

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

Masterproef

Toepassing van verschillende Europese renovatiecriteria op rijwoningen in Vlaanderen

Promotor :
ing. Pascal VANNITSEN

Promotor :
ir. arch. JAN MARIEN

Ann Claes , Inez Schoenaerts

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

Toepassing van verschillende Europese renovatiecriteria
op rijwoningen in Vlaanderen

Promotor :
ing. Pascal VANNITSEN

Promotor :
ir. arch. JAN MARIEN

Ann Claes , Inez Schoenaerts

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

Dankwoord

Bij aanvang van deze scriptie willen we in de eerste plaats enkele mensen bedanken die rechtstreeks of onrechtstreeks hebben bijgedragen aan de realisatie van dit onderzoek.

In de eerste plaats willen we het gehele docententeam van de Universiteit Hasselt bedanken. Zij hebben ons de afgelopen jaren de nodige kennis en vaardigheden bijgebracht om deze scriptie aan te vatten en ons klaar te stomen om binnenkort onze eerste stappen in het werkveld te zetten.

Vervolgens willen we onze promotoren ing. Pascal Vannitsen en ir. arch. Jan Mariën bedanken voor hun feedback, opbouwende kritiek en expertise doorheen de verwezenlijking van dit onderzoek. We stellen hun ondersteuning ten zeerste op prijs.

In dit dankwoord willen we ook ir. arch. Wouter Hilderson en ing. Wesley Ceulemans vermelden. Zij hebben onze vragen beantwoord over o.a. de THERM- en PHPP-software.

Graag willen we ook onze medestudenten Sofie Bollen en Steven Berghmans bedanken voor de leuke autoritten naar PassiefhuisPlatform in Berchem. Dankzij hen werd in de file staan een feest.

Een speciaal dankwoord gaat uit naar onze ouders. Gedurende de hele opleiding konden we altijd op jullie rekenen. Dit geldt ook voor onze vrienden en vriendinnen. Ondanks dat we allemaal in hetzelfde schuitje zaten, hebben we er toch een fijn laatste jaar van gemaakt.

Inhoud

Dankwoord	1
Tabellenlijst	7
Figurenlijst	9
Symbolen en afkortingen	11
Abstract	13
Abstract in English	15
1 Inleiding	17
1.1 <i>Situering</i>	17
1.2 <i>Probleemstelling en onderzoeksvraag</i>	18
1.3 <i>Doelstellingen</i>	19
1.4 <i>Methodiek</i>	20
2 Literatuurstudie	21
2.1 <i>Kyotoprotocol</i>	21
2.2 <i>Het Europese klimaatplan (post-Kyoto)</i>	21
2.2.1 <i>Hoe zullen deze doelstellingen behaald worden?</i>	21
2.2.2 <i>Doelstellingen met betrekking tot gebouwen</i>	22
2.3 <i>Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB)</i>	23
2.4 <i>België</i>	24
2.4.1 <i>Bijna-energie neutraal (ver-)bouwen (BEN)</i>	24
2.4.2 <i>EPB-eisen</i>	27
2.4.3 <i>Energierenovatieprogramma 2020</i>	31
2.5 <i>Nederland</i>	35
2.5.1 <i>Energieprestatiecoëfficiënt (EPC)</i>	35
2.5.2 <i>Netto-energiebehoefte</i>	36
2.5.3 <i>Thermische isolatie</i>	36
2.5.4 <i>Luchtvolumestroom</i>	37
2.5.5 <i>Renovatie van gebouwen</i>	37
2.6 <i>Duitsland</i>	38
2.6.1 <i>Algemene eisen</i>	39

2.6.2	Eisen per individuele bouwcomponent.....	39
2.7	<i>Passiefhuisstandaard</i>	40
2.8	<i>Samenvatting van de eisen</i>	41
2.8.1	Vergelijken U- en R-waarden.....	41
2.8.2	Samenvattende tabel.....	42
2.9	<i>Referentiewoningen</i>	43
2.9.1	Rijwoningen in 1920	43
2.9.2	Rijwoningen in 1970	44
2.10	<i>Trias Energetica</i>	45
2.11	<i>Methode van Glaser</i>	46
2.11.1	Randvoorwaarden.....	46
2.11.2	Berekeningen	49
2.12	<i>Berekening van bouwknopen</i>	51
2.12.1	THERM-software	53
2.13	<i>Rapportage van de energieprestatie</i>	53
2.13.1	PHPP-software.....	53
3	Onderzoek naar de huidige toestand	55
3.1	<i>Woning uit 1920</i>	55
3.1.1	Overzicht U-waarden in de huidige toestand.....	56
3.1.2	Bouwknopen.....	57
3.2	<i>Woning uit 1977</i>	62
3.2.1	Opbouw constructiedelen met bijhorende U-waarden in de huidige toestand	63
3.2.2	Bouwknopen.....	64
3.3	<i>Vergelijking van de huidige toestand</i>	68
4	Situering van de huidige toestand in de regelgeving	69
4.1	<i>Woning uit 1920</i>	69
4.2	<i>Woning uit 1977</i>	70
5	Technische installaties	71
5.1	<i>Ventilatie</i>	71
5.1.1	Ventilatiedebieten woning 1920.....	73
5.1.2	Ventilatiedebieten woning 1977.....	73

5.2	<i>Verwarmingsketel</i>	74
6	Aanpassingen aan de gebouwschil	77
6.1	<i>Woning uit 1920</i>	77
6.1.1	Renovatie volgens EnerPHit.....	77
6.1.2	Renovatie volgens BEN	82
6.1.3	Renovatie volgens de Belgische EPB-eisen.....	83
6.1.4	Renovatie volgens de Nederlandse eisen	84
6.1.5	Renovatie volgens de passiefhuisstandaard	85
6.1.6	Samenvattende tabel.....	86
6.1.7	Bouwknopen.....	87
6.1.8	Glaser-berekeningen	88
6.2	<i>Woning uit 1977</i>	96
6.2.1	Renovatie volgens EnerPHit.....	96
6.2.2	Renovatie volgens BEN	100
6.2.3	Renovatie volgens de Belgische EPB-eisen.....	100
6.2.4	Renovatie volgens de Nederlandse eisen	101
6.2.5	Renovatie volgens de passiefhuisstandaard	101
6.2.6	Samenvattende tabel.....	102
6.2.7	Bouwknopen.....	103
7	Luchtdichtheid	105
8	PHPP-software	109
8.1	<i>Vloer</i>	109
8.2	<i>Netto-energiebehoefte</i>	111
9	Algemene vergelijking	113
9.1	<i>Isolatiediktes</i>	113
9.1.1	Gevels.....	113
9.1.2	Daken en plafonds	114
9.2	<i>Netto-energiebehoefte</i>	116
9.3	<i>Verband tussen de isolatiediktes en netto-energiebehoefte</i>	117
10	Conclusie	119

10.1	Vooruitblik.....	119
	Referenties.....	121
	Bijlagen	125
Bijlage 1.	Grondplannen rijhuis 1920.....	126
Bijlage 2.	Grondplannen rijhuis 1977.....	129
Bijlage 3.	Technische fiche donkere mangaansteen.....	131
Bijlage 4.	Technische fiche lichte gevelsteen.....	132
Bijlage 5.	Technische fiche Argex-korrels.....	133
Bijlage 6.	Technische gegevens Vitoladens 333-F.....	134
Bijlage 7.	Technische gegevens LWZ 70 E.....	138
Bijlage 8.	Technische fiche in situ gespoten PUR.....	140
Bijlage 9.	Technische fiche Kingspan Therma TR26.....	141
Bijlage 10.	Technische fiche Kingspan Kooltherm K3.....	142
Bijlage 11.	Technische fiche Kingspan Kooltherm K17.....	143
Bijlage 12.	Technische fiche Kingspan Kooltherm K5.....	144
Bijlage 13.	Technische fiche ENERsign® plus.....	145
Bijlage 14.	Technische fiche passiefhuisdeur.....	149
	Bijlagen op CD-rom.....	150

