersteuning duidelijk zichtbaar. Ook dit zal een invloed hebben op het effect van de koudebrug, daar staal een zeer goed geleidend materiaal is.



Figuur 60: Invloed spouwmuurisolatie op lateibalk.

De invloed van de spouwmuurisolatie op de f-factor is naar temperatuur toe nog waar te nemen maar uitgedrukt in f-factor is het verschil zeer gering. Er zal dus nog steeds een vochtprobleem zijn.

Ter hoogte van lateibalk:

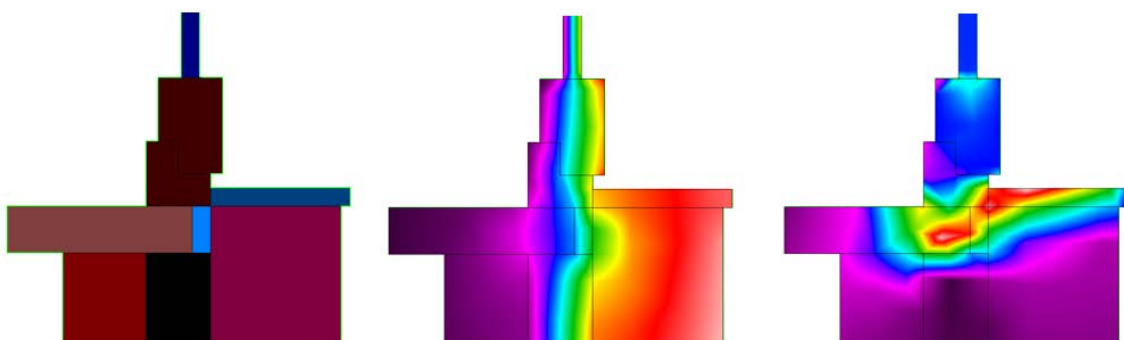
$$f = \frac{8.3^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,61 < 65$$

Ter hoogte van aansluiting raamprofiel en lateibalk:

$$f = \frac{3.9^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,46 < 0,65$$

B. Vensterbank

Door het opvullen van de spouw is er een algemene verbetering van de warmteweerstand van de muur. Hierdoor lopen de isothermen in deze nieuwe toestand minder ver uit elkaar. Merk op dat door een mogelijk slechte spouwvulling niet tot in al de kieren en spleten geraakt kan worden. Hierdoor bestaat nog steeds een discontinuïteit in de gebouwschil, dit is duidelijk te zien op de fluxmagnitude figuur.



Figuur 61: Invloed spouwmuurisolatie op vensterblad.

De verandering in f-factor ter hoogte van de aansluiting van bovenzijde raamdorpel met het raamprofiel is een belangrijke verandering. Aangezien de f-factor hierdoor boven de limietwaarde komt in plaats van eronder t.o.v. de oorspronkelijke toestand. Op deze plaats zou zich dus geen vochtprobleem meer mogen voordoen. Ter hoogte van de aansluiting van het glas met het profiel is geen verandering waar te nemen. De invloed van de spouwmuurisolatie reikt niet tot aan deze aansluiting en dus is er nog steeds een probleem.

Ter hoogte van aansluiting bovenzijde raamdorpel met raamprofiel:

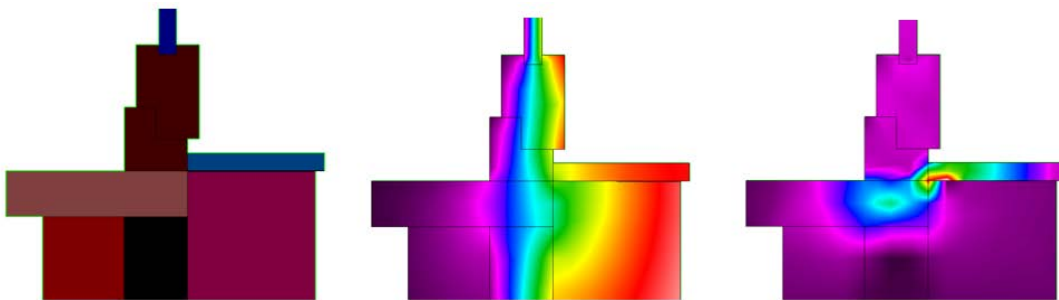
$$f = \frac{10.6^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,69 > 0,65$$

Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{6.2^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,54 < 0,65$$

C. Vensterbank praktijk

Indien de vensterbank doorloopt tot tegen het binnenblad is er een lichte verandering in de isothermen waar te nemen. Merk op dat de rode kleur zich meer naar binnen toe trekt, de invloed van de bouwknoop is dus duidelijk merkbaar. Waar in de vorige situatie de discontinuïteit in de flux figuur meer verdeeld was, is er nu een meer gecentreerd probleem. Dit is logisch aangezien de tussenruimte verdwijnt en een mogelijk condensatieprobleem zich verplaatst naar het contactpunt tussen de raamdorpel, de muur en het vensterblad.



Figuur 62: Invloed spouwmuurisolatie op vensterblad (praktijk)

Dit is ook terug te zien in de daling van de oppervlaktetemperatuur ($-1,7^{\circ}\text{C}$) in de hoekaansluiting van het vensterblad en het raamprofiel. Waar de f-factor eerst boven de grenswaarde lag, ligt deze nu lager. Hieruit kan besloten worden dat door een rechtstreeks contact van de raamdorpel met het binnenblad een vochtprobleem kan ontstaan.

Verder is er door het gedetailleerder tekenen van het raamprofiel een sterke toename in temperatuur ($+3,3^{\circ}\text{C}$) ter hoogte van de aansluiting met het glas. De stijging is onvoldoende hoog om het vochtprobleem te verhelpen, de f-factor ligt dus nog steeds onder de aanvaardbaarheidsgrens.

Ter hoogte van aansluiting bovenzijde raamdorpel met raamprofiel:

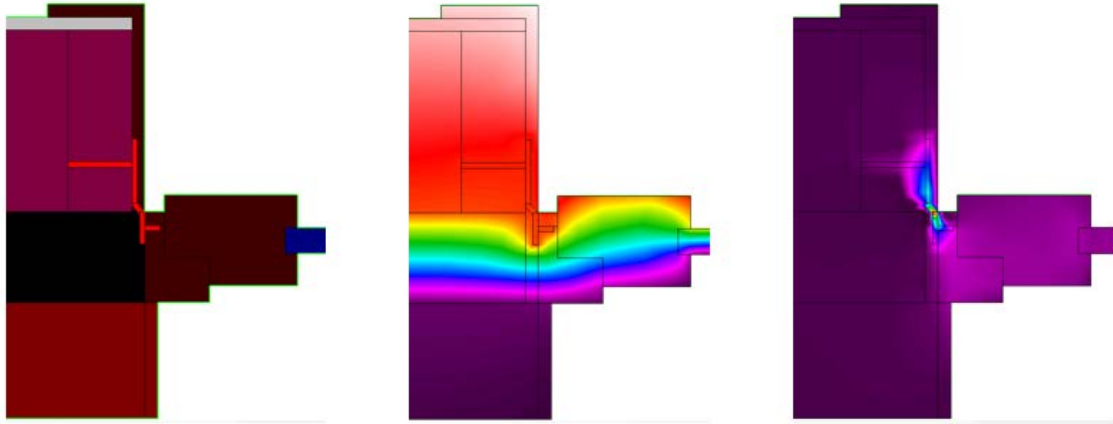
$$f = \frac{8.9^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,63 < 0,65$$

Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{9.5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,65$$

D. Zijkant raamaansluiting

In vergelijking met de bestaande toestand waaiëren de isothermen niet meer uit, ze verlopen dus rechtlijniger en meer parallel. De rode kleur bedekt de volledige binnenmuur, de nadelige invloed van de luchtsponw is dus verdwenen. Merk wel een verandering in de isothermen en de flux lijnen op, ter hoogte van het metalen bevestigingspunt.



Figuur 63: Invloed spouwmuurisolatie op zijkant raamaansluiting.

De oppervlaktetemperatuur van het glas met het raamprofiel blijft nagenoeg hetzelfde, de f-factor schommelt nog steeds rond de grenswaarde. Bij de aansluiting van het raamprofiel met de muur is wel een significante wijziging in oppervlaktetemperatuur. Er is een verdubbeling van de temperatuur t.o.v. de niet-geïsoleerde muur. De f-factor stijgt hierdoor tot 0,8 waardoor de kans op een vochtprobleem hier klein wordt.

Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{10^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,67 > 0,65$$

Ter hoogte van aansluiting raamprofiel met muur:

$$f = \frac{13,9^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,80 > 0,65$$

E. Plat dak

Het isoleren van het plat dak kan een complexe en dus dure ingreep zijn. Daarom is het meer dan waarschijnlijk, dat de spouw eerst wordt opgevuld samen met de rest van de gebouwschil. Ook nu toont de analyse uit THERM dat de isothermen opschuiven naar buiten, de binnenmuur vertoont een volledige rode kleur. Door het na-isoleren van de spouw is de thermische weerstand van de wand dus verbeterd.



Figuur 64: Invloed spouwmuurisolatie op plat dak aansluiting.

Deze maatregel brengt geen negatieve gevolgen met zich mee. Het energetisch niveau van de muur stijgt enorm en de vochtthuishouding ondervindt alleen positieve gevolgen. Zo stijgt de oppervlaktetemperatuur van zowel de muur als de hoekaansluiting van de muur en het dak. Hieruit volgt dat er geen vochtproblemen verwacht worden en het comfort verhoogd is.

Ter hoogte van hoekaansluiting muur met plat dak:

$$f = \frac{14.6^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,82 > 0,65$$

Aan het oppervlak van het vals plafond:

$$f = \frac{15.8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,86 > 0,65$$

Aan oppervlak van de muur:

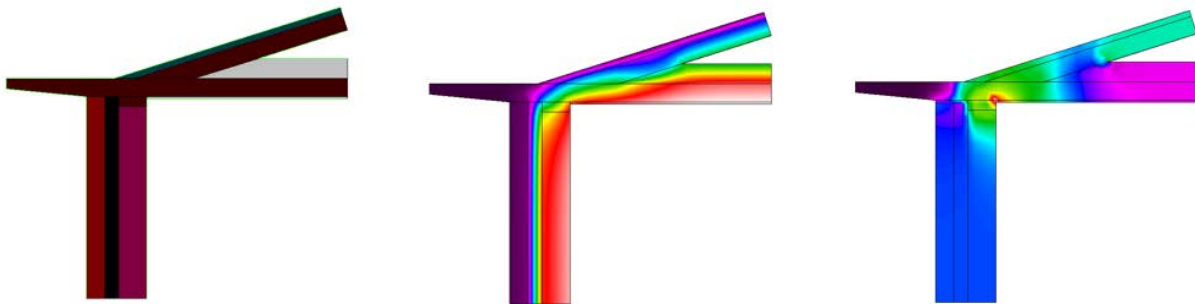
$$f = \frac{18.1^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,94 > 0,65$$

9.2.3 Dakisolatie in combinatie met spouwmuurisolatie

A. Hellend dak: zoldervloerisolatie in combinatie met spouwmuurisolatie

In de tweede renovatiefase wordt er geopteerd om de spouw na te isoleren. Hiervoor worden EPS-parels gebruikt omdat deze een duurzaam karakter hebben (ze zakken niet af), zoals al eerder vermeld in 3.1.1.

Het valt op dat zowel voor zoldervloerisolatie als voor muurisolatie de bouwknop zeer goed zichtbaar wordt in de fluxmagnitude figuur. Desondanks zorgt deze discontinuïteit niet voor een vochtprobleem, in tegenstelling bewijst de f-factor dat het risico op vocht laag is. Dit is logisch, daar er in de twee voorgaande gevallen ook sprake was van een vochtprobleem. Op energetisch vlak zorgt de bouwknop wel nog voor een zeker extra warmteverlies tegenover de rest van de gebouwschil.



Figuur 65: Invloed spouwmuur- en zoldervloer isolatie op dak-muuraansluiting.

In bovenhoek bij aansluiting muur met spant:

$$f = \frac{14.7^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,82 > 0,65$$

Ter hoogte van bovenkant isolatie:

$$f = \frac{5.8^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})} = 0,95 > 0,65$$

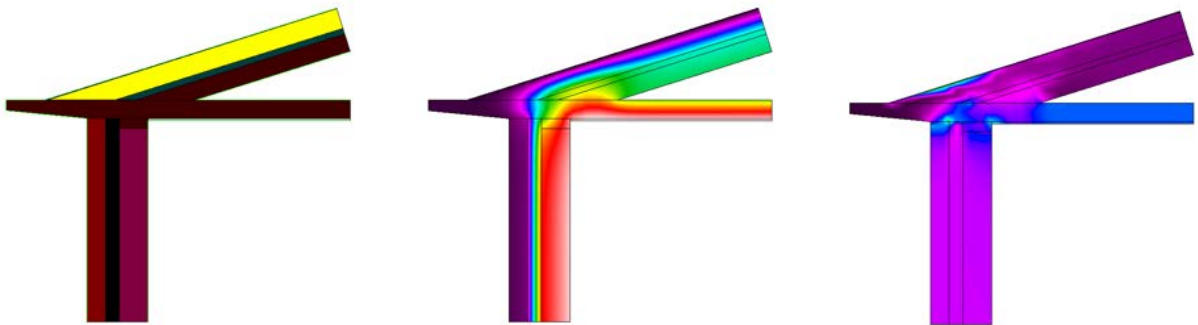
Ter hoogte van binnenkant dakstructuur:

$$f = \frac{2.3^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,82 > 0,65$$

B. Hellend dak: sandwichdakpaneel in combinatie met spouwmuurisolatie

Ook bij het isoleren van het dak aan de buitenzijde, is het opvullen van de spouw met EPS-parels logischerwijs de volgende stap. De combinatie van deze twee maatregelen is volgens ons interessanter en de beste manier. De verklaring hiervoor is dat er nu wel een correcte en niet onderbroken aansluiting van de twee isolatielagen gerealiseerd kan worden. Waar in het vorige geval ter hoogte van de spanten geen verbinding gemaakt kon worden tussen de isolatiematerialen.

Deze verbetering is ook terug te zien in de warmtestroomlijn en fluxmagnitude figuur. In de warmtestroomlijnen zijn minder schommelingen, ze lopen rechter en mooi parallel langs elkaar. Bij de fluxmagnitude zien we een meer egale kleur, wat dus wijst op minder fluctuatie. Er is dus amper sprake van een discontinuïteit. Daarbij kan de volledige dikte van de spouwmuurisolatie aansluiten op de dakisolatie, hierdoor is voldaan aan basis regel 1 en is de bouwknop dus EPB-aanvaard.



Figuur 66: Invloed spouwmuur- en dakisolatie op dak-muuraansluiting.

oppervlaktetemperatuur van de muur zelf. Dit zorgt voor een extra comfort en een vergrote buffer tegen condensatie. Energetisch zorgt dit voor een aanzienlijke vermindering in warmteverlies.