Tabellenlijst

Tabel 1: Maximale U-waarden voor constructiedelen in een BEN-woning [15].....	25
Tabel 2: Overzicht EPB-aangiften 2006-2010 [16].....	27
Tabel 3: Eisen thermische isolatie Nederland	36
Tabel 4: Algemene eisen EnerPHit [29].....	39
Tabel 5: Eisen per bouwcomponent EnerPHit [29].....	39
Tabel 6: Eisen passiefhuisstandaard vanaf 01/07/2009 [31]	40
Tabel 7: Warmteovergangswaarden [32].....	41
Tabel 8: Maandconstanten [39]	47
Tabel 9: Binnenluchttemperatuur naargelang de aard van het gebouw [39]	47
Tabel 10: Absorptiefactor voor kortgolelige straling van het buitenoppervlak a_k voor de gebruikte materialen in deze scriptie [40].....	48
Tabel 11: Weergave van de dampdruk binnen per klimaatklasse [39]	49
Tabel 12: Grenswaarden voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt.....	51
Tabel 13: U-waarden constructiedelen huidige toestand woning 1920.....	56
Tabel 14: Berekening van de Ψ_e -waarden van de bouwknopen in de woning uit 1920.....	59
Tabel 15: Opbouw en U-waarden constructiedelen huidige toestand woning 1977	63
Tabel 16: Berekening van de Ψ_e -waarden van de bouwknopen in de woning uit 1977.....	66
Tabel 17: Luchtdichtheidswaarden per ventilatiesysteem [46]	71
Tabel 18: Vergelijking ventilatiesystemen [46]	72
Tabel 19: Berekening ventilatiedebieten woning 1920	73
Tabel 20: Berekening ventilatiedebieten woning 1977	73
Tabel 21: Richtwaarden verwarmingsvermogen per ruimte [47].....	74
Tabel 22: Berekening ketelvermogen voor de woning uit 1920.....	74
Tabel 23: Berekening ketelvermogen voor de woning uit 1977.....	75
Tabel 24: Opbouw van het dak in de verbeterde toestand.....	78
Tabel 25: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de EnerPHit-eisen	81
Tabel 26: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de BEN-eisen.....	82
Tabel 27: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de Belgische EPB-eisen.....	83
Tabel 28: Samenvatting van de isolatiediktes volgens de Nederlandse eisen	84
Tabel 29: Samenvatting isolatiediktes volgens de passiefhuisstandaard	85
Tabel 30: Samenvatting isolatiediktes huis 1920	86
Tabel 31: Samenvatting van de Ψ -waarden per bouwknop en per eis in vergelijking met de huidige toestand voor de woning uit 1920	87
Tabel 32: Binnenluchttemperatuur naargelang de aard van het gebouw [39].....	88
Tabel 33: Opbouw voorgevel verdiep 0	89
Tabel 34: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de voorgevel verdiep 0	89
Tabel 35: Opbouw bijbouw 1	90
Tabel 36: Samenvatting van de Glaser-berekening voor bijbouw 1.....	90
Tabel 37: Opbouw bijbouw 2.....	91
Tabel 38: Samenvatting van de Glaser-berekening voor bijbouw 2.....	91
Tabel 39: Opbouw muur berging	92
Tabel 40: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de muur van de berging	92
Tabel 41: Opbouw voorgevel verdiep 1	93
Tabel 42: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de voorgevel verdiep 1	93
Tabel 43: Opbouw achtergevel verdiep 1.....	94

Tabel 44: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de achtergevel verdiep 1.....	94
Tabel 45: Opbouw plat dak.....	95
Tabel 46: Samenvatting van de Glaser-berekening voor het plat dak.....	95
Tabel 47: Maximale U-waarden voor gevels	98
Tabel 48: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de EnerPHit eisen.....	99
Tabel 49: Samenvattende tabel van isolatiediktes volgens de BEN-eisen	100
Tabel 50: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de EPB-eisen	100
Tabel 51: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de Nederlandse eisen	101
Tabel 52: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de passiefhuisstandaard ..	101
Tabel 53: Samenvatting isolatiediktes huis 1977	102
Tabel 54: Samenvatting van de Ψ -waarden per bouwknoop en per eis in vergelijking met de huidige toestand voor de woning uit 1977	103
Tabel 55: Waarden van de verliesoppervlakte en het volume van de referentiewoningen	105
Tabel 56: Berekening van de v_{50} -waarden voor Duitsland en de passiefhuisstandaard ...	105
Tabel 57: Berekening van de v_{50} -waarden voor Nederland.....	107
Tabel 58: Bepaling van de grondreductiefactor voor de verschillende eisen	110

Figurenlijst

Figuur 1: Primair energieverbruik per sector in België [2]	17
Figuur 2: Tijdlijn van de nZEB-gerelateerde acties volgens de Richtlijn [10]	23
Figuur 3: Klimaat-energiedoelstellingen voor België [11]	24
Figuur 4: Evolutie van het E-peil [13]	27
Figuur 5: Evolutie E-peil en K-peil 2006-2010 [16]	28
Figuur 6: EPB-eisen bij renovatie in Vlaanderen vanaf 2015 [17]	28
Figuur 7: EPB-eisen bij renovatie in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [17]	29
Figuur 8: EPB-eisen bij renovatie in het Waalse Gewest [17]	29
Figuur 9: Maximale U- en minimale R-waarden in België [17]	30
Figuur 10: Aandeel per sector van de totale uitstoot van broeikasgassen [23]	33
Figuur 11: Overzicht doelstellingen en realisaties Europese 2020-strategie in Nederland [25]	35
Figuur 12: Maximale EPC-waarde per gebruiksfunctie [26]	36
Figuur 13: Grenswaarden rechtens verkregen niveau [27]	37
Figuur 14: Overzicht doelstellingen en realisaties Europese 2020-strategie Duitsland [28]	38
Figuur 15: Combinatiemogelijkheden glas-constructie [34]	43
Figuur 16: Trias Energetica [38]	45
Figuur 17: Grafiek ter bepaling van $\theta_{e} *$ [39]	48
Figuur 18: Grafiek ter bepaling van $\theta_{e} *$ [39]	48
Figuur 19: Voorbeeld van de berekening van het condensatiedebiet	50
Figuur 20: Principeschema EPB-aanvaarde bouwknopen	51
Figuur 21: Voorbeeld numerieke output THERM	53
Figuur 22: Voorgevel van de woning uit 1920	55
Figuur 23: Bouwknopen op het gelijkvloers van de woning uit 1920	57
Figuur 24: Bouwknopen op het eerste verdiep van de woning uit 1920	58
Figuur 25: Snede van de woning uit 1920	58
Figuur 26: Voorgevel van de woning uit 1977	62
Figuur 27: Bouwknopen aangeduid op grondplannen van het huis uit 1977	64
Figuur 28: Bouwknopen aangeduid op snede A huis 1977	65
Figuur 29: Bouwknopen aangeduid op snede B huis 1977	65
Figuur 30: Benodigde toevoer- en afvoerdebieten per ruimte [13]	72
Figuur 31: Samenvatting isolatiediktes huis 1920	86
Figuur 32: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de voorgevel verdiep 0	89
Figuur 33: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van bijbouw 1	90
Figuur 34: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van bijbouw 2	91
Figuur 35: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de muur van de berging	92
Figuur 36: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de voorgevel verdiep 1	93
Figuur 37: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de achtergevel verdiep 1	94

Figuur 38: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en –dampdrukken van het platte dak.....	95
Figuur 40: Resultaten blowerdoortest 1 [51]	106
Figuur 41: Resultaten blowerdoortest 2 [52]	106
Figuur 42: Resultaten blowerdoortest 3 [53]	106
Figuur 43: Resultaten blowerdoortest 4 [54]	106
Figuur 44: Invloed van de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte voor de woning uit 1920.....	107
Figuur 45: Invloed van de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte voor de woning uit 1977.....	107
Figuur 46: Tabblad “Bodem” uit PHPP-software.....	110
Figuur 47: Netto-energiebehoefte volgens PHPP.....	111
Figuur 48: Isolatiedikte gevels	113
Figuur 49: Isolatiediktes plat dak	114
Figuur 50: Isolatiedikte hellend dak.....	114
Figuur 51: Isolatiediktes zoldervloer	115
Figuur 52: Jaarlijkse netto-energiebehoefte voor verwarming.....	116
Figuur 53: Relatie tussen isolatiediktes en netto-energiebehoefte woning 1920	117
Figuur 54: Relatie tussen isolatiedikte en netto-energiebehoefte woning 1977	118

Symbolen en afkortingen

ε	Emissiecoëfficiënt
$\bar{\theta}$	Jaargemiddelde temperatuur binnen of buiten (°C)
$\hat{\theta}$	Amplitudo van de sinusoidaal schommelende temperatuur binnen of buiten (°C)
θ_e	Buitenluchttemperatuur (°C)
θ_i	Binnenluchttemperatuur (°C)
λ -waarde	Warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal (W/mK)
μ -waarde	Diffusieweerstandsgetal
Φ_{1D}	De som van de stationaire warmtestromen door de samenstellende scheidingsconstructies van het model
Φ_{2D}	De tweedimensionale warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, betekend met gevalideerde numerieke software
Ψ_e	Lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt van een bouwknoop
°C	Graden Celsius
a_k	Absorptiefactor voor kortgolvlige straling van het buitenoppervlak
AOR	Aangrenzende onverwarmde ruimte
BEN	Bijna-energieneutraal
CH ₄	Methaan
CO ₂	Koolstofdioxide
EPB	Energieprestatieregeling voor bouwers
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPC	Energieprestatiecertificaat
EPS	Geëxpandeerd polystyreen
E-peil	Maat voor de energieprestatie van een woning en de vaste installaties ervan in standaardomstandigheden
HFK	Fluorkoolwaterstof
HR-glas	Hoogrendementsglas
kg/m ² s	Kilogram per vierkante meter per seconde
Kh	Kelvinuur
K-peil	Kengetal om de graad van thermische verliezen door de gebouwschil aan te geven
kWh/m ² a	Kilowattuur per vierkante meter per jaar
m/s	Meter per seconde
N ₂ O	Distikstofoxide (lachgas)
n ₅₀	Ventilatievoud per uur doorheen een schil, bij een drukverschil van 50 Pa binnen en buiten de schil
nZEB	Nearly-Zero Energy Building
p	Dampdruk (Pa)
Pa	Pascal
PFK	Perfluorkoolstof
PHPP	Passiefhuis-Projecteringspakket
PUR	Polyurethaan
PVC	Polyvinylchloride

q	Warmtestroomdichtheid (W/m ²) Of dampstroomdichtheid (kg/m ² s)
R _{se}	Warmteovergangswaarde aan de koude zijde van het constructiedeel
R _{si}	Warmteovergangswaarde aan de warme zijde van het constructiedeel
R-waarde	Warmteweerstandscoefficiënt van een materiaal laag $R = \frac{\text{dikte}}{\text{warmtegeleidingscoëfficiënt}} = \frac{d \text{ (m)}}{\lambda \left(\frac{W}{mK}\right)} [m^2K/W]$
SF ₆	Zwavelhexafluoride
U-waarde	Warmtedoorgangscoefficiënt van een bouwdeel (W/m ² K)
W/m ²	Watt per vierkante meter
WTCB	Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
Z	Diffusieweerstandsgetal (m/s)

Abstract

Na het Kyotoprotocol stelt Europa duidelijke doelen voor 2020. Gebouwen vertegenwoordigen ongeveer één derde van het primaire energieverbruik in de wereld. Bijgevolg kan het energiezuinig maken van bestaande gebouwen het primair energieverbruik reduceren.

Voor de renovatie van gebouwen stelt elke Europese lidstaat bepaalde eisen. Dit onderzoek brengt verschillende van deze eisen in kaart en past deze toe op rijwoningen, omdat deze typologie 24,6 % van het gebouwenpatrimonium in België representeert. Twee referentiewoningen uit verschillende periodes worden vergeleken op gebied van energieprestatie voor en na renovatie op basis van deze verschillende eisen.

Om een adequate vergelijking te bekomen, wordt een referentieniveau gedefinieerd. Beide woningen worden voorzien van hetzelfde ventilatie- en verwarmingssysteem. Dit referentieniveau vormt de basis van het verdere onderzoek. Via simulaties in de EPB- en PHPP-software wordt de gebouwschil van beide woningen aangepast tot op het niveau van de verschillende standaarden. In het geval van binnenisolatie wordt de oplossing gecontroleerd op inwendige condensatie met behulp van de methode van Glaser.

Bij het bepalen van de netto-energiebehoefte heeft de luchtdichtheid een grote invloed. Na het linken van de isolatiediktes aan de netto-energiebehoefte kan besloten worden dat wanneer men bij de renovatie van een rijwoning best kiest voor een renovatie volgens de Duitse eisen in geval van binnenisolatie. In geval van buitenisolatie past men best de Passiefhuisstandaard toe.

Abstract in English

Since the Kyoto Protocol ended in 2012, Europe has set new clear goals for 2020. Buildings represent about a third of the primary energy consumption in the world. In order to reduce this primary energy consumption, making existing buildings more energy efficient can provide a solution.

For the renovation of buildings, each European Member State provides specific requirements. This thesis maps the requirements of different Member States and applies them to town houses. This type of house accounts 24.6% of the buildings in Belgium. Two houses from different construction periods are compared in the field of energy performance before and after renovation.

In order to obtain an adequate comparison, a reference level is defined. Both houses are accommodated with the same ventilation- and heating system. This reference level lays the foundations for further research. The building envelope will be adjusted to the desired level using the EPB- and PHPP-software. In case of interior insulation, the solution is checked on internal condensation using the Glaser method.

The airtightness of the building has a great influence in determining the demand of energy. In case of the Passive-house standard, the energy demand decreases by 25%. When the thickness of the insulation is related to the energy demand, it can be concluded that when the building is insulated on the inside, it is best to follow the German standard. When the building is insulated on the outside, it is desirable to follow the Passive-house standard.

1 Inleiding

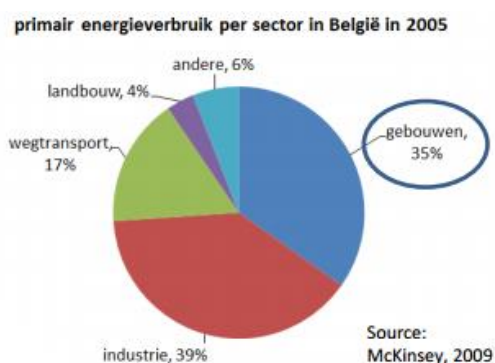
1.1 Situering

Om de klimaatverandering tegen te gaan, zijn er wereldwijd reeds verschillende acties ondernomen. In 1997 werden voor de eerste keer duidelijke doelstellingen vastgelegd in het Kyoto-protocol. Dit Protocol stelt dat elk deelnemend industrieland zijn jaarlijkse uitstoot van belangrijkste broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFK's en PFK's) vermindert met gemiddeld 5% ten opzichte van 1990. Het engagement van België hierin was een vermindering met 7,5%, Vlaanderen 5,2%.

Het Kyoto-protocol was geldig van 2008 tot 2012. In 2013 trad in Europa het klimaatplan in werking. In dit klimaatplan legt Europa doelstellingen op aan haar lidstaten tegen het jaar 2020.

Het komt erop neer dat de lidstaten van de Europese Unie tegen 2020 de totale CO₂-uitstoot moeten terugdringen met 20%, een daling van 20% in het energieverbruik moet verwezenlijken en het aandeel van hernieuwbare energie moet verhogen met 20% ten opzichte van 1990. Deze inspanningen moeten nationaal verdeeld worden. [1]

Omdat het aandeel van gebouwen in het totale energieverbruik 35% bedraagt (figuur 1), kan een verbetering van de energieprestaties van gebouwen een grote energiebesparing opleveren.



Figuur 1: Primair energieverbruik per sector in België [2]

Als masterstudenten Industrieel Ingenieur Bouwkunde aan de UHasselt- KULeuven zullen wij onze masterproef uitvoeren in samenwerking met de vzw Passiefhuis-Platform. Passiefhuis-Platform is een zelfstandige organisatie opgericht in 2002, die samengesteld is uit vooraanstaande instellingen en personen uit de bouwwereld. Ieder van hen vertoont een sterk engagement tegenover energiebesparing en duurzame ontwikkeling. De organisatie is een aanspreekpunt voor alle partijen, die bij een bouwproces betrokken zijn, die ondersteuning nodig hebben. Ze trachten zoveel mogelijk informatie te geven aan alle geïnteresseerde partijen [3].

Omdat deze vzw de bouw van zeer energiezuinige woningen stimuleert en omdat het woningbestand in België grotendeels bestaat uit huizen gebouwd voor de jaren '60, zal deze scriptie zich toeleggen op het energiezuiniger maken van bestaande woningen.