In bovenhoek bij aansluiting muur met spant:

$$f = \frac{16.8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,89 > 0,65$$

Ter hoogte van bovenkant spant:

$$f = \frac{8.2^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C})} = 0,79 > 0,65$$

Ter hoogte van binnenkant dakstructuur:

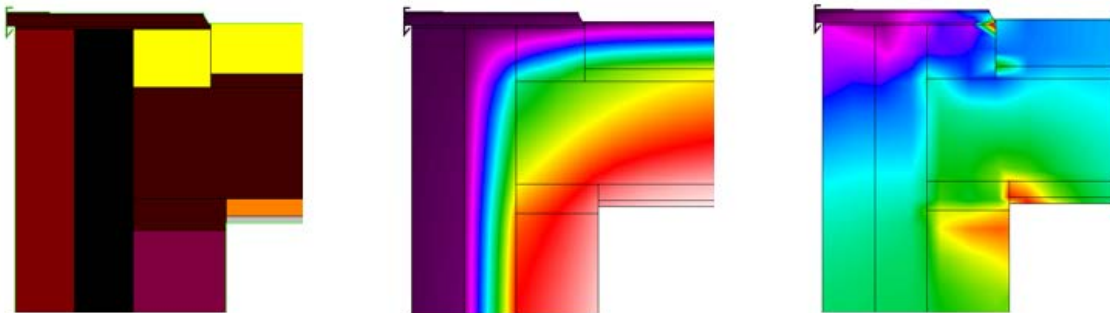
$$f = \frac{4.4^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,96 > 0,65$$

C. Plat dak: dakisolatie in combinatie met spouwmuurisolatie

Ook bij het plat dak is de combinatie dakisolatie met spouwmuurisolatie aan te raden. Door de bouwfysische argumenten, zoals besproken in 3.2.3, is er gekozen voor een omgekeerd warm dak. De aansluiting tussen de muurisolatie en de dakisolatie is verzekerd door de vervanging van de bovenste steenlaag van het binnenblad door een isolerende steen. Hiervoor wordt basis regel 2 van toepassing en wordt de bouwknop EPB-aanvaard.

Om waterinfiltratie te vermijden dient men na het na-isoleren de dakopstand te verhogen tot 150 mm boven het afgewerkt dakvlak. Indien dit niet mogelijk blijkt, kan men de isolatielaag ter hoogte van de dakopstand verlagen. Hierdoor kan de minimum opstand hoogte bereikt worden en wordt in feite een binnengoot gecreëerd. [30]

Uit de Therm figuren valt te concluderen dat er zowel een warme muur als een warm dak gecreëerd is. De warmtestroomlijnen lopen recht en parallel en ook de fluxmagnitudo vertoont egale kleuren. Bij de fluxmagnitudo is wel een 'discontinuïteit' op te merken, dit is te verklaren door het grotere verschil in warmteweerstand van de drie samenkomende materialen t.o.v. de naastliggende structuur.



Figuur 67: Invloed spouwmuur- en dakisolatie op aansluiting plat dak.

Er is echter geen enkele reden om te denken dat er vochtproblemen zouden kunnen optreden hier. Al de f-factoren zitten zelfs in de comfortzone. De bouwknop is continu wat de warmtestromen betreft. Er kan dus gesteld worden dat de bouwknop geen koudebrug bevat.

Ter hoogte van hoekaansluiting muur met plat dak:

$$f = \frac{16,8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,89 > 0,65$$

Aan het oppervlak van het vals plafond:

$$f = \frac{18,7^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,96 > 0,65$$

Aan het oppervlak van de muur:

$$f = \frac{18,1^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,94 > 0,65$$

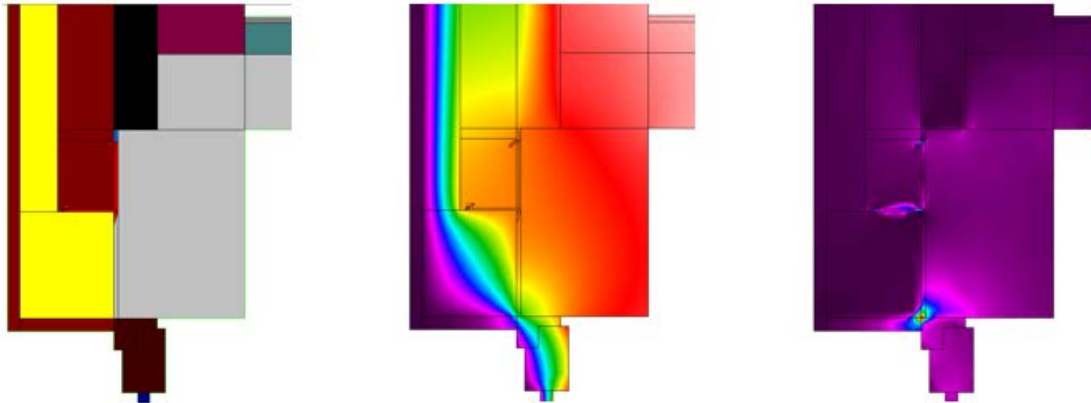
9.2.4 Spouwmuurisolatie in combinatie met buitengevelisolatie

A. Lateibalk

Als fasering is de volgende stap naar BEN, na spouwgevelisolatie, het plaatsen van buitengevelisolatie. Er is voor PIR-isolatieplaten met steenstrips als afwerking gekozen. Om een geïsoleerde aansluiting te maken is er geopteerd om de onderste rij gevelstenen weg te halen zodat de lateibalk extra kan geïsoleerd worden. Hierdoor wordt het probleem van condensatie rond zowel de latei als de aansluiting van latei met het raamprofiel aangepakt.

Op energetisch vlak is er reden tot optimisme, aangezien de fluxmagnitude figuur bijna geheel paars kleurt. Dit wil zeggen dat er geen koudebruggen aanwezig zijn. Merk op dat ter hoogte van het L-ijzer wel nog een afwijkende flux waar te nemen is, dit is ook het geval bij de hoekaansluiting van het raamprofiel met de steenstrip. Deze afwijkingen zijn te verklaren door het verschil in warmteweerstand van de verschillende materialen, toch leidt dit niet tot problemen.

Op de isotherme figuur zien we dat de lateibalk bijna volledig rood kleurt, we kunnen stellen dat het probleem van de koudebrug hier verholpen is. Wel moet er nog een meer gedetailleerde aansluiting van het raamprofiel met de steenstrip en de lateibalk gerealiseerd worden. Er zou ook hier een stukje isolatie tussen geplaatst moeten worden.



Figuur 68: Invloed spouwmuur- en buitengevelisolatie op lateibalk.

Aan de hand van de f-factor kan er besloten worden dat er geen condensatieproblemen meer zullen optreden en er zelfs sprake is van een zeker comfort.

Ter hoogte van lateibalk:

$$f = \frac{15.8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0.86 > 0.65$$

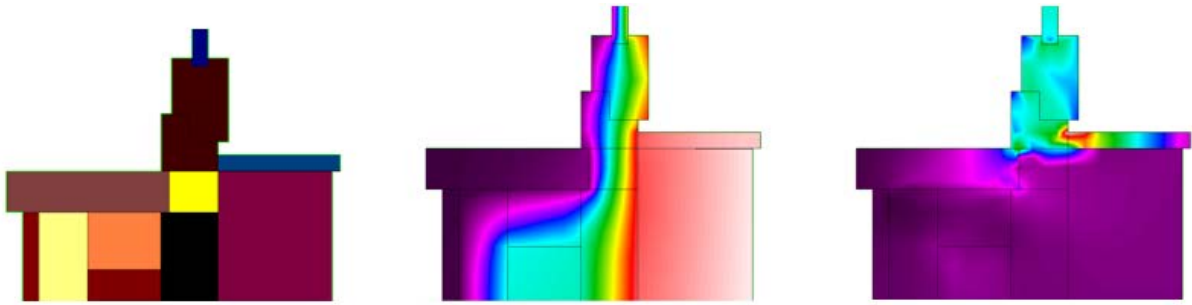
Ter hoogte van aansluiting raamprofiel en lateibalk:

$$f = \frac{12.8^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0.76 > 0,65$$

B. Vensterblad

Als er geopteerd wordt om naast de spouwmuurisolatie ook buitengevelisolatie te plaatsen, dan is het belangrijk om een correcte aansluiting te maken tussen de buitendorpel en de oorspronkelijke buitengevel. Deze aansluiting wordt best thermisch onderbroken, dit is mogelijk door een laag gevelstenen weg te nemen en te vervangen door een drukvaste isolatie. Dit wordt later verder besproken onder uitvoeringsmethodes en aandachtspunten.

De ingreep om buitengevelisolatie toe te voegen aan de gebouwschil zorgt ervoor dat er een continue bouwknop ontstaat. Dit is duidelijk te zien in de fluxmagnitude figuur aan de egale kleur aan de onderste helft van de tekening. De bovenzijde vertoont een lichtere kleur, dit komt door de lagere warmteweerstand van het raamprofiel. Doordat er zich een isolatielaag tussen de twee steenlagen bevindt, vertoont enkel de binnenste steen een rode kleur. De oorspronkelijke buitengevel zal dus niet mee werken op vlak van thermische inertie.



Figuur 69: Invloed spouwmuur-en buitengevelisolatie op vensterblad.

De f-factor toont aan dat de bouwknop is aanvaard op basis van vochtthuishouding. Doordat een isolerend materiaal is toegevoegd tussen de buitengevel- en spouwmuurisolatie, voldoet de bouwknop aan basis regel twee en is deze ook op energetisch vlak aanvaard.

Ter hoogte van aansluiting bovenzijde raamdorpel met raamprofiel:

$$f = \frac{16.0^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0.87 > 0,65$$

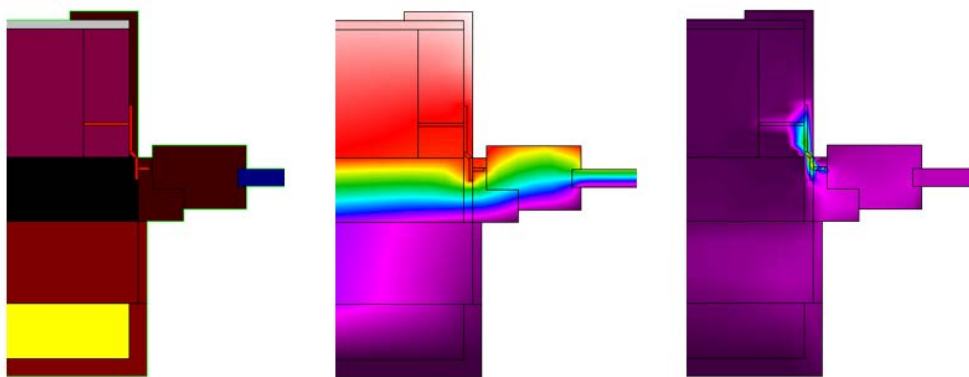
Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{9.6^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,65$$

C. Zijkant raamaansluiting

De zijkant van de raamaansluiting heeft als tweede maatregel ook buitengevelisolatie. Eveneens gaat het over een laag van zes centimeter PIR afgewerkt met twee centimeter steenstrips.

Uit de fluxmagnitude figuur is af te leiden dat buiten het profielijzer de muur een gelijkmatige warmteweerstand heeft. Dit betekent dat de isolatie continu is verdeeld over de bouwknop, hierdoor is er een minimum aan warmteverlies. Daarnaast is er weinig tot geen condensatierisico, alleen ter hoogte van de aansluiting van het glas met het raamprofiel is dit wel met het laagste comfort.



Figuur 70: Invloed spouwmuur-en gevelisolatie op aansluiting raamprofiel.

Ter hoogte van aansluiting glas met raamprofiel:

$$f = \frac{9.7^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,66 > 0,65$$

Ter hoogte van aansluiting raamprofiel met muur:

$$f = \frac{14.2^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})} = 0,81 > 0,65$$

9.3 GLASER BEREKENING

Opnieuw wordt een Glaser berekening van de wand uitgevoerd, nu na een renovatiemaatregel. De toegepaste renovatiemaatregel betreft het afbreken van de bestaande buitengevel, waarna isolatieplaten met steenstrips worden geplaatst.

A. Opbouw structuur

De structuuroopbouw en zijn randvoorwaarden zoals de overgangsweerstanden, de diffusieconstante en de binnen- en buitendampdruk zijn weergegeven in onderstaande tabel. Merk op dat enkel de structuuroopbouw verschilt tegenover de bestaande toestand.

Tabel 30: Randvoorwaarden structuuroopbouw (NT).

Opbouw structuur		Binnen	Pleister	Binnenblad	spouw-EPS	gevelsteen	Buiten
dikte (m)	-		0,01	0,14	0,14	0,02	-
lambda (W/mK)	-		0,9	0,68	0,034	0,96	-
μ	-		11	8	1	13	-
$\mu*d$	-		0,11	1,12	0,14	0,26	-
R (m ² K/W)		0,125	0,01	0,21	4,12	0,02	0,04
z (m/s)		0	5,9E+08	6E+09	7,6E+08	1,40E+09	
Diffusieconstante N	5400000000		1/s				
Binnendampdruk Pi	1400		Pa	(20°C - 60% RV)			
Buitendampdruk Pe	600		Pa	(3°C - 80% RV)			

B. Maandberekening januari

Opnieuw wordt de maand januari als referentie gegeven, omdat in deze maand de grootste hoeveelheid condensaat kan optreden. De berekenings- en redeneringswijze blijven gelijkaardig als in de bestaande toestand.

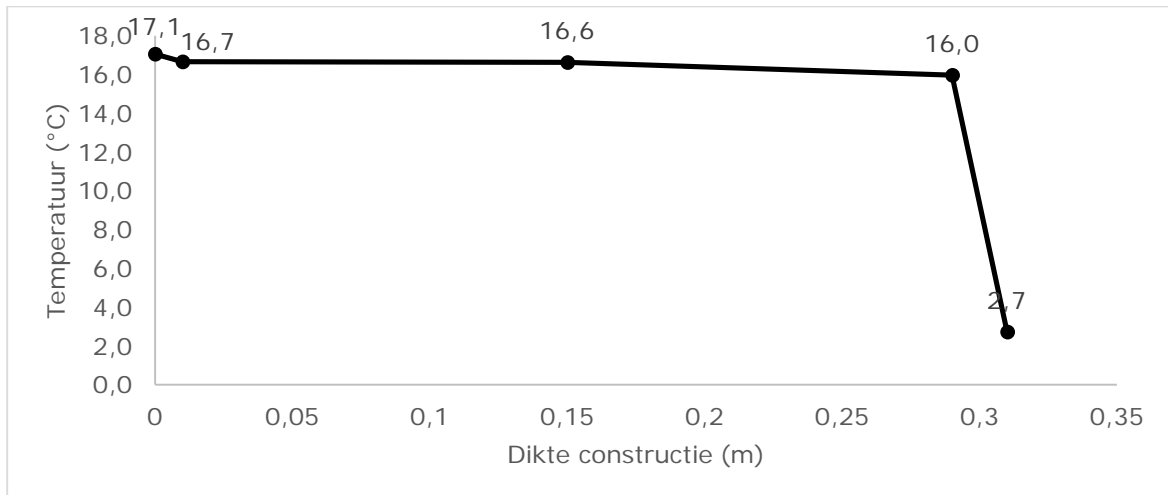
Figuur 71: Berekening temperatuur en dampdrukverloop januari (NT).