Het energieverbruik kan aangepakt worden door energiezuinig te bouwen, met het oog op het gebruik van hernieuwbare energie, maar ook in de bestaande woningbouw zit potentieel: in Vlaanderen heeft nog steeds één derde van de woningen een ongeïsoleerd dak of ramen met enkel glas. Ook zijn er nog verschillende woningen met een verouderde cv-ketel: eind 2005 telde het aantal cv-ketels ouder dan 20 jaar in Vlaanderen 800.000. [4]

1.2 Probleemstelling en onderzoeksvraag

Deze scriptie tracht een mogelijke oplossing te vinden voor het energiezuiniger maken van bestaande woningen. De focus ligt op rijwoningen omdat deze 24,6 % van het aantal gebouwen in Vlaanderen omvatten. Open en halfopen bebouwingen worden, ondanks hun grote aandeel in het woningbestand (33,7%), hierbij buiten beschouwing gelaten omdat de uitdaging bij renovatie van een rijwoning groter is. [5] Dit omdat er rekening moet gehouden worden met de gemeenschappelijke muren. Uitbreidingsmogelijkheden aan de voorgevel zijn vaak moeilijk uit te voeren, omdat deze vaak al gebouwd is tot net tegen de rooilijn. Bij halfopen en open bebouwing zijn er meer uitbreidingsmogelijkheden waardoor men niet met deze problematiek te maken heeft.

Aan de hand van twee rijwoningen, gebouwd in verschillende periodes, worden eisen uit verschillende Europese lidstaten met elkaar vergeleken. Elke Europese lidstaat heeft zijn eigen invulling gegeven aan de EPBD-eisen. Beide referentiewoningen zullen verbeterd worden aan de hand van deze standaarden. Zo kan de invloed van de maximale U-waarden en de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte in kaart gebracht worden.

Om alle renovatie-opties te bekijken, zal één woning langs de binnenkant en de andere woning langs de buitenkant geïsoleerd worden. Rijwoningen zijn vaak gebouwd tot tegen de rooilijn, waardoor het halen van de U-waarde vaak moeilijk is: volgens het Rooilijndecreet [6] mag, na gunstig advies van de wegbeheerder, de gevelisolatie de rooilijn met slechts 14 cm overschrijden. De constructiedelen van deze woning zullen na isolatie gecontroleerd worden op vochtproblemen met behulp van de methode van Glaser.

Dit leidt ons tot volgende onderzoeksvraag:

“Wat zijn de maatregelen bij verschillende Europese standaarden om tot een energiezuinige renovatie van rijwoningen te komen en welk van deze standaarden leidt tot de meest energiezuinige renovatie-oplossing, rekening houdend met de luchtdichtheid en de maximale U-waarden?”

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden splitsen we deze op in verschillende deelvragen:

- Wat is het Europees kader waarbinnen de EPB-eisen tot stand zijn gekomen?
- Wat zijn de EPB-eisen voor het jaar 2015 voor renovatie?
- Wat houdt het Energierenovatieprogramma 2020 in?
- Wat is Bijna Energie Neutraal- en passief bouwen?
- Hoe worden de Europese eisen in Nederland en Duitsland toegepast?
- Hoe zijn de onderzochte huizen opgebouwd m.a.w. wat was de manier van bouwen in het bouwjaar van de onderzochte huizen?
- Wat is het huidige energieprestatieniveau van de onderzochte huizen?
- Op welke manier moet de gebouwschil aangepast worden om aan de maximale U-waarden van de verschillende standaarden te voldoen?
- Zijn deze aanpassingen voor beide woningen hetzelfde of zijn er verschillen?
- Doen er zich specifieke problemen voor bij de voorgestelde oplossingen?
- Wat is de invloed van de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte?

1.3 Doelstellingen

Met deze scriptie willen we een beeld krijgen van de verschillende eisen die Europese lidstaten stellen voor renovatie.

Om deze opgave tot een goed einde te brengen, delen we deze hoofddoelstelling in in enkele deeldoelstellingen:

Een eerste deeldoelstelling is een antwoord vinden op de vraag: “Wat zijn de beoogde energieprestaties bij renovaties?” Dit onderzoeken we voor zowel België als andere Europese landen. Deze eisen worden in een later stadium toegepast bij de renovatie van de referentiewoningen.

Een volgende deeldoelstelling is het onderzoeken van de gebruikte bouwmethodes in beide periodes om een beter zicht te krijgen op de opbouw van de te onderzoeken rijhuizen.

Het bepalen van de netto-energiebehoefte van de referentiewoningen is een derde deeldoelstelling. Dit gebeurt zowel in de huidige als in de gerenoveerde toestand. Ook de invloed van de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte wordt in kaart gebracht.

De vierde deeldoelstelling is het vergelijken van de resultaten van de twee referentiewoningen na renovatie.

1.4 Methodiek

De literatuurstudie vormt de basis van ons onderzoek. Deze studie licht het Europees klimaatplan voor 2020 toe en bespreekt het nZEB-principe. Later bekijken we hoe deze worden toegepast in verschillende Europese landen. Ook de nieuwste bouwprincipes zoals Bijna-Energie Neutraal (BEN) bouwen en passief bouwen komen aan bod. Omdat we twee huizen uit verschillende periodes gaan vergelijken, wordt ook de bouwmethode uit deze periodes besproken.

Vervolgens leggen we ons toe op een specifiek type huis, in dit geval een rijwoning. Eerst gaan we een referentieniveau voor de installaties vastleggen. In beide woningen worden hetzelfde ventilatiesysteem en dezelfde verwarmingsketel geïnstalleerd. Vervolgens wordt de gebouwschil aangepakt. Hierbij ligt de focus op het beperken van de energievraag, omdat dit de basis vormt van de Trias Energetica.

Hierna volgt een kritische evaluatie: leidt ons voorstel tot ongewenste neveneffecten zoals condensatie in de muur of koudebruggen?

Ten slotte wordt de invloed van het isoleren van de gebouwschil op de netto-energiebehoefte bepaald. Hierbij wordt rekening gehouden met de luchtdichtheidseisen. De resultaten van beide woningen worden met elkaar vergeleken: welke standaard heeft de kleinste netto-energiebehoefte bij zo laag mogelijke isolatiediktes en is dit hetzelfde voor beide woningen?

2 Literatuurstudie

2.1 Kyotoprotocol

Op 16 februari 2005 trad het Kyotoprotocol in werking. Deelnemende landen engageerden zich om de jaarlijkse uitstoot van belangrijke broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFK's en PFK's) te verlagen met gemiddeld 5% ten opzichte van 1990 in de periode 2008-2012. [1]

Om de reductiedoelstellingen te versoepelen, laat het Protocol toe om de uitstoot te compenseren door een beter bodemgebruik of door het aanplanten van bossen. Ook kunnen emissierechten aangekocht worden van landen met een overschot. Vervolgens is het ook mogelijk de uitstoot te compenseren door middel van Clean Development Mechanism en Joint Implementation, het investeren in uitstootbeperkende projecten respectievelijk in het Zuiden en in andere industrielanden.

2.2 Het Europese klimaatplan (post-Kyoto)

Na de afloop van het Kyotoprotocol in 2012 heeft Europa het voortouw genomen in de strijd tegen de verandering van het klimaat. De Europese leiders hebben zeer ambitieuze doelstellingen geformuleerd voor 2020 en de EU is de eerste regio die effectief een wetgeving heeft ontwikkeld omtrent deze klimaat- en energiedoelstellingen. [7]

Alle Europese lidstaten moeten tegen 2020 de CO₂-uitstoot verminderen met 20%, het energieverbruik terugdringen met 20% en het aandeel hernieuwbare energie verhogen met 20%. Deze inspanningen worden nationaal verdeeld. [8]

2.2.1 Hoe zullen deze doelstellingen behaald worden?

2.2.1.1 20% minder CO₂-uitstoot

Om deze doelstelling te behalen, zullen er in de eerste plaats vanaf 2013 minder emissierechten gratis worden toegekend. 60% van deze rechten zullen volgens een veilingsysteem moeten worden aangekocht. Omdat landbouw, bouw, transport en diensten buiten de emissiehandel vallen, worden voor deze sectoren nationale doelstellingen voor CO₂-uitstoot bepaald.