Januari			
Warmteweerstand	4,52 m ² K/W	q1	6,60E-08
warmtestroomdichtheid	3,22 W/m ²	q2	8,36E-08
dampdiffusieweerstand	8,8E+09 m/s	G	-47,14 g/m ² , maand
dampstroomdichtheid	6,88E-08 kg/m ² s		

Temperatuurverloop	Verzadegingsdrukverloop	Dampdrukverloop
theta 1	p'1	p1
theta 2	p'2	p2
theta 3	p'3	p3
theta 4	p'4	p4
theta 5	p'5	p5
theta 6	p'6	p6
theta 7	p'7	p7

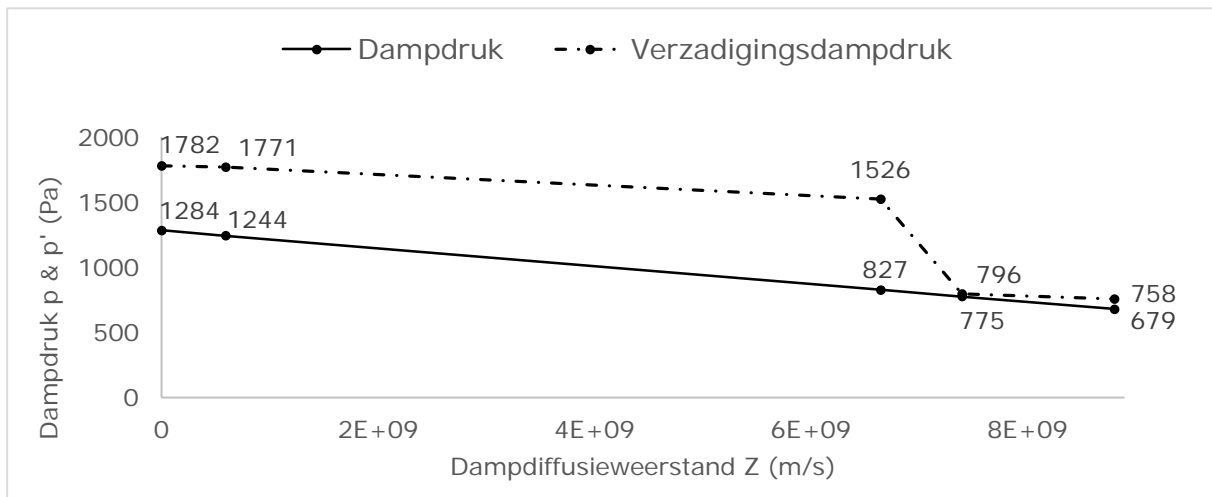
17,1	1782	1284
16,7	1771	1284
16,6	1771	1244
16,0	1526	827
2,7	796	775
2,7	758	679
2,5		679

Het temperatuurverloop van de maand januari na de renovatiemaatregel toont aan dat de muur een duidelijke hogere temperatuur vertoont. Dit betekent dat de muur volledig mee opwarmt, waardoor de thermische inertie maximaal is.



Figuur 72: Temperatuur verloop januari (NT).

Uit de berekening en de analyse van het dampdrukverloop blijkt, dat er geen condensatie optreedt na het toepassen van de renovatiemaatregel.



Figuur 73: Dampdrukverloop januari (NT).

C. Maanberekening juli

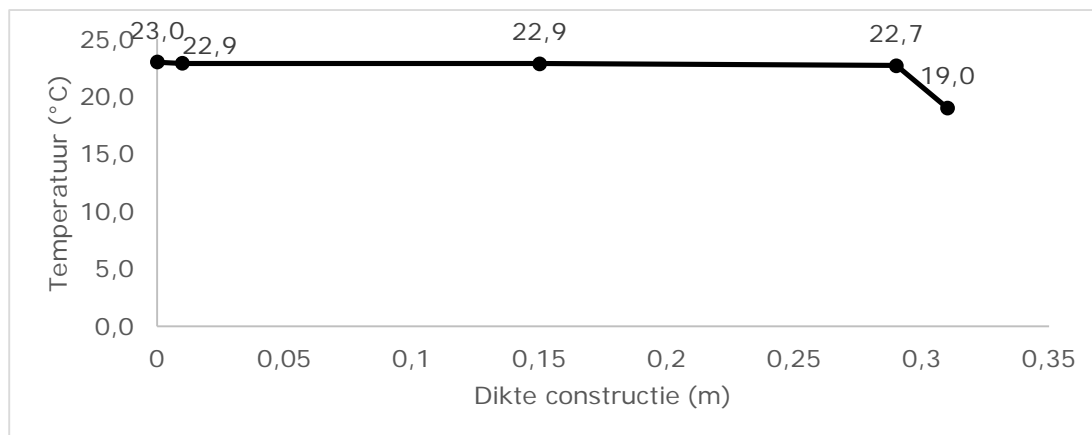
Ook nu opnieuw de maand juli als referentie gegeven, in deze maand zal de grootste hoeveelheid droging optreden. De berekenings- en redeneringswijze blijven gelijkaardig als in de bestaande toestand.

Figuur 74: Berekening temperatuur en dampdrukverloop juli (NT).

Juli					
Warmteweerstand	4,52	m ² K/W	q1	-6,99E-08	
warmtestroomdichtheid	0,89	W/m ²	q2	5,04E-07	
dampdiffusieweerstand	8,8E+09	m/s	G	-1535,92	g/m ² , maand
dampstroomdichtheid	2,16E-08	kg/m ² s			

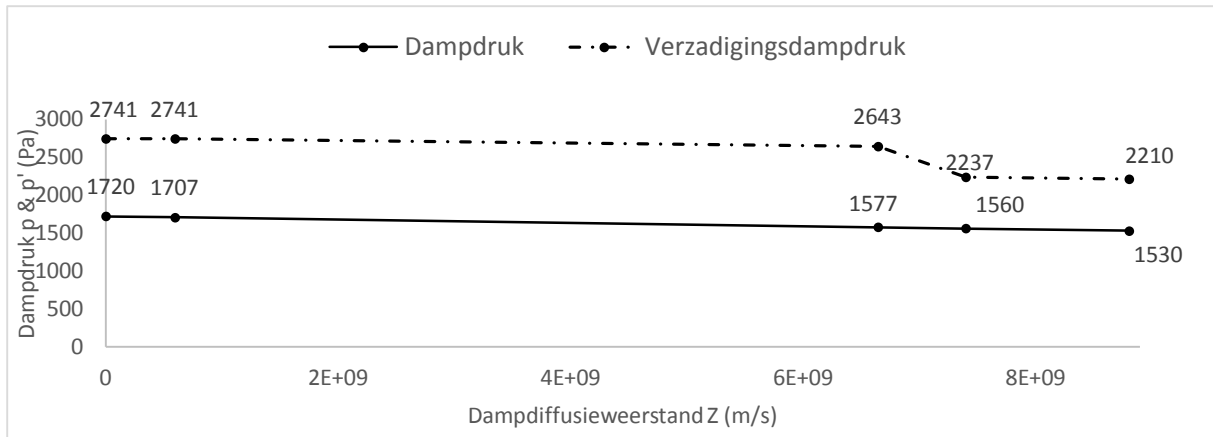
Temperatuurverloop		Verzadegingsdrukverloop	Dampdrukverloop
$\theta_n = \theta_1 - q * \sum_{i=1}^{n-1} R_i$	theta 1	p1	p1
	23,0	p2	1720
	theta 2	2741	p2
	22,9	p3	1720
	theta 3	2741	p3
	22,9	p4	1707
	theta 4	2643	p4
	22,7	p5	1577
	theta 5	2237	p5
	19,0	p6	1560
	theta 6	2210	p6
	19,0	p7	1530
	theta 7		p7
	19,0		1530

Gelijkaardig als in de maand januari zal het temperatuurverloop van de maand juli redelijk rechtlijnig verlopen. Dit betekent dat het voordeel van thermische inertie weer van toepassing is. Deze inertie zorgt ervoor dat in het begin van de zomer het gebouw koel zal blijven. Naarmate de zomer vordert warmt de woning en dus ook het metselwerk op. Om oververhitting te voorkomen zal men er op moeten toezien dat er voldoende geventileerd wordt.



Figuur 75: Temperatuurverloop juli (NT).

Uit de berekening voor de maand juli blijkt dat er ook hier enkel droging plaatsvindt in de structuur. Het dampdrukverloop toont dit aan.



Figuur 76: Dampdrukverloop juli (NT).

D. Overzichtstabel

Uit het overzicht valt af te leiden dat voor elke maand droging ($\text{g/m}^2\cdot\text{maand}$) optreedt, er is dus geen sprake van condensatie en gevaar op schade.

Tabel 31: Samenvattende tabel Glaser (NT).

	θ_i	$\theta_{e^{**}}$	P_i	P_e	θ_c	P'_c	P_c	K	D	V
Januari	17,1	2,5	1284	679	2,7	796	775	0,0	-47,1	-47,1
Februari	17,5	3,6	1313	735	3,8	860	827	0,0	-75,4	-75,4
Maart	18,5	6,5	1390	885	6,7	1036	966	0,0	-159,9	-159,9
April	19,7	9,8	1478	1057	10,0	1286	1124	0,0	-367,3	-367,3
Mei	21,7	15,2	1621	1337	15,3	1794	1382	0,0	-935,4	-935,4
Juni	22,7	18,1	1698	1487	18,2	2128	1521	0,0	-1378,5	-1378,5
Juli	23,0	19,0	1720	1530	19,0	2237	1560	0,0	-1535,9	-1535,9
Augustus	22,6	17,7	1687	1466	17,8	2076	1501	0,0	-1305,5	-1305,5
September	21,7	15,2	1621	1337	15,3	1794	1382	0,0	-935,4	-935,4
Oktober	19,7	9,8	1478	1057	10,0	1286	1124	0,0	-367,3	-367,3
November	18,4	6,1	1379	864	6,3	1008	946	0,0	-141,3	-141,3
December	17,3	3,2	1302	713	3,4	836	807	0,0	-65,9	-65,9
									V	-7315,1

9.4 UITVOERINGSMETHODES EN AANDACHTSPUNTEN

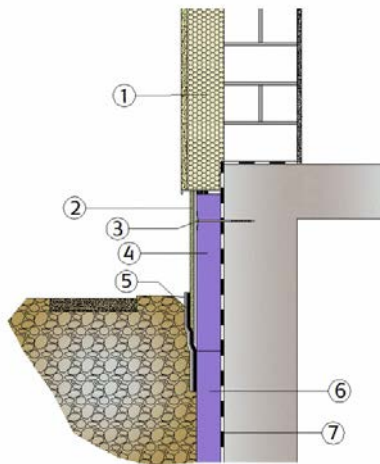
9.4.1 Plaatsing gevelsteenstrips

Bij de plaatsing van steenstrips zijn er een aantal specifieke aandachtspunten naar detaillering en uitvoering. Door het plaatsen van steenstrips tegen een bestaande gevel wordt de muuropbouw naar buiten een stuk breder. Dit heeft als gevolg dat de aansluiting van dorpels, buitenschrijnwerk, funderingsaanzet en dakoversteek opnieuw bekeken moeten worden. Ook bij het afbreken van de bestaande gevel en het plaatsen van de isolatieplaten tegen het binnenblad zijn er specifieke aandachtspunten.

A. Funderingsaanzet

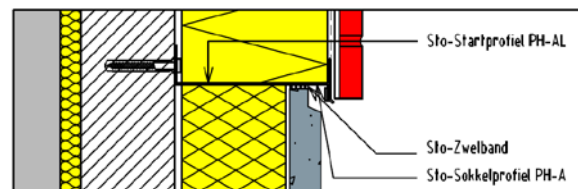
De detaillering van de funderingsaanzet wordt bepaald door de nieuwe muuropbouw en de breedte van de oorspronkelijke fundering. Indien het de na-isolatie van de bestaande gevel via de buitenzijde betreft, dan bestaat meestal de mogelijkheid om een gleuf te graven net voor de bestaande fundering. Deze gleuf wordt opgevuld met een waterafstotende isolatieplaat (XPS, PIR) om opstijgend grondvocht in de isolatie te voorkomen. Als men deze isolatie doortrekt tot een bepaalde

aanzetdiepte onder het maaiveld, dan kan de weg van de minste weerstand verlengd worden tot 1m. Op deze manier kan een aanvaarde bouwknoop gecreëerd worden ter hoogte van de funderingsaanzet, als er in de woning ook vloerisolatie geplaatst wordt. In geval de bestaande gevel wordt afgebroken, kan dit principe nog steeds worden toegepast. Hiervoor wordt dan een stuk van de bestaande fundering ingeslepen of wordt er een stuk afgebroken, alvorens men de isolatieplaten kan plaatsen.



Figuur 77: Detail funderingsisolatie. [31]

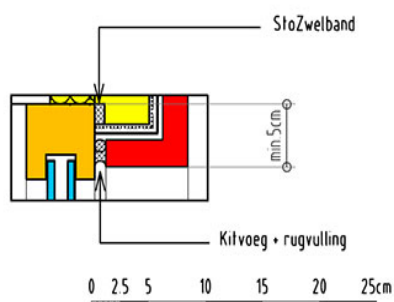
De nevenstaande figuur toont het detail van na-isoleren onder het maaiveld. Alvorens de isolatie geplaatst wordt, wordt er een waterkerende laag of folie tegen de bestaande fundering bevestigd (7). Vervolgens wordt de isolatie aangebracht tot op de gewenste diepte onder het maaiveld (6). Ter hoogte van (5) wordt een waterkering uit noppenfolie bevestigd. Indien nodig wordt hier een drainage systeem geplaatst zodat overtollig vocht/water wordt afgevoerd en niet tot bij de isolatie kan geraken. De volgende stap is de plaatsing van de sokkelisolatie (4) met plint (2), deze wordt boven op de andere isolatieplaat geplaatst en bevestigd met muurpluggen (3). Vervolgens wordt een startprofiel met zwelband geplaatst en kan de buitengevelisolatie vanaf hier gemonteerd worden.