Ten tweede kan de EU haar doelstellingen ook via het Clean Development Mechanism en Joint Implementation halen. Een berekening van de Europese Unie bepaalde dat Europa op deze manier 80% van haar doelstellingen zou kunnen halen.

Ten derde bestaat de mogelijkheid tot CO₂-opvang en -opslag.

2.2.1.2 20% minder energieverbruik

De Europese Unie stelt strengere eisen voor milieuvriendelijke producten.

2.2.1.3 20% meer hernieuwbare energie

Een verhoging van het aandeel hernieuwbare energie zal een grote impact hebben op de energie-import in Europa. Op dit moment koopt Europa de helft van haar energie buiten de EU aan.

Dit moet ook zorgen voor een verhoging in het gebruik van biobrandstof. Tegen 2020 moet 10% van de brandstof uit de transportsector uit biobrandstof bestaan.

2.2.2 Doelstellingen met betrekking tot gebouwen

Omdat in Europa gebouwen ongeveer 40% innemen van het totale energieverbruik en omdat de sector steeds groeit, is hier een grote marge voor verbetering. Naast een verlaging van het energieverbruik in deze sector zal het gebruik van hernieuwbare energiebronnen bijdrage leveren in het behalen van de doelstellingen.

Omdat deze scriptie zich concentreert op de renovatie van bestaande gebouwen, bekijken we welke eisen de EU stelt voor deze gebouwen.

Artikel 7 in de Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement en de Raad van 19 mei 2010 handelt over bestaande gebouwen. Hierin wordt vastgelegd dat gebouwen die een (ingrijpende) renovatie ondergaan, moeten voldoen aan nationaal vastgestelde minimumeisen. Deze eisen moeten worden vastgesteld zodat wanneer een constructiedeel vernieuwd of vervangen wordt, dit een belangrijk effect heeft op de energieprestatie van de gebouwschil.

Ook moet elke lidstaat het gebruik van systemen met een hoog rendement zoals warmtekrachtkoppeling, stadsverwarming of warmtepompen.

Vervolgens stelt artikel 9 dat alle lidstaten nationale plannen moeten opstellen om te zorgen voor een toename van bijna-energieneutrale woningen. Ook moeten er maatregelen vastgesteld worden die de renovatie van gebouwen tot bijna-energieneutrale gebouwen stimuleren. [9]

2.3 Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB)

Artikel 9 uit de Richtlijn 2010/31/EU handelt over bijna-energie neutrale gebouwen of nearly Zero-Energy Buildings. De definitie luidt als volgt: “Gebouw met een zeer hoge energieprestatie, zoals vastgesteld volgens bijlage I. De dichtbij nul liggende of zeer lage hoeveelheid energie die is vereist, dient in zeer aanzienlijke mate te worden geleverd uit hernieuwbare bronnen, en dient energie die ter plaatse of dichtbij uit hernieuwbare bronnen wordt geproduceerd te bevatten”.

Volgende figuur geeft samengevat weer wat de EU verwacht in de evolutie van nZEB gebouwen:



Figuur 2: Tijdlijn van de nZEB-gerelateerde acties volgens de Richtlijn [10]

Elke lidstaat moet een nationaal plan ontwikkelen om het aantal bijna-energie neutrale gebouwen op te voeren. Dit plan moet onder andere een duidelijke definitie van nZEB bevatten en bespreken op welke manieren deze manier van (ver-)bouwen nationaal gepromoot zal worden.

Hieronder zullen enkele toepassingen van het nZEB-principe besproken worden voor België, Nederland en Duitsland.

2.4 België

België moet volgens de Europa-2020-strategie drie doelstellingen behalen: een reductie van de broeikasgasemissies met 15% ten opzichte van 2015 in de sectoren die niet vallen onder het Europese emissiehandelsysteem (landbouw, bouw, transport en diensten), een aandeel van 13% hernieuwbare energie in het totale energieverbruik en een vermindering van 18% in het primair energieverbruik. [11]

Onderstaande figuur geeft de doelstellingen weer en tonen de huidige situatie van België ten opzichte van deze doelstellingen.

	BE2011	BE2012	BE2020	Vereiste wijziging 2012-2020
Niet-ETS broeikasgassen, scope 13-20 (Mt CO ₂ -eq) ⁽¹⁾	70,0	71,1	66,7	-4,4
Aandeel hernieuwbare energie (%) ⁽²⁾	5,2	6,8	13,0	6,2 pp
Primair energieverbruik (Mtoe) ⁽²⁾	51,6	48,7	43,7	-5,0

pp: procentpunten

⁽¹⁾ De resultaten zijn gebaseerd op informatie van de gewesten.

⁽²⁾ de cijfers voor 2012 zijn voorlopig (Eurostat 17 januari 2014).

Figuur 3: Klimaat-energie-doelstellingen voor België [11]

Ook België heeft een invulling gegeven aan het nZEB-principe: de BEN-woning.

2.4.1 Bijna-energie-neutraal (ver-)bouwen (BEN)

De definitie van een BEN-woning bestaat uit 2 niveaus: [12]

1. Het gebouw heeft een hoge energieprestatie
2. De resterende energievraag moet worden gecompenseerd door hernieuwbare energie

Woningen die gebouwd of verbouwd zijn volgens de BEN-principes verbruiken weinig energie voor verwarming, koeling, ventilatie en warm water. De nodige energie wordt gehaald uit groene energiebronnen zoals een zonneboiler, warmtepomp, biomassa, stadsverwarming,... [13]

Concreet moet een BEN-woning voldoen aan volgende eisen: [14]

Een BEN-woning heeft een E-peil gelijk aan of kleiner dan E30 en een K-peil van maximaal K40. De verschillende constructiedelen moeten voldoen aan de eisen voor maximale U-waarden weergegeven in volgende tabel.

Tabel 1: Maximale U-waarden voor constructiedelen in een BEN-woning [15]

MAXIMAAL TOELAATBARE U-WAARDEN	
Constructiedeel	U_{max} (W/m ² K)
1. SCHEIDINGCONSTRUCTIES DIE HET BESCHERMD VOLUME OMHULLEN, met uitzondering van de scheidingsconstructies die de scheiding vormen met een aanpalend beschermd volume	
1.1 TRANSPARANTE SCHEIDINGCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), lichte gevels (zie 1.4), glasbouwsteenwanden (zie 1.5) en andere dan glas (zie 1.6)	1,50 en $U_{g,max} = 1,10$
1.2 OPAKE SCHEIDINGCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4)	0,24
1.2.1 daken en plafonds	
1.2.2 muren niet in contact met de grond, met uitzondering van de muren bedoeld in 1.2.4	
1.2.3 muren in contact met de grond	
1.2.4 verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermd volume	
1.2.5 vloeren in contact met de buitenomgeving	
1.2.6 andere vloeren (vloeren op volle grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermd volume, ingegraven keldervloeren)	
1.3 DEUREN EN POORTEN (met inbegrip van kader)	2,00
1.4 LICHTGEVELS	2,00 en $U_{g,max} = 1,10$
1.5 GLASBOUWSTEENWANDEN	2,00
1.6 TRANSPARANTE SCHEIDINGCONSTRUCTIES ANDERE DAN GLAS, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4)	2,00 en $U_{r,max} = 1,40$
2 SCHEIDINGCONSTRUCTIES TUSSEN TWEE BESCHERMDE VOLUMES OP AANGRENZENDE PERCELEN, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), transparante constructies (zie 1.1), lichte gevels (zie 1.4), glasbouwsteenwanden (zie 1.5) en transparante constructies andere dan glas (zie 1.6)	0,50
3 VOLGENDE OPAKE SCHEIDINGCONSTRUCTIES BINNEN HET BESCHERMD VOLUME OF PALEND AAN EEN BESTAAND BESCHERMD VOLUME, met uitzondering van deuren en poorten	
3.1 tussen aparte wooneenheden	1,00
3.2 tussen wooneenheden en gemeenschappelijke ruimten (trappenhuis, inkomhal, gangen, ...)	
3.3 tussen wooneenheden en ruimten met een niet-residentiële bestemming	
3.4 tussen ruimten met een residentiële bestemming en ruimten met een niet-industriële bestemming	

Omdat de energieprestatie van een BEN-woning voldoende hoog moet zijn, is de eis voor netto-energiebehoefte gelijk aan 70 kWh/m². De resterende energievraag wordt gecompenseerd door hernieuwbare energie.

Minstens één van de volgende maatregelen moet worden toegepast in de woning:

Zonneboiler

De apertuur moet een grootte van minstens 0,02 m² per m² bruikbare vloeroppervlakte hebben. De apertuur moet georiënteerd zijn tussen oost en west en ligt in een helling van 0° tot 70°.

PV-panelen

Deze panelen moeten minstens 7 kWh per m² bruikbare vloeroppervlakte van de woning produceren. De panelen moeten georiënteerd zijn tussen oost en west en in een helling van 0° tot 70° liggen.

Warmtepomp

Deze moet toegepast worden als hoofdverwarming. De seizoensprestatiefactor is minstens 4.

Biomassa-installatie

Deze moet toegepast worden als hoofdverwarming. Het rendement van deze installatie is minstens 85% en overschrijdt de emissieniveaus van CO en fijn stof niet.

Stadsverwarming of -koeling

Deze verwarming moet voor minstens 45% uit hernieuwbare bronnen geproduceerd worden.

Participatie

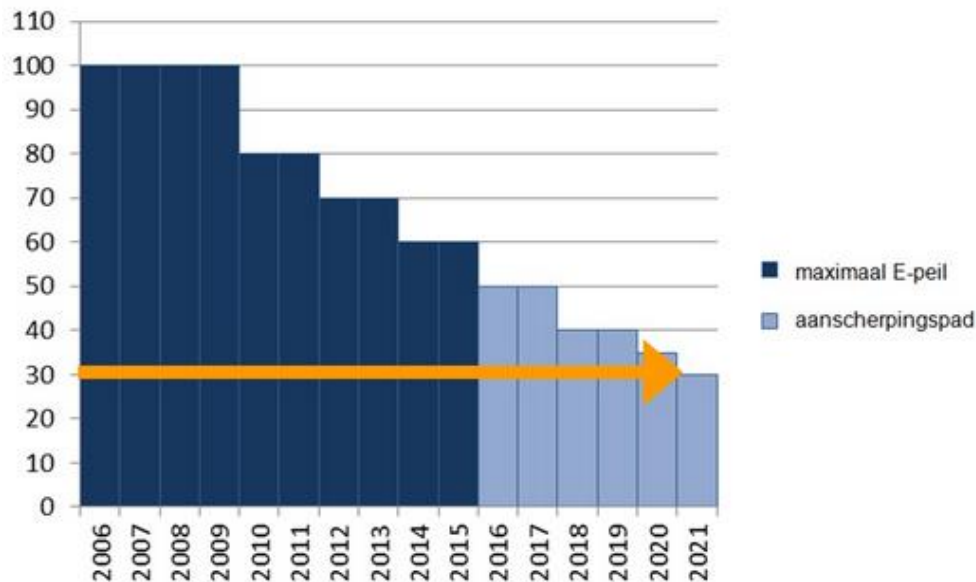
Deze participatie moet minstens 80 euro per m² vloeroppervlak bedragen. Het hernieuwbare energieproject moet binnen de provincie plaatsvinden.

Bijkomend zijn er ook eisen verbonden aan oververhitting en ventilatie. Om het risico op oververhitting te beperken, bedraagt de oververhittingsindicator in een wooneenheid maximaal 6500 Kh. Dit geldt voor woningen waarvan de vergunning aangevraagd werd vanaf 1/1/2014. Ook is de oververhittingsindicator per deel van de wooneenheid met een ander warmteafgiftesysteem maximaal 17500 Kh.

De ventilatie in een BEN-woning moet voldoen aan de eisen beschreven in bijlage IX van het Energiebesluit van 19 november 2010. Hierin staat onder andere dat de ventilatie maximaal 20 l/s of 72 m³/h mag bedragen.

2.4.2 EPB-eisen

Sinds 1 januari 2006 zijn alle (ver-)bouwprojecten die een bouwvergunning nodig hebben, EPB-plichtig. Concreet betekent dit dat het project moet voldoen aan de EPB-eisen voor het jaar waarin de bouwvergunning wordt afgeleverd. Omdat het doel van 2020 is enkel nog BEN-woningen te bouwen, wordt ieder jaar het E-peil en K-peil aangescherpt, zoals te zien is op volgende figuur. [13]

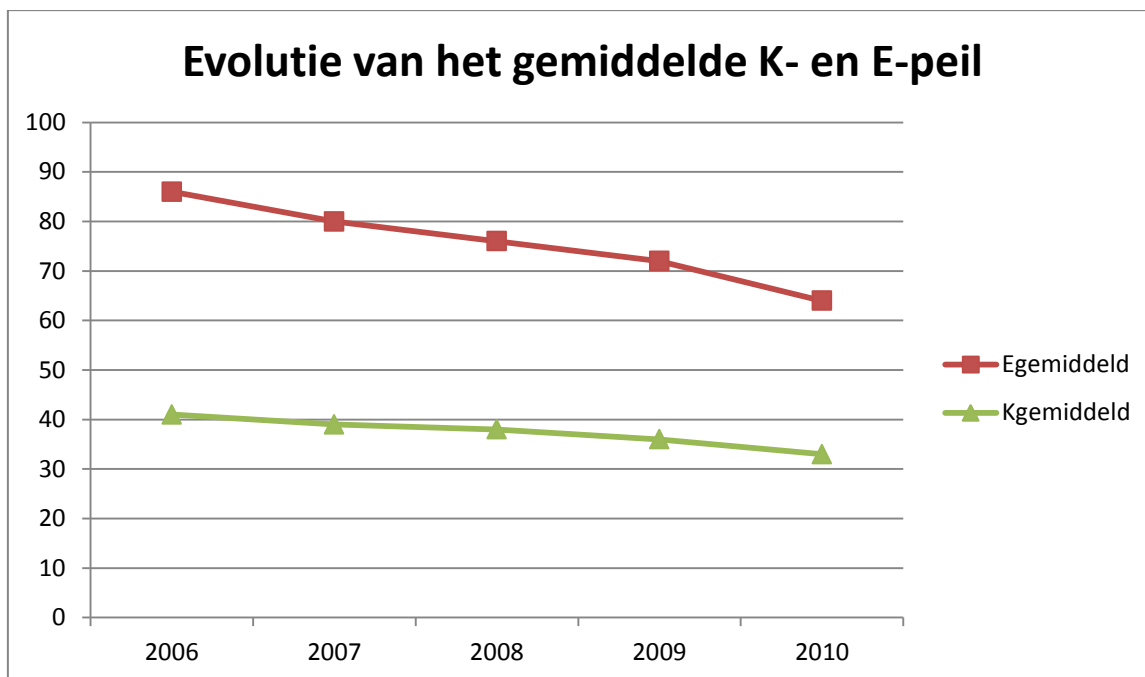


Figuur 4: Evolutie van het E-peil [13]

Hieronder een overzicht van het aantal EPB-aangiften van het jaar 2006 tot het jaar 2010 met bijhorende gemiddelde E-peil en K-peil waarden: [16]

Tabel 2: Overzicht EPB-aangiften 2006-2010 [16]

Aanvraagjaar	$E_{\text{gemiddeld}}$	$K_{\text{gemiddeld}}$	Aantal EPB-aangiften
2006	86	41	10627
2007	80	39	12206
2008	76	38	11508
2009	72	36	10100
2010	64	33	6361



Figuur 5: Evolutie E-peil en K-peil 2006-2010 [16]

2.4.2.1 EPB-eisen in het Vlaamse Gewest

Voor de renovatie van gebouwen gelden vanaf 2015 volgende eisen in het Vlaamse gewest:

Van kracht zijnde eisen	Woongebouwen	Kantoorgebouwen en schoolgebouwen	Gebouwen met een andere specifieke bestemming ⁽¹⁾	Industriële gebouwen
Warmte-isolatie	U_{max} of R_{min} (nieuwe, vernieuwde en verbouwde constructieonderdelen)	U_{max} of R_{min} (nieuwe, vernieuwde en verbouwde constructieonderdelen)	U_{max} of R_{min} (nieuwe, vernieuwde en verbouwde constructieonderdelen)	U_{max} of R_{min} (nieuwe, vernieuwde en verbouwde constructieonderdelen)
Energieprestatie	-	-	-	-
Binnenklimaat	Luchtoevoer (residentieel) in ruimten waarvan de ramen vervangen worden of waarin er vensters toegevoegd worden ⁽²⁾	Luchtoevoer (niet-residentieel) in ruimten waarvan de ramen vervangen worden of waarin er vensters toegevoegd worden	Luchtoevoer (niet-residentieel) in ruimten waarvan de ramen vervangen worden of waarin er vensters toegevoegd worden	-

⁽¹⁾ Niet van toepassing voor gebouwen waarvan het beschermde volume groter is dan 3000 m³, wanneer de draagstructuur van het gebouw bewaard blijft en de aanwezige installaties toelaten een specifiek binnenklimaat te waarborgen en ten minste 75 % van de gevels vervangen worden.
⁽²⁾ Zijn opgenomen in deze categorie: ziekenhuizen, hotels en restaurants, sportinstallaties, groot- en kleinhandelsgebouwen, ...
⁽³⁾ Deze eis is niet geldig voor keukens, toiletten, wasplaatsen, badkamers, droogplaatsen en analoge ruimten.