Figuur 78: Startprofiel buitengevelisolatie uit steenstrips. [32]

Vooraleer men over kan gaan tot het plaatsen van de isolatieplaten, moet de bestaande muur of ondergrond gecontroleerd worden op vlakheid, vocht en stabiliteit. De muur moet een voldoende vlakheid hebben zodat de naden van de panelen mooi op elkaar aansluiten, indien dit niet het geval is zullen de oneffenheden eerst moeten worden uitgevlakt met een cementering. Verder dient de ondergrond droog te zijn voor het plaatsen van de platen. Zo niet kan er vocht opgesloten geraken tussen de isolatieplaten en de muur. Omdat de isolatieplaten vochtwerend zijn, zal het vocht naar de binnenzijde van de muur trekken wat kan leiden tot vochtproblemen aan het binnenoppervlak. Als laatste dient de stabiliteit van de draagmuur gecontroleerd te worden, om zeker te zijn dat de muur de extra belasting aan kan, worden er best bijkomende spouwankers geplaatst tot in het binnenspouwblad. [33]

B. Raam- en deuraansluitingen



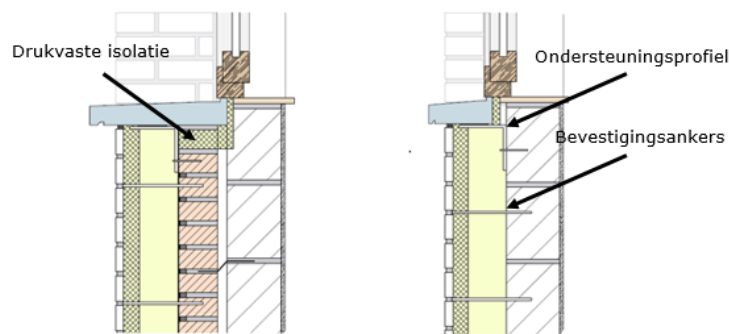
Bij de detaillering van raam- en deurprofielen is het van belang dat koudebruggen vermeden worden. Dit kan door de isolatie door te trekken tot tegen de raam- of deurprofielen en door de nodige aandacht te schenken aan de plaatsing van de dorpels. Het doortrekken van de isolatie kan enkel indien het bestaande schrijnwerk breed genoeg is. Het moet hiervoor een minimale breedte van 5 cm hebben, zodat er voldoende plaats is voor de plaatsing van de gevelstrip en een zwelband. Voor de afwerking wordt de voeg aan de rand van de steenstrip afgekit, zodat er langs hier geen water achter de isolatie terecht komt. [32]

Figuur 79: Detaillering aansluiting steenstrips raamprofiel. [32]

Als de bestaande profielen te smal zijn om de extra dikte van de isolatie op te vangen, moeten de bestaande dagkanten worden weggeslepen. Hierbij dient men wel de nodige aandacht te schenken aan de stabiliteit van de bestaande constructie. D.w.z. dat lateibalken of stalen L-profielen nog voldoende opleg moeten hebben om het bovenliggende metselwerk te dragen. Indien ook gelijktijdig het schrijnwerk wordt vervangen, kan de extra breedte mee in het profiel voorzien worden. [33]

Omdat de raam- of deurdeur in de meeste gevallen niet ver genoeg uitsteekt, zullen ook hier de nodige aanpassingen moeten gebeuren. De deur moet een stuk naar voor worden geplaatst, of worden vervangen door een nieuwe en grotere deur. Om op deze plaats zeker een koudebrug te vermijden, wordt de bovenste steenlaag best verwijderd en vervangen door een drukvaste isolatielaag. Er moeten dan wel enkele profielen geplaatst worden, waarop de deur kan steunen, omdat de deur niet mag afdragen op het buitengevelsysteem. [33] De arduindeur kan ook vervangen worden door een aluminium profiel. In dit geval hoeft de bovenste steenlaag niet worden weggenomen en kan de ontstane vrije ruimte gewoon worden opgevuld met isolatie.

Wordt de bestaande gevel afgebroken alvorens het buitengevelsysteem geplaatst wordt, dan heeft men het probleem van de dagkanten niet. Het gevelsysteem wordt op maat gemaakt en kan dus feilloos aansluiten op bestaand schrijnwerk. Ter hoogte van de raamdeur en raamaansluitingen dient men wel nog de nodige aandacht te schenken aan een koudebrugarm detail.



Figuur 80: Buitengevelisolatie tegen buitengevel of binnenspouwblad. [33]

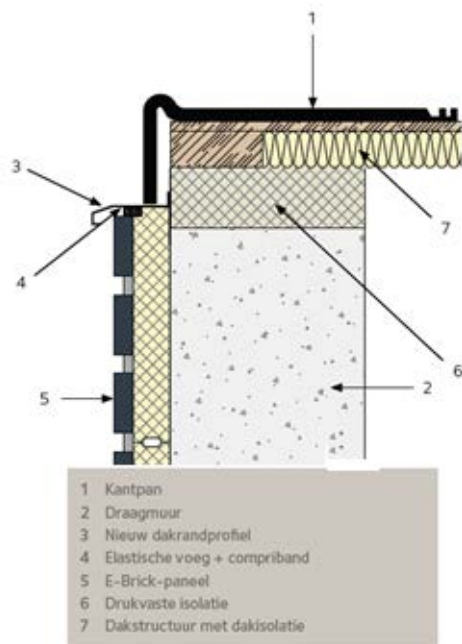
Een koudebrugarm detail wil zeggen dat de isolatieschil overal gewaarborgd moet blijven en voldoen aan één van de drie basis regels.

C. Hellend dak

De zijdelingse aansluiting van het hellend dak en de steenstrip is ook nu afhankelijk van het verwijderen of behoud van de buitengevel. Indien de buitengevel behouden blijft en er in de bestaande toestand geen zijdelingse oversteek van het dak is. Zoals bij de woningen uit de wijk Limbouw het geval is, te zien in figuur 45. Dan wordt de isolatieplaat tot bijna tegen de bestaande dakpan of dakrand geplaatst en wordt daar bovenop een zinken slab of profiel geplaatst dat onder de dakrand invalt. Aan de onderzijde van het profiel bevindt zich voegvulling en een zwelband, zodat regenwater niet langs hier in de isolatie kan dringen. Het detail van deze situatie wordt weergegeven in figuur 46.



Figuur 81: Foto zijdelingse dakoversteek woningtype.

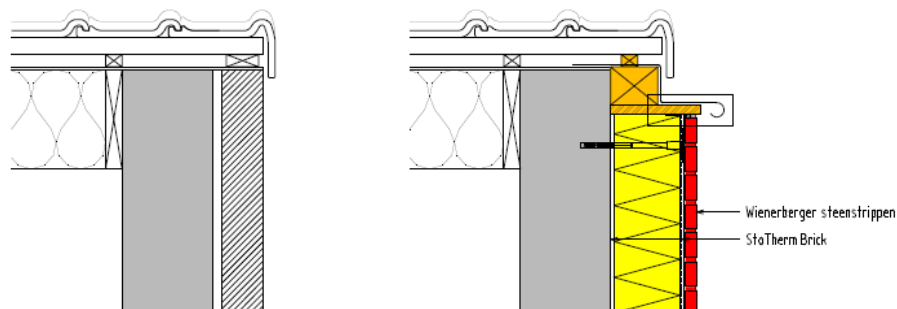


gevel. [33]

Op deze figuur is te zien dat de bovenste laag van het gevelmetselwerk vervangen is door een drukvaste isolatie. Op deze manier kan een gesloten isolatielaag gecreëerd worden waardoor koudebruggen vermeden worden. Vooraleer dit op deze manier kan uitgevoerd worden, moet de stabiliteit van de dakstructuur worden nagegaan.

Wanneer de buitengevel wordt weggenomen moet men de nodige aandacht schenken aan de opvang van de gevelpan. Omdat de steunmuur wordt weggenomen verwijdert men best tijdelijk de kantpan. Vervolgens kunnen de isolatieplaten verankerd worden tegen de draagmuur, tot net voor de dakoversteek. Om de kantpan terug te kunnen plaatsen, worden net boven de isolatieplaat houten klossen of kepers bevestigd tegen de draagmuur, zodat de kantpan kan worden opgevangen. Tot slot wordt weer een zinken slab geplaatst, die zorgt voor de waterafvoer. [32]

Figuur 82: Detail dakaansluiting met kantpan behoud



Figuur 83: Detail dakaansluiting met kantpan afbraak gevel. [32]

9.4.2 Plaatsing nieuwe vensters en deuren

Bij het plaatsen van vensters en deuren dient er speciale aandacht uit te gaan naar de luchtdichtheid van de aansluiting. Het belang van luchtdichtheid is al eerder in dit onderzoek besproken, het aandeel van lekkage door vensters en deuren is aanzienlijk en dient daardoor beperkt te worden.

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen drie verschillende afwerkingstypes bij raamaansluitingen [34]:

- Ramen waarbij er zich een houten omkasting bevindt tussen het raam en de muur;
- Ramen waarbij de dagkanten worden uitgepleisterd tot aan het schrijnwerk;
- Ramen waarbij een multiplexkader dient als bevestiging tegen de wand.

Allereerst is het voor ramen met een houten omkasting, het beste om de voeg die ontstaat tussen de omkasting en de muur, volledig op te vullen met PU-schuim. De voeg tussen de omkasting en het schrijnwerk wordt afgekit met siliconen. Er dient wel gebruik te worden gemaakt van flexibele PU-schuim zodat trillingen of thermische uitzettingen kunnen worden opgevangen en het geheel luchtdicht blijft. Zo kan er een duurzame aansluiting bekomen worden. [34]

Daarnaast zijn er voor ramen met pleisterwerk meerdere oplossingen mogelijk die als goed bestempeld mogen worden. Een eerste oplossing is het pleisterwerk tot tegen de pleisterstop af te werken en een kitvoeg tussen de pleisterstop en het schrijnwerk te plaatsen. Er kan ook gekozen

worden voor een folie aan de binnenzijde van het raam die doorloopt tot op de ruwbouw, waarbij de pleisterlaag over de folie komt. Deze kitvoegen zijn nodig omdat er door de krimp van het pleisterwerk en het manoeuvreren van de vleugel krimpscheuren kunnen ontstaan. Het voorkomen van scheuren kan door het wapenen van het pleisterwerk. De laatste optie is om een folie aan de zijkant van het raam te laten doorlopen tot op de ruwbouw, waarbij eveneens de pleisterlaag over de folie zit. Er dient bijzondere aandacht uit te gaan naar de hoeken voor een gedegen aansluiting. [34]

Ten slotte voor ramen met een multiplexkader wordt aangeraden om de voeg tussen het multiplexkader en de muur op te spuiten met PU-schuim. Deze methode wordt vaak gebruikt bij renovaties omdat er een dik isolatiepakket komt, dat zorgt dat er bijkomende ondersteuning nodig is. Bij deze methode kan het multiplexkader dan bijdragen in het opnemen van het gewicht. Het pleisterwerk loopt door tot over het multiplexkader en dient voorzien te worden van wapening ter plaatse van de overgang. [34]

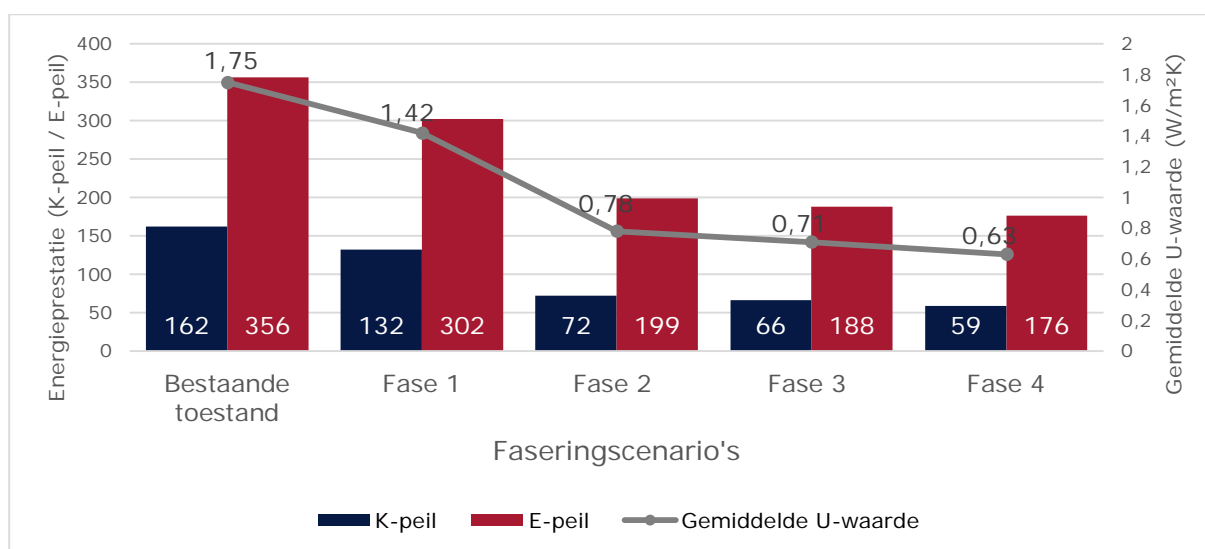


Figuur 84: Afwerking multiplex raamkader. [35]

9.5 BESLUIT MAATREGELFASERING EN BOUWKNOOP ANALYSE

Om een beeld te creëren van de impact van een renovatiemaatregel op de gemiddelde U-waarde, het K-peil en het E-peil, werd een grafische weergave opgesteld. De grafieken tonen de verandering van energieprestatie bij de verschillende fasering- en renovatiescenario's. Verder wordt het de procentuele verbetering t.o.v. de bestaande toestand en de vorige maatregel weergegeven.

De eerste grafiek (figuur 85) toont de variatie van het energieprestatieniveau bij de faseringsscenario's. Hieruit blijkt dat per extra opgelegde maatregel zowel het K-peil, het E-peil als de gemiddelde U-waarde daalt. Er kan besloten worden dat na de tweede fase de woning een minimum K-peil (K72) heeft wat acceptabel genoemd kan worden. Het isoleren van het hellend dak en spouwmuurisolatie zijn sterk aan te bevelen. De invloed van deze twee fase zijn opmerkelijk te noemen, voor zowel het K-peil als voor de gemiddelde U-waarde is er sprake van meer dan een halvering, wat duidelijk terug te zien is in het bovenste gedeelte van tabel 32.



Figuur 85: Vergelijking energieprestaties faseringsscenario's.

Daarnaast maakt ook het E-peil een serieuze daling, al moet hier de opmerking gemaakt worden dat technische installaties niet in rekening zijn gebracht, waardoor hier een kleinere daling verwacht wordt. Het onderste gedeelte van de tabel toont aan dat het na enkel maatregelen, steeds moeilijker wordt om de energieprestatie verder te verbeteren. Ten slotte moet er ook besloten worden dat enkel met deze maatregelen er geen BEN-woning bereikt wordt.

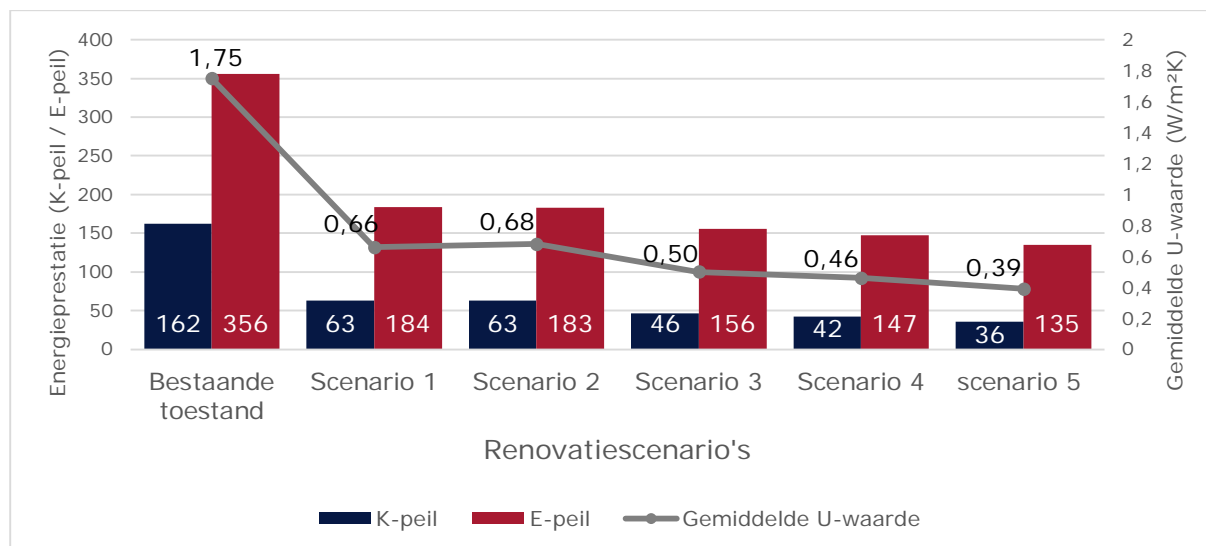
Tabel 32: Procentuele verbetering energieprestatie faseringsscenario's.

Procentuele verbetering t.o.v. bestaande toestand				
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
K-peil (%)	18,52	55,56	59,26	63,58
E-peil (%)	15,17	44,10	47,19	50,56
Gemiddelde U-waarde (%)	18,86	55,43	59,43	64,00
Procentuele verbetering t.o.v. vorige toestand				
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
K-peil (%)	18,52	37,04	3,70	4,32
E-peil (%)	15,17	28,93	3,09	3,37
Gemiddelde U-waarde (%)	18,86	36,57	4,00	4,57

In onderstaande grafiek (figuur 86) valt op dat de eerste twee renovatiescenario's een nagenoeg gelijkaardige energieprestatie hebben. Er is enkel een lichte variatie in E-peil en U-waarde. Dit is te verklaren door het verschil in het beschermd volume, in scenario 1 zit de zolderverdieping niet in het beschermd volume in tegenstelling tot scenario 2. Dit resulteert in een verschil in compactheid en zo ook een verschil in E-peil. Verder is de invloed van buitengevelisolatie en randisolatie rond de fundering in renovatiescenario 3 op alle drie de parameters duidelijk een positieve en gedegen invloed. Uiteindelijk kan er vastgesteld worden dat er vloerisolatie nodig is, zoals van toepassing in renovatiescenario 4, om tot een wettelijk aanvaardbaar K-peil te geraken.

Bij de berekening van het K-peil voor deze scenario's, worden de bouwknopen nog steeds als forfaitaire toeslag ingerekend. Deze keuze is gemaakt omdat indien de bouwknopen afzonderlijk worden ingerekend met de ontstentenis psi-waardes, het K-peil hoger zou uitvallen dan in geval van een forfaitaire toeslag. Wilt men dus werkelijk tot BEN geraken, dan zullen al de bouwknopen zeer goed gedetailleerd moeten worden, zodat ze kunnen ingerekend worden met de methode van aanvaarde bouwknopen.

Om aan te tonen welke invloed dit heeft op het K-peil wordt in het vijfde scenario een toestand verondersteld waar de bouwknopen EPB-aanvaard zijn uitgevoerd. Hierbij worden de deurdorpels nog als extra bouwknop ingerekend met de ontstentenis psi-waarde. Uit de grafiek blijkt dat een verdere K-peil daling tot K36 mogelijk is.



Figuur 86: Vergelijking energieprestaties renovatiescenario's.

10 CONCLUSIE

In Vlaanderen is een groot deel van het woningbestand verouderd en aan renovatie toe. [2, 3] In de woonwijk Limbouw in Houthalen-Helchteren is dit ook een belangrijk probleem. Om deze reden maakt deze thesis een casestudie van een standaardwoningtype uit deze woonwijk, waarbij de energieprestatie en de optredende bouwknopen van dit woningtype in kaart gebracht werden. Op basis van deze gegevens werden deelrenovaties theoretisch toegepast, waarbij de invloed op energieprestatie en de optredende bouwknopen gecontroleerd werd. Het uiteindelijke doel was het opstellen van renovatiescenario's die leiden tot BEN. Om deze scenario's te kunnen opstellen, werden voor zowel het dak, de muur, de vloer en de vensters de verschillende isolatiemaatregelen onderzocht. De energieprestatie werd bepaald op basis van de EPB-software en de bouwknopen geanalyseerd m.b.v. Therm.

De studie toonde aan dat het huidige energieprestatieniveau van het woningtype ligt op K162/E356 en dat voor enkele bouwknopen, zoals de lateibalk en de raamaansluiting, zich een mogelijk vochtprobleem voordoet. Door het gefaseerd toepassen van de verschillende isolatiemaatregelen, blijkt dat de energieprestatie van de woning trapsgewijs verbeterd. Hierbij is een energieprestatie van K132/E302 mogelijk door enkel dakisolatie toe te passen, een energieprestatie van K72/E199 is te bereiken door verder ook de spouwmuur te isoleren en de bestaande beglazing te vervangen. Wanneer een totaalpakket aan renovatiemaatregelen wordt toegepast (dak, muur, vloer, vensters) en de bouwknopen correct opgelost worden, is zelfs een energieprestatie van K36/E135 mogelijk. De analyse uit Therm toonde aan dat enkel spouwmuurisolatie het mogelijk vochtprobleem ter hoogte van de lateibalk en de raamaansluiting niet oplost, een oplossing is enkel mogelijk indien er verder ook buitengevelisolatie wordt toegepast.

Uit de resultaten bleek dat enkel een grondige en ingrijpende renovatie de energieprestatie van de woning aanzienlijk kan verbeteren en de huidige koudebruggen volledig kan elimineren. De aangewezen manier om gefaseerd te renoveren, is door eerst het dak te isoleren met sandwich dakpanelen en vervolgens de spouwmuur, inclusief de buitengevel, na te isoleren. Gelijktijdig worden bestaande vensters en deuren vervangen door nieuwe exemplaren, voorzien van ventilatieroosters. Indien een totaalrenovatie gewenst is, is het beter om de bestaande gevel af te breken en rechtstreeks buitengevelisolatie te plaatsen tegen het bestaand binnenblad. Vooraleer het plaatsen van de buitengevelisolatie, wordt best ook verticale randisolatie langs de fundering geplaatst. Het overwegen van zowel het installeren van technische installaties als het plaatsen van hernieuwbare energiebronnen, dient best te gebeuren voor het uitvoeren van meer ingrijpende renovaties, zoals het uitbreken van een bestaande vloer.

Een verdere studie over de impact van de technische installaties en hernieuwbare energiebronnen op het energieprestatieniveau is een nog te onderzoeken domein. Hierbij is onderzoek naar de rangorde van uitvoering in de renovatiematrix, inclusief de kostprijs noodzakelijk om een volledig renovatiescenario op te stellen. Op basis van de ontstane matrix kan het aanzetten tot collectief renoveren van een groep woningen gestimuleerd worden.

REFERENTIES

- [1] V. overheid, „VLAANDEREN.be,” [Online]. Available: <http://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/c0-actieplan-voor-het-energieerenovatieprogramma-2020-voor-het-vlaamse-woningbestand-monitoring-rapport>. [Geopend 25 10 2014].
- [2] A. C. Griet Verbeeck, „Actieplan vernieuwing Vlaamse woningsbestand dat niet meer in aanmerking komt voor renovatie,” 25 05 2009. [Online]. Available: http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/reg/doc/erp2020_sloopennieuwbouw.pdf. [Geopend 25 10 2014].
- [3] V. overheid, „Het energiebewustzijn en- gedrag van de Vlaamse huishoudens 2011,” 2011. [Online]. Available: <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/reg/doc/enquete2011.pdf>. [Geopend 25 10 2014].
- [4] E. M. A. R. Trond Haavik, „From demonstration projects to volume market of sustainable construction,” *Energy Procedia*, vol. 30, pp. 1411-1421, 2012.
- [5] „Kenniscentrum energie @ Thomas More,” Thomas More & KU Leuven, 2014. [Online]. Available: http://www.ie-net.be/sites/ie-academie.be/files/file/presentatie_voorstelling_vea_renovatie_residentiele_gebouwen.pdf. [Geopend 25 10 2014].
- [6] P. P. vzw, „One Stop Shop,” Passieffhuis Platform, 2014. [Online]. Available: <http://www.one-stop-shop.org>. [Geopend 25 10 2014].
- [7] V. E. (VAE), „energiesparen,” 2015. [Online]. Available: <http://www.energiesparen.be/publicaties>. [Geopend 03 02 2015].
- [8] D. V. regering, „Vlaanderen.be,” 2015. [Online]. Available: <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/ontwerpwijzigingsbesluit-19072013.pdf>. [Geopend 05 02 2015].
- [9] V. overheid, „Kruispuntbank Wetgeving,” Vlaamse overheid, 16 11 2012. [Online]. Available: http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&table_name=wet&cn=2012092805. [Geopend 5 2 2015].
- [10] Livios, „Livios bouwen aan morgen,” [Online]. Available: <http://www.livios.be/nl/ruwbouw/na-isolatie/alles-over-na-isolatie-in-vijf-minuten/>. [Geopend 16 05 2015].
- [11] M. J. A. & R. Delghust, „Retrofit cavity-wall insulation: performance analysis from in-situ measurements,” in *1st Central European symposium on Building Physics (CESBP 2010)*, Lodz, Poland, 2010.
- [12] „Isolatie-info,” 2015. [Online]. Available: <http://www.isolatie-info.be>. [Geopend 02 05 2015].
- [13] Neopixels, „Neopixels Premium HR insulation,” Neopixel, 2015. [Online]. Available: <http://www.neopixels.be/spouwmuurisolatie.php>. [Geopend 01 05 2015].

- [14] Passiefhuis-platform, „passiefhuis-platform zero energy ready,” passiefhuis-platfrom, 2015. [Online]. Available: http://www.passiefhuisplatform.be/sites/default/files/u7/bp04_70.jpg. [Geopend 02 05 2015].
- [15] „UNILIN for smart living,” UNILIN, 2015. [Online]. Available: <http://www.unilininsulation.com/be-nl/Toepassingen/Dak-isoleren/Hellend-dak/Sarking-%28Plus%29-isolatieplaten/>. [Geopend 25 04 2015].
- [16] n. d. V. Verschillende isolatiefabrikanten, „Renovatie 2020,” 2015. [Online]. Available: <http://www.renovatie2020.be/>. [Geopend 26 04 2015].
- [17] „Dakisolatie-expert: Het abc van een dak isoleren,” 2015. [Online]. Available: <http://www.dakisolatie-expert.be>. [Geopend 26 04 2015].
- [18] K. Insulation, „Knauf Insulation its time to save enery,” KNAUF, 2015. [Online]. Available: <http://www.knaufinsulation.com>. [Geopend 26 04 2015].
- [19] P. G. Consult, „deskundig isoleren,” 2015. [Online]. Available: <http://www.deskundig-isoleren.be>.
- [20] T. & tricks, „Tips&tricks alles over bouwen,” 2015. [Online]. Available: <http://www.tipstricks.be>. [Geopend 20 04 2015].
- [21] Ritzen, „Ritzen ramen en deuren,” [Online]. Available: <http://users.skynet.be/bk231831/ramendeuren.html>. [Geopend 01 05 2015].
- [22] W. PATHB2010, „Vlaanderen.be,” 31 12 2009. [Online]. Available: <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/bouwknopentoelichting03112010.pdf>. [Geopend 07 02 2015].
- [23] V. overheid, „Vlaanderen is energie,” 08 12 2010. [Online]. Available: <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/bijlage8energiebesluit19102010.pdf>. [Geopend 08 02 2015].
- [24] F. v. V. i. d. Bouwnijverheid, „fvb.fcc Constructiv,” 2013. [Online]. Available: http://fcc.constructiv.be/~media/Files/Shared/FVB/Centrale%20overwarming/NL/CV-warmteverliesberekening4_1A_theorie_for_web.pdf. [Geopend 10 03 2015].
- [25] G. Verbeeck, Bouwfysica Deel 2: Vochtbeheersing in gebouwen, Universiteit Hasselt, 2013-2014.
- [26] J. Brans, „Confederatie Bouw,” ISOPROC INNOVISO, 2015. [Online]. Available: <http://www.confederationconstruction.be/Portals/19/Cellule%20Energie%20Environnement/journee%20d%27etude/4.%20NL%20Isoproc%20PEB%20passif%202015%20-%20isolatie%20en%20luchtdichtheid.pdf>. [Geopend 30 04 2015].
- [27] W. a. E. & Gebouw, „Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf,” 2015. [Online]. Available: www.wtcb.be. [Geopend 30 04 2015].
- [28] P. V. D. Bossche, S. Prieus en P. Cootjans, „Ventilatiegids: stappenplan voor comfortabel en energiezuinig ventileren,” De Nayer instituut, 2007.
- [29] Moduul, „Moduul renovatie op uw maat,” 2015. [Online]. Available: <http://www.moduul.be/overige-diensten/blowerdoortest/>. [Geopend 30 04 2015].

- [30] WTCB, „WTCB,” 02 06 2011. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact30&art=453>. [Geopend 11 05 2015].
- [31] J. insulation, „Jackson insulation,” 2015. [Online]. Available: <http://www.jackson-insulation.com/nl/jackodur/hoogbouw/sokkelisolatie/>. [Geopend 07 05 2015].
- [32] Wienerberger, „Wienerberger renovatieoplossingen,” Wienerberger, 2015. [Online]. Available: <http://www.renovatieoplossingen.be/nl/oplossingen/gevelstenen>. [Geopend 07 05 2015].
- [33] V. Group, „Vandersandengroup,” 2015. [Online]. Available: <http://www.vandersandengroup.be/professionals/nl-be/e-brick-e-board>. [Geopend 07 05 2015].
- [34] V. D. B. N. & D. Bard, „Buitenschrijnwerk cruciaal voor luchtdichtheid van gebouwen,” *Schrijnwerk*, vol. 178, pp. 33-35, 2012.
- [35] L. willems, „technieken in de bouw van een passief huis,” 04 01 2015. [Online]. Available: <http://werf.lowet-willems.be/>. [Geopend 15 05 2015].
- [36] D. W. | V. M. v. Watervoorziening, „De watergroep water, vandaag en morgen.,” Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening, 2015. [Online]. Available: <http://www.dewatergroep.be/nl/content/2306/wat-is-de-definitie-van-een-wooneenheid.html>. [Geopend 04 02 2015].
- [37] V. overheid, „Vlaanderen is wonen,” Vlaamse overheid, 2015. [Online]. Available: <https://www.wonenvlaanderen.be>. [Geopend 07 02 2015].