Figuur 6: EPB-eisen bij renovatie in Vlaanderen vanaf 2015 [17]

2.4.2.2 EPB-eisen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Voor zware en eenvoudige renovaties met inbegrip van bepaalde bestemmingswijzen, gelden volgende eisen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest:

Van kracht zijnde eisen	Wooneenheden ⁽¹⁾	Gemeen- schappelijk residentieel ⁽²⁾	Kantoren en diensten, onderwijs	Gezondheidszorg, cultuur en ontspanning, restaurants en cafés, handelszaken of sport	Andere bestem- ming ⁽³⁾
Warmte-isolatie	U_{max} of R_{min}	U_{max} of R_{min}	U_{max} of R_{min}	U_{max} of R_{min}	U_{max} of R_{min}
Energieprestatie	-	-	-	-	-
Binnenklimaat	<ul style="list-style-type: none"> In geval van een toevoeging, verwijdering of vervanging van de vensters van een ruimte: <ul style="list-style-type: none"> - luchttoevoer- of afvoervoorzieningen (residentieel) ⁽⁴⁾ - intensieve ventilatie In een nieuwe ruimte: luchttoevoer- of afvoervoorzieningen (residentieel) 	In geval van een toevoeging, verwijdering of vervanging van de vensters en voor alle nieuwe ruimten: luchttoevoer- of afvoervoorzieningen (niet-residentieel)	In geval van een toevoeging, verwijdering of vervanging van de vensters en voor alle nieuwe ruimten: luchttoevoer- of afvoervoorzieningen (niet-residentieel) ⁽⁴⁾	In geval van een toevoeging, verwijdering of vervanging van de vensters en voor alle nieuwe ruimten: luchttoevoer- of afvoervoorzieningen (niet-residentieel)	-

⁽¹⁾ Zijn opgenomen in deze categorie: eengezinswoningen, appartementen, studio's, hotelappartementen, hotelflats, ...
⁽²⁾ Zijn opgenomen in deze categorie: hotels, herbergen, jeugdherbergen, motels, pensions, penitentiaire of heropvoedingsinrichtingen, rusthuizen, internaten, ...
⁽³⁾ Zijn opgenomen in deze categorie: gebouwen waar er industriële of artisanale activiteiten plaatsvinden, werkplaatsen, landbouwgebouwen, luchthavens, stations, funeraria, ...
⁽⁴⁾ In geval van een bestemmingswijziging tot een gebruik als wooneenheid of kantoor- en dienstengebouw: ventilatievoorzieningen.

Figuur 7: EPB-eisen bij renovatie in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [17]

Vanaf 1 januari 2015 zullen alle wooneenheden, kantoren, diensten en onderwijs die een renovatie ondergaan op minstens 75% van hun verliesoppervlakte (met inbegrip van de vervanging van de technische installaties) worden gebonden aan de eisen voor nieuwbouw. Op de vermelde eisen zal een vermenigvuldigingsfactor 1,2 worden toegepast, behalve voor oververhitting. [17]

2.4.2.3 EPB-eisen in het Waalse Gewest

De eisen voor belangrijke of eenvoudige renovatiewerken worden in het Waalse Gewest als volgt geformuleerd:

Van kracht zijnde eisen	Woongebouwen	Kantoor- en dienstengebouwen, gebouwen bestemd voor het onderwijs	Gebouwen met een andere bestemming ⁽¹⁾	Industriële gebouwen
Warmte-isolatie	U_{max} of R_{min} (gerenoveerde elementen)	U_{max} of R_{min} (gerenoveerde elementen)	U_{max} of R_{min} (gerenoveerde elementen)	-
Energieprestatie	-	-	-	-
Binnenklimaat	Luchttoevoer (residentieel) in ruimten waarvan de vensterramen of de (buiten)deurkaders vervangen worden	Luchttoevoer (niet-residentieel) in ruimten waarvan de vensterramen of de (buiten)deurkaders vervangen worden	Luchttoevoer (niet-residentieel) in ruimten waarvan de vensterramen of de (buiten)deurkaders vervangen worden	-

⁽¹⁾ Zijn opgenomen in deze categorie: ziekenhuizen en klinieken, gebouwen uit de HORECA-sector, sportinstallaties, gebouwen die handelszaken herbergen, ...

Figuur 8: EPB-eisen bij renovatie in het Waalse Gewest [17]

2.4.2.4 Maximale U- en minimale R-waarden

Deze waarden zijn geldig in zowel het Vlaamse, Waalse als Brussels Hoofdstedelijke Gewest.

Constructieonderdeel	U_{\max} (W/m ² K)	R_{\min} (m ² K/W)
1. SCHEIDINGSCONSTRUCTIES DIE HET BESCHERMDE VOLUME OMHULLEN , met uitzondering van deze die de scheiding vormen met een aanpalend beschermd volume.		
1.1. TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), lichte gevels ⁽¹⁾ (zie 1.4) en glasbouwsteenwanden (zie 1.5) [en transparante scheidingsconstructies andere dan glas ⁽²⁾]	$U_{W,\max} = 1.80$ $U_{g,\max} = 1.10$	
1.2. OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels ⁽¹⁾ (zie 1.4)		
1.2.1. daken en plafonds	0.24	
1.2.2. muren niet in contact met de grond, met uitzondering van de muren vermeld in 1.2.4.	0.24	
1.2.3. muren in contact met de grond	0.40 ⁽²⁾	1.50
1.2.4. verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermd volume		1.40
1.2.5. vloeren in contact met de buitenomgeving [of op een aangrenzende onverwarmde ruimte ⁽³⁾]	0.30	
1.2.6. andere vloeren (vloeren op de volle grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermd volume, ingegraven keldervloeren)	0.30	1.75
1.3. DEUREN EN POORTEN (met inbegrip van het kader)	$U_{D,\max} = 2.00$	
1.4. LICHTGEVELS ⁽¹⁾	$U_{CW,\max} = 2.00$ $U_{g,\max} = 1.10$	
1.5. GLASBOUWSTEENWANDEN	2.00	
1.6. [TRANSPARENTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES ANDERE DAN GLAS met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4) ⁽²⁾]	2.00 $U_{g,\max} = 1.60$ ⁽⁴⁾	
2. SCHEIDINGSCONSTRUCTIES TUSSEN TWEE BESCHERMDE VOLUMES OP AANGRENZENDE PERCELEN	1.0	
3. DE VOLGENDE OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES BINNEN HET BESCHERMDE VOLUME OF PALEND AAN EEN BESTAAND BESCHERMD VOLUME OP HETZELFDE PERCEEL , met uitzondering van deuren en poorten:		
3.1. TUSSEN APARTE WOONEENHEDEN		
3.2. TUSSEN WOONEENHEDEN EN GEMEENSCHAPPELIJKE RUITEN (trappenhuis, inkomhal, gangen, ...)		
3.3. TUSSEN WOONEENHEDEN EN RUITEN MET EEN NIET-RESIDENTIËLE BESTEMMING		
3.4. TUSSEN RUITEN MET EEN INDUSTRIËLE BESTEMMING EN RUITEN MET EEN NIET-INDUSTRIËLE BESTEMMING		
(1) "Gordijngevels" in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (2) Vlaamse Gewest (3) Waalse Gewest (4) Vermeld als "U _{g,max} " in het Besluit		

Figuur 9: Maximale U- en minimale R-waarden in België [17]

2.4.3 Energierenovatieprogramma 2020

Naast de concrete eisen bij nieuwbouw en renovatie van gebouwen, moet elke Europese lidstaat ook het nZEB-principe promoten bij nieuwbouw of renovatie. In België gebeurt dit aan de hand van het Energierenovatieprogramma.