BIJLAGE

BIJLAGE A: RENOVATIEMATRIX

Maatregelen naar Bijna EnergieNeutraal - Renovatiescenario's

Bestaande toestand						
Hellend dak boven onverwarmde zolder	Geen isolatie	Plaatsen damp scherm, vullen met glaswol- of cellulosevlokken Pos: Neg: kostrprijs: ca 25 EUR/m ²	Na-isoleren holtes kepers / dakspanten met glas of rotswol voorzien van damp scherm Pos: zolder blijft toegankelijk, binnen beschermd volume Neg: kostrprijs: ca 25 EUR/m ²	Opspuiten holtes tussen kepers en dakspanten met PUR/PIR Pos: goed afdichting Neg: niet zelf uit te voeren kostrprijs: ca 30 EUR/m ²	Isoleren aan buitenzijde met sandwich dakelementen Pos: Zolder blijft toegankelijk binnen beschermd volume Neg: volledige nieuwe dakstructuur, ingrijpende maatregel kostrprijs: ca 150 EUR/m ²	Na-isoleren met PUR isolatieplaten voorzien van damp scherm Pos: eenvoudig zelf te doen, behoud gebruik zolderruimte Neg: kostrprijs: ca 25 EUR/m ²
Zoldervloer	Geen isolatie	Opspuiten zoldervloer met PUR Pos: vochtwerend, goede isolatiewaarde, zeer goede aansluiting (moelijke vorm) Neg: niet zelf uit te voeren kostrprijs: ca 30 EUR/m ²	Plaatsing damp scherm, na-isoleren met glas of rotswol Pos: eenvoudig zelf te plaatsen Neg: zolder niet meer te gebruiken (tenzij nieuwe vloerafwerking) kostrprijs: 25 EUR/m ²	na-isoleren met isolatieplaten voorzien van damp scherm Pos: eenvoudig zelf te plaatse Neg: zolder niet meer te gebruiken (tenzij nieuwe vloerafwerking) kostrprijs: ca 25 EUR/m ²	Plaatsing damp scherm, na-isoleren met cellulose of glaswolvlokken Pos: Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:
Spouwmuur	Geen isolatie	Opspuiten van de spouw met glaswol of steenwol vlokken Pos: Neg: isolatiewaarde afhankelijk van breedte spouw, min 5 cm noodzakelijk kostrprijs: ca 20 EUR/m ²	Opspuiten van de spouw met PUR-schuim Pos: goed dichting van aieren en spleten, vochtwerend, min 3 cm spouwbreedte Neg: isolatiewaarde afhankelijk van breedte spouw, kostrprijs: ca 25 EUR/m ²	Opspuiten van de spouw met EPS-parels Pos: geen verzakking, betere ecologische afdruk, min 3 cm spouwbreedte Neg: isolatiewaarde afhankelijk van breedte spouw, kostrprijs: ca 21-25 EUR/m ²	Pos: Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:
Muur	Geen isolatie	Spouwvulling + buitengevel isolatie met een pleister afwerking Pos: geen koudebruggen, Neg: extra muudikte kostrprijs: 110 EUR/m ²	Spouwmuurisolatie + buitengevelisolatie met steenstrips Pos: Geen koudebruggen, beperkte dikte Neg: extra muurdikte kostrprijs: ca 150 EUR/m ²	Afbreken bestaande gevel, plaatsing isolatie met steenstrips Pos: beperkte verdikking muren Neg: Grondige ingreep kostrprijs: ca 200 EUR/m ²	Spouwvulling + voorzetwand met isolatie aan binnenzijde Pos: buitenzijde blijft behouden Neg: binnen ruimte verkleint, ingrijpende renovatie, moeilijke aansluiting kostrprijs: 80 EUR/m ²	Spouwvulling + binnenmuurisolatie - multipor-isolatieplaten (snelbouw) Pos: buitenzijde blijft behouden Neg: binnen ruimte verkleint, ingrijpende renovatie, moeilijke aansluiting kostrprijs: 80 EUR/m ²
Beglazing	Enkel glas Dubbel glas (slecht isolierend)	Vervangen enkel glas door hoogrendement dubbel glas 1,1 W/m ² K Pos: behoud uitzicht in geval van beschermde woning Neg: behoud bestaand profiel, kostrprijs: ca 50 EUR/m ²	Vervangen van dubbel glas door drieboudig glas 0,6 W/m ² K Pos: zeer hoge isolatie waarde Neg: niet mogelijk bij al de bestaande profielen kostrprijs: ca 80 EUR/m ²	Verbeterd dubbelglas (zonnewerend) 1,1 W/m ² K Pos: zonnewerend Neg: ook in wintermaanden zonnewerend kostrprijs: ca 150 EUR/m ²	drieboudige beglazing (zonnewerend) 0,6 W/m ² K Pos: zonnewerend, hoog comfort, zeer goed isolierend Neg: ook in wintermaanden zonnewerend, zeker muurisolatie nodig kostrprijs: 180 EUR/m ²	Pos: Neg: kostrprijs:
Raam- en deurprofielen	Hout PVC Aluminium	bestaande houten ramen behouden Pos: Neg: Slechte luchtdichtheid, aanpassing voor nieuwe beglazing kostrprijs: ca 50 EUR/m ²	Nieuwe ramen en deuren in hout Pos: uf < 1,8 W/m ² K Neg: kostrprijs: ca 275 EUR/m ² (excl beglazing)	Nieuwe ramen en deuren uit PVC Pos: uf < 1,5 W/m ² K Neg: kostrprijs: ca 250 EUR/m ² (excl. Beglazing)	Nieuwe ramen en deuren uit ALUMINIUM Pos: uf < 2,4 W/m ² K Neg: kostrprijs: 300 EUR/m ² (excl. Beglazing)	Pos: Neg: kostrprijs:
Vloer op volle grond	Geen isolatie	Uitbreken bestaande vloer, plaatsen isolatie uit EPS-platen en nieuwe vloer Pos: isolatiewaarde naar dikte, vloerverwarming mogelijk Neg: grondige ingreep kostrprijs: ca 100 EUR/m ²	Uitbreken bestaande vloer, plaatsen isolatie uit gespoten PUR en een nieuwe vloer Pos: isolatiewaarde naar dikte, vloerverwarming mogelijk Neg: kostrprijs: ca 100 EUR/m ²	Uitbreken bestaande vloer, plaatsen isolatiechape + gespoten PUR en een nieuwe vloer Pos: Neg: kostrprijs:	Verticale randisolatie met XPS, 50 cm onder maaiveld Pos: bestaande vloeren kunnen behouden blijven Neg: moeilijke aansluiting met gevelisolatie, beperkte isolatiewaarde kostrprijs: ca 100 EUR / lm	Pos: Neg: kostrprijs:
Vloer boven kelder of kruipruimte	Geen isolatie	Bestaande vloer, via kelder of kruipruimte isoleren met spuitisolatie (PUR) Pos: lambda-waarde 0,028 W/m ² K, goed voor niet vlakke oppervlakken, snel Neg: kruipruimte verminderd in hoogte kostrprijs: ca 30 EUR/m ²	Vloer via kelder of kruipruimte isoleren met glaswol of rotswol voorzien van damp scherm Pos: gemiddelde lambda-waarde 0,032 W/m ² K Neg: kostrprijs: ca 30 EUR/m ²	Vloerplaat van ontoegankelijke kruipruimte isoleren met EPS-korels Pos: ontoegankelijke ruimte tocht te isoleren Neg: verlies door kelder muur wordt niet mee opgevangen kostrprijs:	Vloer via kelder of kruipruimte isoleren met isolatieplaten Pos: lage lambda-waarde 0,023 W/m ² K Neg: kruipruimte verminderd in hoogte kostrprijs: 30 EUR / m ²	Pos: Neg: kostrprijs:
Warmte-productie	Gasketel	Plaatsing condenserende combi-gasketel Pos: hoog rendement, prijs-kwaliteit Neg: fossiele brandstof kostrprijs: ca. 3000 EUR	Plaatsing warmtepomp lucht-lucht Pos: duurzame energie, Redelijke SPF, koeling mogelijk Neg: Meerdere toestellen nodig, Elektrische weerstand kostrprijs: ca. 2500 EUR/stuk	Plaatsing warmtepomp lucht-water Pos: Duurzame energie, redelijke SPF, laag temperatuur afgifte systeem Neg: geluid buiten unit kostrprijs: ca. 12000 EUR	Plaatsing warmtepomp water-water (geothermisch) Pos: Hoge SPF, lage temperatuur afgifte Neg: diepteboring of captatienet (grote opp) kostrprijs: ca. 15000 EUR	Plaatsing pelletkachel Pos: Biomasse = CO2 neutraal Neg: enkel ruimte waarin is geplaatst, dagelijks bijvullen kostrprijs: ca. 3000 EUR
Warmte-afgifte	Radiatoren of convectoren	Radiatoren Pos: kunnen vaak behouden blijven, robuust Neg: hoge temperatuur (80°/60°C), middelhoog bij overdimensionering (50°/40°C) kostrprijs: ca 500 EUR/stuk	Lage temperatuur convectoren Pos: compatibel met warmtepomp Neg: lawaaihinder door ventilatoren kostrprijs: ca 750 EUR/stuk	Vloerverwarming Pos: lage temperatuur afgifte (35°/30°C of 30°/25°C) Neg: Trage regeling kostrprijs: ca 30 EUR/m ² exclusief isolatie en afwerking	Luchtverwarming Pos: snelle regeling Neg: Luchtverplaatsing, gevoel, geluid kostrprijs: ca.	Wandverwarming Pos: lage temperatuur zoals vloerverwarming Neg: inwerking in wand, nieuwe opbouw kostrprijs: ca 30 EUR/m ² exclusief isolatie en afwerking
SSW-productie (Hernieuwbare energie)	Gasketel	condenserende combi-gasketel met doorstromer Pos: geen stilstandsverlies Neg: kostrprijs: ca. 3000 EUR	condenserende combi-gasketel met boiler Pos: Neg: Stilstandsverliezen in boiler kostrprijs: ca. 4000 EUR	Zonnecollector (grootte afh. # bewoners) + combi-gasketel Pos: Duurzame energie, 50 à 60 % reductie energieverbruik Neg: Rendement afhankelijk van oriëntatie, winter lagere opbrengst kostrprijs: ca. 3000-5000 EUR afhankelijk van de grootte van de installatie	zonnecollector (4m ²) met warmtepompboiler + buffervat 300-500 l Pos: bijna 100 % duurzaam (weinig elektriciteit nodig) Neg: kostrprijs:	Warmtepompboiler + buffervat Pos: Neg: kostrprijs: ca. 3000 EUR
Ventilatie	Type A	Type C, natuurlijk toevoer, vraaggestuurde mechanische afvoer Pos: Neg: raamroosters zorgen voor tocht en lawaaihinder kostrprijs: ca. 4000 EUR	Type C: vraaggestuurde mechanische afvoer Pos: geen tocht en lawaaihinder raamroosters Neg: kostrprijs:	Type D: mechanisch toevoer, mechanische afvoer met warmterecuperatie Pos: warmterecuperatie Neg: periodiek onderhoud vereist kostrprijs: ca 6000 EUR	Pos: Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:
Hernieuwbare energie: PV-panelen	Nieuw aanwezig	fotovoltaïsche zonnepanelen: 2500 W / 16m ² paneelopp Pos: elektriciteitsproductie ca. 2250 kWh per jaar Neg: rendement oriëntatie afhankelijk kostrprijs: ca. 3000 EUR	fotovoltaïsche zonnepanelen: 5000 W / 32m ² paneelopp Pos: elektriciteitsproductie ca. 4500 kWh per jaar Neg: rendement oriëntatie afhankelijk kostrprijs: ca. 6000 EUR	fotovoltaïsche zonnepanelen: 7500 W / 48m ² paneelopp Pos: elektriciteitsproductie ca. 6750 kWh per jaar Neg: rendement oriëntatie afhankelijk kostrprijs: ca. 9000 EUR	Pos: Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:
Zonnewering	Nieuw aanwezig	Zonwerende beglazing Pos: geen externe systemen Neg: ook in winter wordt zonnearmte tegengehouden kostrprijs: ca. 100 EUR/m ² = meerkost beglazing	Screens Pos: regelbaar en mogelijk op elke oriëntatie Neg: verminderd zicht naar buiten kostrprijs: ca. 150 EUR/m ²	Buitenlamellen (optrekbaar en kantelbaar) Pos: doeltreffend, mogelijk op elke oriëntatie, zicht naar buiten blijft behouden Neg: uitzicht buitenzijde kostrprijs: ca. 250 EUR/m ²	Uitvalschermen Pos: doeltreffend, mogelijk elke oriëntatie + behoud zicht naar buiten Neg: Uitzicht buitenzijde kostrprijs: ca 250 EUR/m ²	Pos: Neg: kostrprijs:
Passieve koeling	Nieuw aanwezig	Via balansventilatie (systeem D) Pos: Neg: kostrprijs:	warmtepomp water-water met vrije koeling Pos: Zeer hoge Energy Efficiency Ratio ERR > 12 Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:
Luchtdichtheid gebouwschil	Slecht	v50 < 4 m ³ /h per m ² verliesoppervlak Pos: goede luchtdichtheid Neg: kostrprijs:	v50 < 2 m ³ /h per m ² verliesoppervlak Pos: zeer goede luchtdichtheid Neg: kostrprijs:	v50 < 1 m ³ /h per m ² verliesoppervlak Pos: uitstekende luchtdichtheid ; passiehuus-norm n50 < 0,6 h - 1 Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:	Pos: Neg: kostrprijs:

BIJLAGE B: RENOVATIESCENARIO'S

Maatregelen naar Bijna EnergieNeutraal - Renovatiescenario 1

Constructiedeel of installatie	Bestaande toestand	Maatregel
Hellend dak boven onverwarmde zolder	Geen isolatie	
Zoldervloer	Geen isolatie	Plaatsing dampscherm, na-isoleren met cellulose of glaswolvlaken Pos: Slecht toegankelijke zolder kan toch geïsoleerd worden Neg: Kan geen perfecte aansluiting gegarandeerd worden kostprijs: ca 25 EUR/m ²
Spouwmuur	Geen isolatie	Opspuiten van de spouw met EPS-parels Pos: geen verzakking, betere ecologische afdruk, min 3 cm spouwbreedte Neg: isolatiewaarde afhankelijk van breedte spouw, kostprijs: ca 20-25 EUR/m ²
Muur	Geen isolatie	
Beglazing	Enkel glas Dubbel glas (slecht isolerend)	Verbeterd dubbelglas (zonnewerend) 1,1 W/m²K Pos: zonnewerend Neg: ook in wintermaanden zonnewerend kostprijs: ca 150 EUR/m ²
Raam- en deurprofielen	Hout PVC Aluminium	Bestaande houten ramen behouden Pos: Neg: Slechte luchtdichtheid, aanpassing voor nieuwe beglazing kostprijs: ca 50 EUR/m ²
Vloer op volle grond	Geen isolatie	
Vloer boven kelder of kruipruimte	Geen isolatie	
Warmte-productie	Gasketel	
Warmte-afgifte	Radiatoren of convectoren	
SSW-productie (Hernieuwbare energie)	Gasketel	
Ventilatie	Type A	
Hernieuwbare energie: PV-panelen	Nieuw aanwezig	
Zonnewering	Nieuw aanwezig	
Passieve koeling	Nieuw aanwezig	
Luchtdichtheid gebouwschil	Slecht	

Keuze 1: Eenvoudig toe te passen maatregelen, lage kost en weinig overlast

BEN Nee

Maatregelen naar Bijna EnergieNeutraal - Renovatiescenario 2

Constructiedeel of installatie	Bestaande toestand	Maatregel
Hellend dak boven onverwarmde zolder	Geen isolatie	Isoleren aan buitenzijde met sandwich dakelementen Pos: Zolder blijft toegankelijk, aansluiting met muurisolatie mogelijk Neg: volledige nieuwe dakstructuur, ingrijpende maatregel kostrpijs: ca 150 EUR/m ²
Zoldervloer	Geen isolatie	
Spouwmuur	Geen isolatie	Opspuiten van de spouw met EPS-parels Pos: geen verzakking, betere ecologische afdruk, min 3 cm spouwbreedte Neg: isolatiewaarde afhankelijk van breedte spouw, kostrpijs: ca 20-25 EUR/m ²
Muur	Geen isolatie	
Beglazing	Enkel glas Dubbel glas (slecht isolerend)	Verbeterd dubbelglas (zonnewerend) 1,1 W/m²K Pos: zonnewerend Neg: ook in wintermaanden zonnewerend kostrpijs: ca 150 EUR/m ²
Raam- en deurprofielen	Hout PVC Aluminium	Nieuwe ramen en deuren uit PVC met ventilatieroosters Pos: uf < 1,5 w/m ² K Neg: kostrpijs: ca 250 EUR/m ² (excl. Beglazing)
Vloer op volle grond	Geen isolatie	
Vloer boven kelder of kruipruimte	Geen isolatie	
Warmte-productie	Gasketel	
Warmte-afgifte	Radiatoren of convectoren	
SSW-productie (Hernieuwbare energie)	Gasketel	
Ventilatie	Type A	Type C, natuurlijk toevoer, vraaggestuurde mechanische afvoer Pos: Neg: raamroosters zorgen voor tocht en lawaaihinder kostrpijs: ca. 4000 EUR
Hernieuwbare energie: PV-panelen	Nieuw aanwezig	
Zonnewering	Nieuw aanwezig	
Passieve koeling	Nieuw aanwezig	
Luchtdichtheid gebouwschil	Slecht	v50 < 1 m³/h per m² verliesoppervlak Pos: uitstekende luchtdichtheid ; passiefhuis-norm n50 < 0,6 h - 1 Neg: kostrpijs:

Keuze 2: Eenvoudig toe te passen maatregelen, relatief lage kost en lichte overlast

BEN Nee

Maatregelen naar Bijna EnergieNeutraal - Renovatiescenario 3

Constructiedeel of installatie	Bestaande toestand	Maatregel
Hellend dak boven onverwarmde zolder	Geen isolatie	Isoleren aan buitenzijde met sandwich dakelementen Pos: Zolder blijft toegankelijk, aansluiting met muurisolatie mogelijk Neg: volledige nieuwe dakstructuur, ingrijpende maatregel kostrprijs: ca 150 EUR/m ²
Zoldervloer	Geen isolatie	
Spouwmuur	Geen isolatie	
Muur	Geen isolatie	Spouwmuurisolatie + buitengevelisolatie met steenstrips Pos: Geen koudebruggen, beperkte dikte Neg: extra muurdikte kostrprijs: ca 150 EUR/m ²
Beglazing	Enkel glas Dubbel glas (slecht isolerend)	drievoudige beglazing (zonnewerend) 0,6 W/m²K Pos: zonnewerend, hoog comfort, zeer goed isolerend Neg: ook in wintermaanden zonnewerend, zeker muurisolatie nodig kostrprijs: 180 EUR/m ²
Raam- en deurprofielen	Hout PVC Aluminium	Nieuwe ramen en deuren uit PVC met ventilatieroosters Pos: uf < 1,5 w/m ² K Neg: kostrprijs: ca 250 EUR/m ² (excl. Beglazing)
Vloer op volle grond	Geen isolatie	Verticale randisolatie met XPS, 50 cm onder maaiveld Pos: bestaande vloeren kunnen behouden blijven Neg: moeilijke aansluiting met gevelisolatie, beperkte isolatiewaarde kostrprijs: ca 100 EUR / lm
Vloer boven kelder of kruipruimte	Geen isolatie	
Warmte-productie	Gasketel	
Warmte-afgifte	Radiatoren of convectoren	
SSW-productie (Hernieuwbare energie)	Gasketel	
Ventilatie	Type A	Type C, natuurlijk toevoer, vraaggestuurde mechanische afvoer Pos: Neg: raamroosters zorgen voor tocht en lawaaihinder kostrprijs: ca. 4000 EUR
Hernieuwbare energie: PV-panelen	Nieuw aanwezig	
Zonnewering	Nieuw aanwezig	
Passieve koeling	Nieuw aanwezig	
Luchtdichtheid gebouwschil	Slecht	v50 < 4 m³/h per m² verliesoppervlak Pos: goede luchtdichtheid Neg: kostrprijs:

Keuze 3: Ingrijpende maatregelen, hogere kost en lichte overlast

BEN Nee

Maatregelen naar Bijna EnergieNeutraal - Renovatiescenario 4

Constructiedeel of installatie	Bestaande toestand	Maatregel
Hellend dak boven onverwarmde zolder	Geen isolatie	Isoleren aan buitenzijde met sandwich dakelementen Pos: Zolder blijft toegankelijk, aansluiting met muurisolatie mogelijk Neg: volledige nieuwe dakstructuur, ingrijpende maatregel kostrprijs: ca 150 EUR/m ²
Zoldervloer	Geen isolatie	
Spouwmuur	Geen isolatie	
Muur	Geen isolatie	Afbreken bestaande gevel, plaatsing isolatie met steenstrips Pos: beperkte verdikking muren Neg: Grondige ingreep kostrprijs: ca 200 EUR/m ²
Beglazing	Enkel glas Dubbel glas (slecht isolerend)	drievoudige beglazing (zonnewerend) 0,6 W/m²K Pos: zonnewerend, hoog comfort, zeer goed isolerend Neg: ook in wintermaanden zonnewerend, zeker muurisolatie nodig kostrprijs: 180 EUR/m ²
Raam- en deurprofielen	Hout PVC Aluminium	Nieuwe ramen en deuren uit PVC met ventilatieroosters Pos: uf < 1,5 w/m ² K Neg: kostrprijs: ca 250 EUR/m ² (excl. Beglazing)
Vloer op volle grond	Geen isolatie	Verticale randisolatie met XPS, 50 cm onder maaiveld Pos: bestaande vloeren kunnen behouden blijven Neg: moeilijke aansluiting met gevelisolatie, beperkte isolatiewaarde kostrprijs: ca 100 EUR / lm
Vloer boven kelder of kruipruimte	Geen isolatie	
Warmte-productie	Gasketel	
Warmte-afgifte	Radiatoren of convectoren	
SSW-productie (Hernieuwbare energie)	Gasketel	
Ventilatie	Type A	Type C, natuurlijk toevoer, vraaggestuurde mechanische afvoer Pos: Neg: raamroosters zorgen voor tocht en lawaaihinder kostrprijs: ca. 4000 EUR
Hernieuwbare energie: PV-panelen	Nieuw aanwezig	
Zonnewering	Nieuw aanwezig	
Passieve koeling	Nieuw aanwezig	
Luchtdichtheid gebouwschil	Slecht	v50 < 4 m³/h per m² verliesoppervlak Pos: goede luchtdichtheid Neg: kostrprijs:

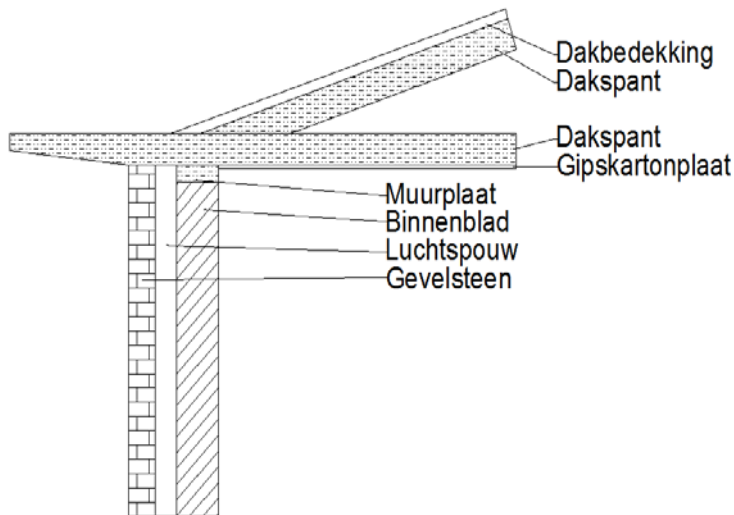
Keuze 3: Ingrijpende maatregelen, hoge kost en overlast

BEN Nee

BIJLAGE C: DETAIL BOUWKNOPEN EN ENERGETISCH BESLUIT

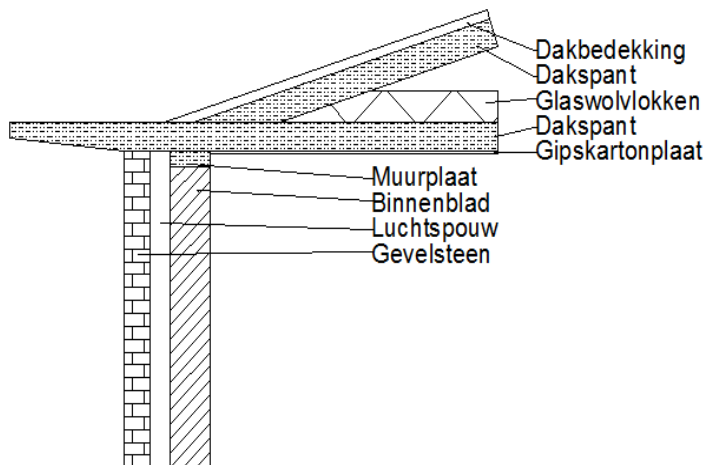
Hellend dak

A. Bestaande toestand



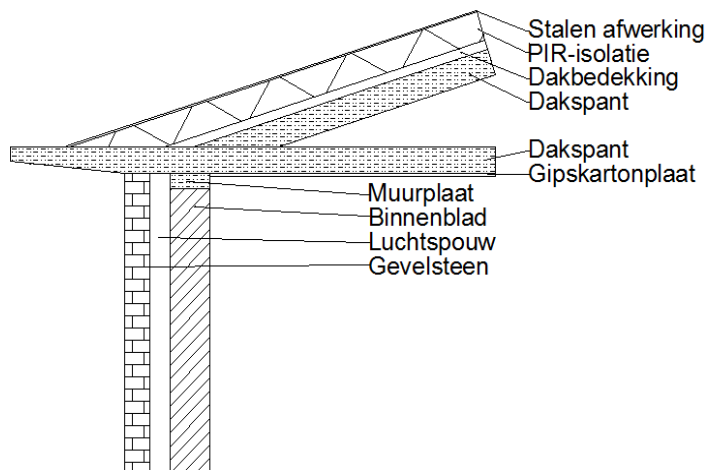
Energetisch besluit	
K-peil	162
E-peil	356
U-waarde	
Dak	1,90
Muur	1,93
f-factor	0,78

B. Zoldervloerisolatie



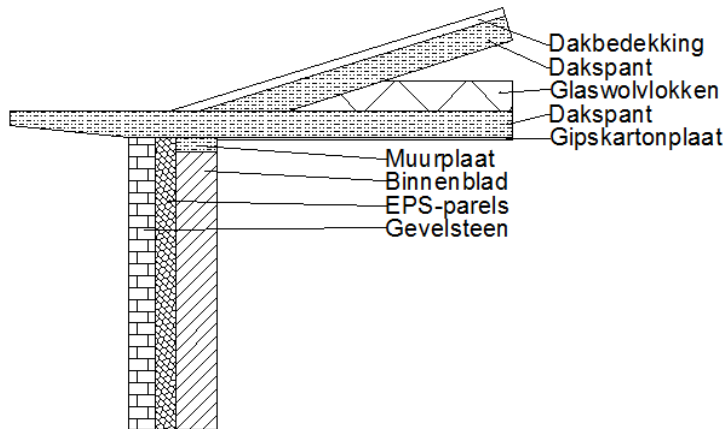
Energetisch besluit	
K-peil	132
E-peil	302
U-waarde	
Dak	0,22
Muur	1,93
f-factor	0,78

C. Sandwich dakpaneel



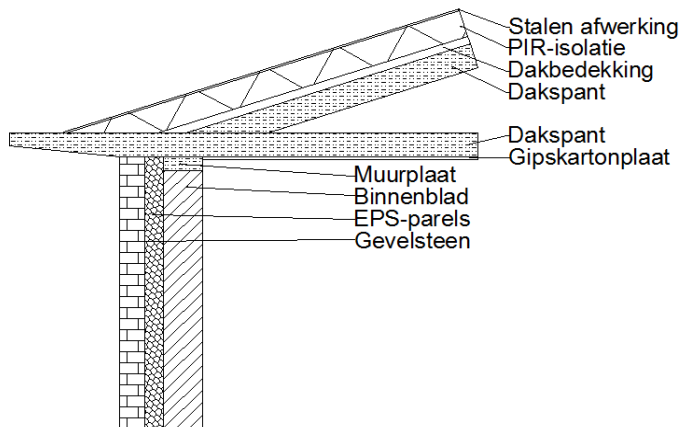
Energetisch besluit	
K-peil	132
E-peil	302
U-waarde	
Dak	0,22
Muur	1,93
f-factor	0,78

D. Zoldervloerisolatie + spouwmuurisolatie



Energetisch besluit	
<i>K-peil</i>	79
<i>E-peil</i>	210
<i>U-waarde</i>	
<i>Dak</i>	0,22
<i>Muur</i>	0,43
<i>f-factor</i>	0,82

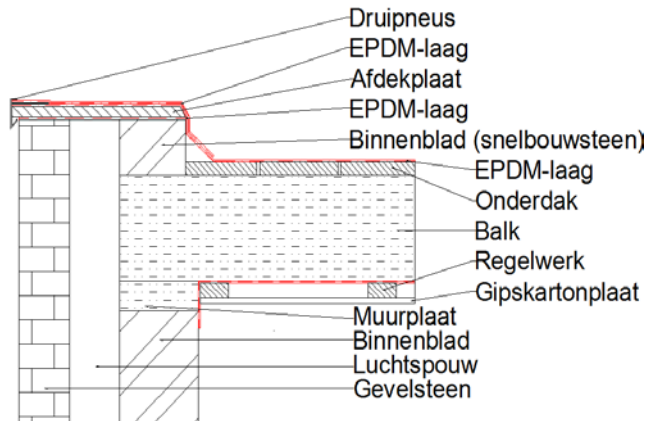
E. Sandwich dakpaneel + spouwmuurisolatie



Energetisch besluit	
<i>K-peil</i>	79
<i>E-peil</i>	210
<i>U-waarde</i>	
<i>Dak</i>	0,22
<i>Muur</i>	0,43
<i>f-factor</i>	0,79

Plat dak

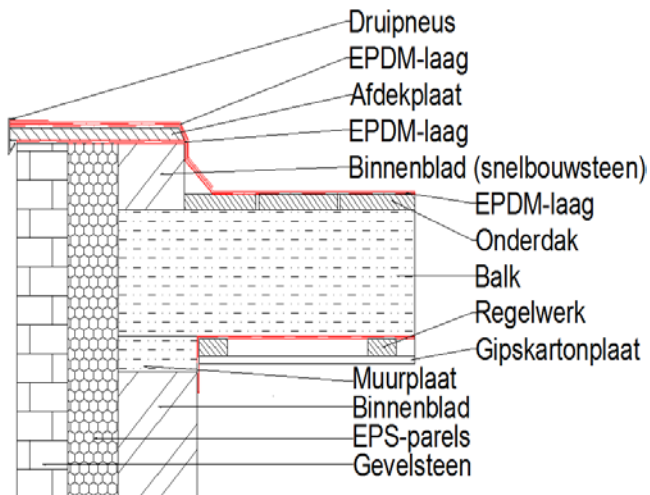
A. Bestaande toestand



Energetisch besluit

<i>K-peil</i>	162
<i>E-peil</i>	356
<i>U-waarde</i>	
<i>Dak</i>	1,30
<i>Muur</i>	1,93
<i>f-factor</i>	0,73

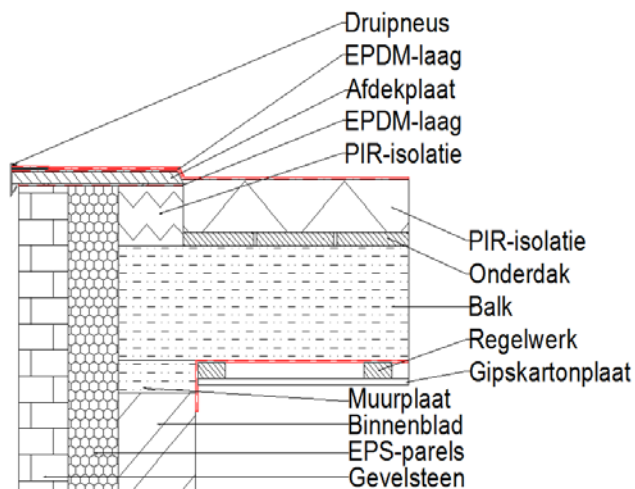
B. Spouwmuurisolatie



Energetisch besluit

<i>K-peil</i>	109
<i>E-peil</i>	262
<i>U-waarde</i>	
<i>Dak</i>	1,30
<i>Muur</i>	0,43
<i>f-factor</i>	0,82

C. Spouwmuurisolatie + dakisolatie

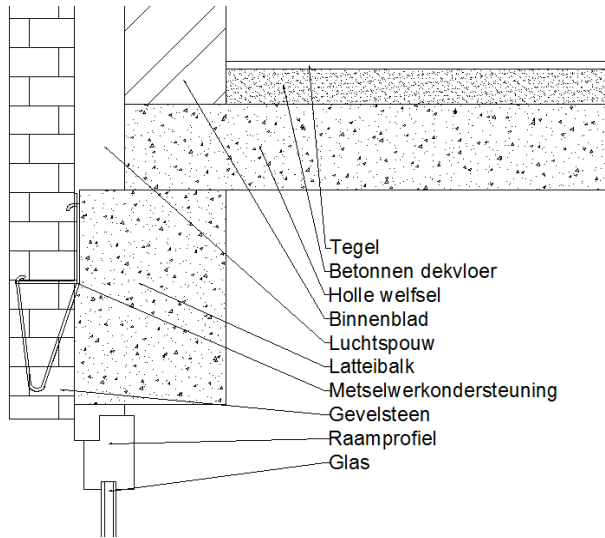


Energetisch besluit

<i>K-peil</i>	103
<i>E-peil</i>	251
<i>U-waarde</i>	
<i>Dak</i>	0,24
<i>Muur</i>	0,43
<i>f-factor</i>	0,89

Lateibalk

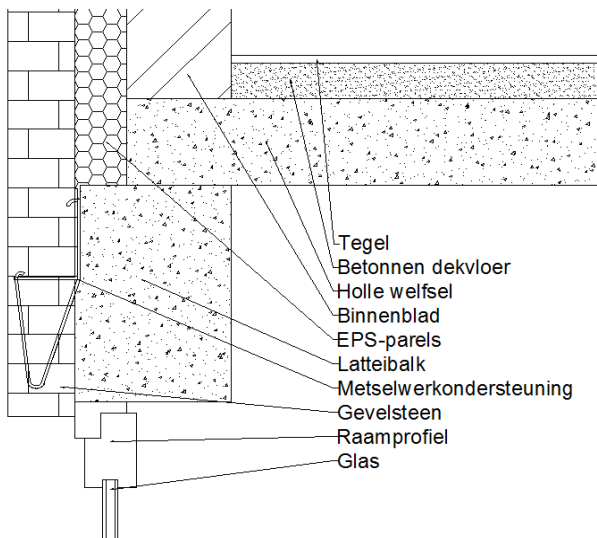
A. Bestaande toestand



Energetisch besluit

K-peil	162
E-peil	356
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	1,93
f-factor	0,45

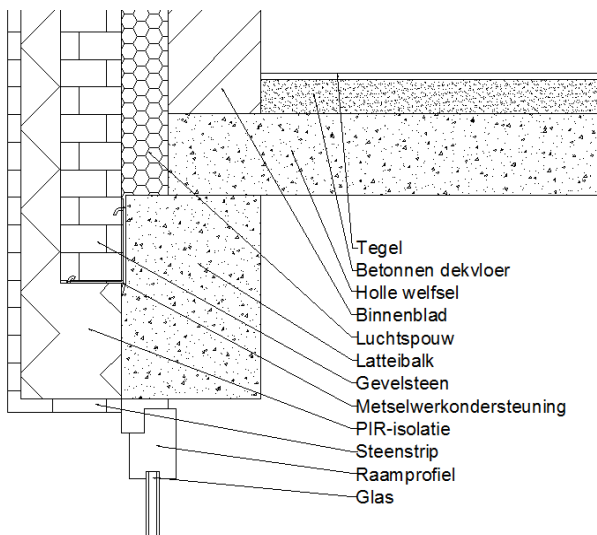
B. Spouwmuurisolatie



Energetisch besluit

K-peil	109
E-peil	262
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	0,43
f-factor	0,46

C. Spouwmuurisolatie + buitengevelisolatie

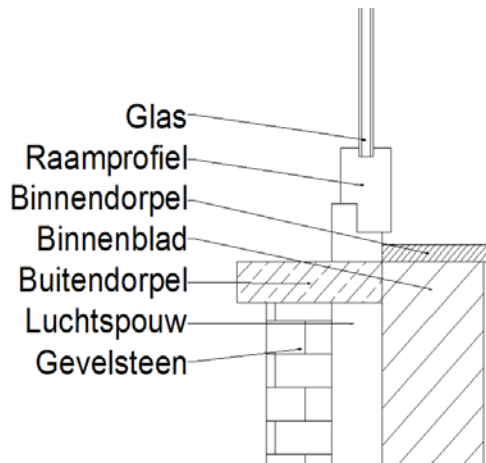


Energetisch besluit

K-peil	102
E-peil	250
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	0,23
f-factor	0,76

Raamaansluiting vensterbank

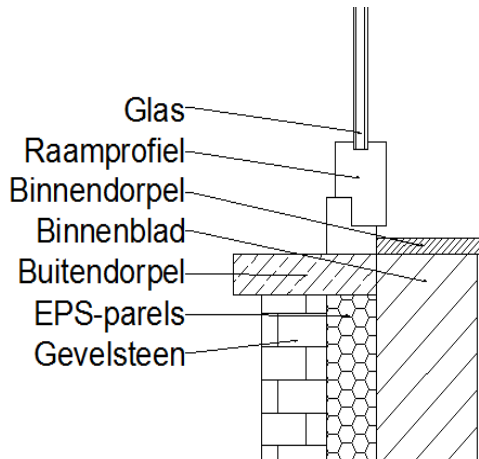
A. Bestaande toestand



Energetisch besluit

K-peil	162
E-peil	356
U-waarde	
Raam	1,90
Muur	1,93
f-factor	0,78

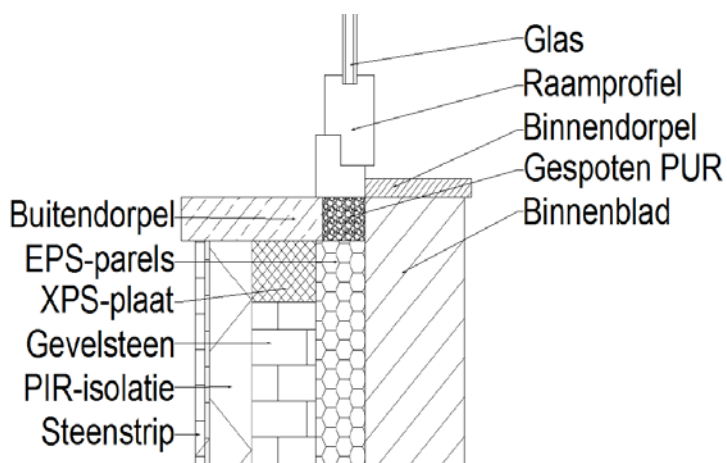
B. Spouwmuurisolatie



Energetisch besluit

K-peil	109
E-peil	262
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	0,43
f-factor	0,63

C. Spouwmuurisolatie + buitengevelisolatie

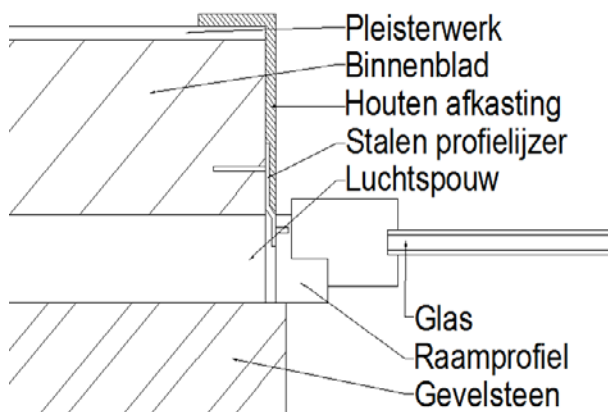


Energetisch besluit

K-peil	102
E-peil	250
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	0,23
f-factor	0,87

Raamaansluiting zijaanzicht

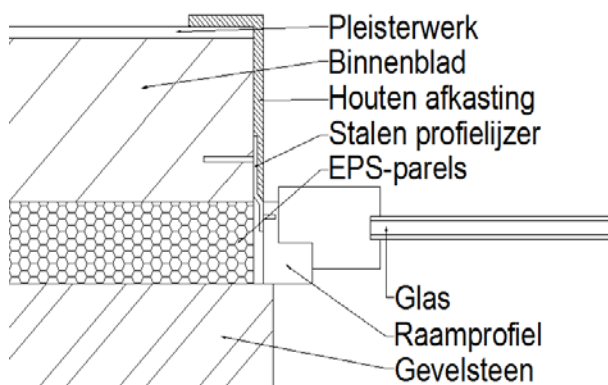
A. Bestaande toestand



Energetisch besluit

K-peil	162
E-peil	356
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	1,93
f-factor	0,57

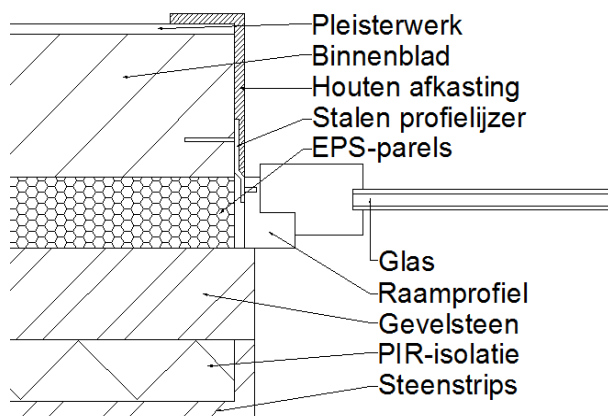
B. Spouwmuurisolatie



Energetisch besluit

K-peil	109
E-peil	162
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	0,43
f-factor	0,8

C. Spouwmuurisolatie + buitengevelisolatie



Energetisch besluit

K-peil	102
E-peil	250
U-waarde	
Raam	2,97
Muur	0,23
f-factor	0,81

BIJLAGE D: VERZADIGINGSDAMPDRUK TABEL

verzadigingsdampdrukken p'd in Pa										
θ (°C) ↓	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-10	260	257	255	253	251	248	246	244	242	240
-9	284	281	279	276	274	271	269	267	264	262
-8	310	307	304	302	299	296	294	291	289	286
-7	338	335	332	329	326	323	321	318	315	312
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	344	341
-5	401	398	394	391	388	384	381	378	375	371
-4	437	433	430	426	422	419	415	412	408	405
-3	475	471	467	464	460	456	452	448	444	441
-2	517	513	509	504	500	496	492	488	484	479
-1	562	558	553	548	544	539	535	530	526	522
0	611	606	601	596	591	586	581	576	572	567
0	611	615	620	624	629	634	638	643	647	652
1	657	662	666	671	676	681	686	691	696	701
2	706	711	716	721	726	731	736	742	747	752
3	758	763	768	774	779	785	790	795	802	807
4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866
5	872	878	884	890	896	903	909	915	922	928
6	935	941	948	954	961	967	974	981	987	994
7	1001	1008	1015	1022	1029	1036	1043	1050	1057	1065
8	1072	1079	1087	1094	1101	1109	1117	1124	1132	1139
9	1147	1155	1163	1171	1178	1186	1194	1203	1211	1219
10	1227	1235	1243	1252	1260	1269	1277	1286	1294	1303
11	1312	1320	1329	1338	1347	1356	1365	1374	1383	1392
12	1401	1411	1420	1429	1439	1448	1458	1467	1477	1487
13	1497	1506	1516	1526	1536	1546	1556	1566	1577	1587
14	1597	1608	1618	1629	1639	1650	1661	1671	1682	1693
15	1704	1715	1726	1737	1748	1760	1771	1782	1794	1805
16	1817	1829	1840	1852	1864	1876	1888	1900	1912	1924
17	1936	1949	1961	1973	1986	1999	2011	2024	2037	2050
18	2063	2076	2089	2102	2115	2128	2142	2155	2169	2182
19	2196	2210	2224	2237	2251	2265	2280	2294	2308	2322
20	2337	2351	2366	2381	2395	2410	2425	2440	2455	2470
21	2486	2501	2516	2532	2547	2563	2579	2595	2611	2627
22	2643	2659	2675	2691	2707	2724	2741	2758	2774	2791
23	2808	2825	2842	2859	2877	2894	2912	2929	2947	2965
24	2983	3001	3019	3037	3055	3073	3092	3110	3129	3148
25	3166	3185	3204	3224	3243	3262	3281	3301	3321	3340
26	3360	3380	3400	3420	3440	3461	3481	3502	3522	3543
27	3564	3585	3606	3627	3649	3670	3692	3713	3735	3757
28	3779	3801	3823	3845	3868	3890	3913	3935	3958	3981
29	4004	4028	4051	4074	4098	4122	4145	4169	4193	4218
30	4242	4266	4291	4315	4340	4365	4390	4415	4440	4466
31	4491	4517	4543	4569	4595	4621	4647	4673	4700	4727
32	4753	4780	4807	4835	4862	4889	4917	4945	4973	5001
33	5029	5057	5085	5114	5143	5171	5200	5229	5259	5288
34	5318	5347	5377	5407	5437	5467	5498	5528	5559	5590
35	5621	5652	5683	5715	5746	5776	5810	5842	5874	5907
36	5939	5972	6004	6037	6071	6104	6137	6171	6205	6239
37	6273	6307	6341	6376	6410	6445	6480	6516	6551	6587
38	6622	6658	6694	6730	6767	6803	6840	6877	6914	6951
39	6989	7026	7064	7101	7140	7178	7217	7255	7294	7333
40	7372	7412	7451	7491	7531	7571	7611	7652	7692	7733

Bron: [25]

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Typologiewoning sociale woningbouw: impact op energetisch en structureel niveau bij een BEN-renovatie

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2015**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Deckers, Timo

Vaesen, Wouter

Datum: **1/06/2015**