De doelstelling van het Energierenovatieprogramma 2020 is duidelijk: "In het jaar 2020 mogen er in het Vlaamse Gewest geen energieverslindende huizen meer zijn" aldus Freya Van den Bossche. [18]

Om dit te realiseren zijn er 4 belangrijke stappen:

1. Dak of zolder isoleren
2. Glas (raam) vervangen
3. Verwarmingsketel vervangen
4. Buitenmuur isoleren

Verder zal elke stap uitvoerig besproken worden.

2.4.3.1 Dak of zolder isoleren

Een dak is de grootste verliespost van energie. Wanneer een dak geïsoleerd wordt kan dit een besparing van 30% per jaar opleveren. Een dak isoleren kan op verschillende manieren, langs de binnen- en buitenkant. Om hier verder op in te gaan wordt een onderscheid gemaakt tussen platte daken en hellende daken. [18]

Plat dak

Platte daken dienen bij voorkeur enkel aan de buitenkant geïsoleerd te worden om het risico op inwendige condensatie minimaal te houden. De voorkeur gaat dus uit naar een warm dak of omkeerdak. [19]

Hellend dak

Een hellend dak kan op drie verschillende manieren geïsoleerd worden: [18]

- Aan de buitenzijde van het dak
- Aan de binnenzijde van het dak
- De zoldervloer isoleren

Isoleren aan de buitenzijde van het dak

Wanneer een hellend dak aan de buitenzijde wordt geïsoleerd, worden isolatieplaten aangebracht aan de bovenzijde van de draagconstructie. Hierbij wordt een damp scherm geplaatst tussen de isolatie en de dakstructuur om de luchtdichtheid te garanderen.

Een andere optie is dat men langs buiten een isolatiesysteem aanbrengt (sarkingdak, sandwichpanelen...). Dit systeem heeft als voordeel dat de correctie van eventuele koudebruggen makkelijker wordt en dat men het damp scherm kan plaatsen op een ononderbroken ondergrond. [20]

Isoleren aan de binnenzijde van het dak

Wanneer een hellend dak aan de binnenzijde geïsoleerd wordt, wordt de isolatie geplaatst tussen of onder de kepers. Omdat hier tussen de kepers geïsoleerd wordt, zijn koudebruggen mogelijk. Deze manier van isoleren is wel geschikt voor de doe-het-zelver. [21]

Zoldervloer isoleren

Wanneer de zolder een onverwarmde ruimte is, moet er langs de warme kant van de zoldervloerisolatie een dampscherm geplaatst worden. Zo wordt voorkomen dat binnenlucht gaat condenseren in de isolatie tussen de warme en koude lucht. Wanneer er geen dampscherm gebruikt wordt, zal de vochtige lucht zich opstapelen en de isolatiewaarde naar beneden halen.

Er moet bij de keuze van de isolatie wel rekening gehouden worden of de zoldervloer beloopbaar moet zijn. Wanneer de ruimte als stockage gebruikt wordt, is het nodig dat de vloer beloopbaar blijft. Daarom worden er best eerst kepers aangebracht op de vloer die de beloopbare afwerkingslaag zullen dragen. Vervolgens wordt er tussen deze kepers een isolatiemateriaal geplaatst. Het geheel wordt afgewerkt met bijvoorbeeld OSB-platen. Deze werkwijze gaat zowel voor zoldervloer in hout als zoldervloeren in beton. [21]

2.4.3.2 Glas vervangen

Het tweede verbeterpunt zijn de ramen. Als de raamprofielen nog wind- en waterdicht zijn, kan het rendabel zijn om de bestaande beglazing te vervangen door hoogrendementsglas. Als de raamprofielen niet meer in goede staat zijn, worden de ramen best vervangen worden door nieuwe ramen met hoogrendementsbeglazing.

Hoogrendementsglas

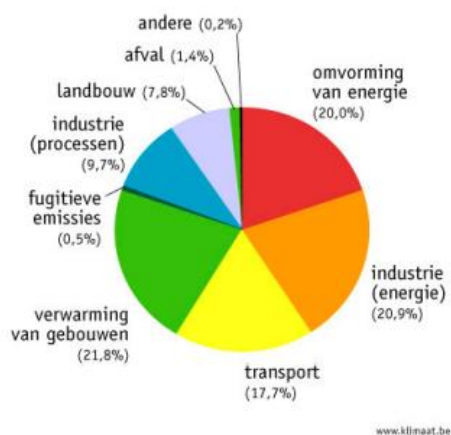
De opbouw van HR-glas is gelijkaardig aan de opbouw van klassiek dubbel glas. Beide zijn opgebouwd uit twee glasplaten met een spouw tussen. Bij dubbel glas is deze spouw gewoon opgevuld met droge lucht. Bij HR-glas kan de spouw opgevuld zijn met een edelgas. Maar het grootste verschil is het zeer dunne, doorzichtige metaallaagje dat aangebracht is op een van de glasplaten aan de spouwzijde. [22]

De metaallaag heeft een lage emissiecoëfficiënt ε voor langgolvlige straling, zodat er minder warmtestraling door de metaallaag wordt doorgelaten. In de zomer zorgt dat zelfde laagje ervoor dat de zonnwarmte buiten blijft.

2.4.3.3 Verwarmingsketel vervangen

Een derde doelstelling tegen 2020 is het vervangen van alle verwarmingsketels boven de 20 jaar. Deze maatregel zal niet alleen zorgen voor minder uitstoot van broeikasgassen, maar deze zal ook zorgen voor een vermindering van de energiefactuur. [13]

Zoals te zien in figuur 7 staat de verwarming van gebouwen voor 21,8% van de totale uitstoot van broeikasgassen. Verwarming van gebouwen is één van de vier grootste energieverbruikers.



Figuur 10: Aandeel per sector van de totale uitstoot van broeikasgassen [23]

CO₂-uitstoot hangt ook samen met energieverbruik. Maar liefst 50 tot 75% van het totale energieverbruik gaat naar het verwarmen van de woning. Dit is niet alleen te wijten aan een oude verwarmingsketel, maar hangt ook samen met de slechte isolatie van Belgische huizen. Een energiezuinige renovatie is dus de perfecte manier om het energieverbruik te verminderen. [23]

Vele gezinnen hebben reeds hun oude ketel vervangen. In 4 woningen op 5 werd de oude cv-ketel op aardgas vervangen door een condensatieketel, maar slechts in 1 woning op 4 werd een stookolieketel vervangen. Ook staan er nog steeds veel verouderde cv-ketels in Vlaanderen: naar schatting 270.000 cv-ketels op stookolie en 400.000 cv-ketels op aardgas.

Vanaf 26 september 2015 zal er een nieuwe richtlijn voor verwarmingsinstallaties van kracht gaan, namelijk de Ecodesignrichtlijn. [13] Deze richtlijn zal ervoor zorgen dat de verkoop van condensatieketels op aardgas en op stookolie standaard wordt in Europa. Met andere woorden, er wordt een minimumrendement gesteld aan de verkoop van cv-ketels. Producten onder dit rendement zullen niet meer verkocht worden in de EU. Ook krijgen deze nieuwe toestellen een label van A tot G, vergelijkbaar met het label voor koelkasten, zodat de installaties beoordeeld kunnen worden. Oude toestellen mogen natuurlijk in gebruik blijven mits ze voldoen aan de eisen voor emissies. [13]

2.4.3.4 Buitenmuurisolatie

Buitenmuren (al dan niet met een luchtsponw) voldoen niet meer aan de eisen voor U-waarden indien deze niet grondig geïsoleerd zijn. Deze na-isolatie heeft slechts een beperkte kostprijs en levert een hoog rendement op. Bijvoorbeeld bij de isolatie van een typische spouwmuur kan de warmtedoorgangscoefficiënt afnemen met een factor 2 tot 3. [24]

Gevels kan men op verschillende manieren isoleren:

1. Isolatie langs de buitenzijde van de muur
2. Buitensponwblad afbreken, binnensponwblad isoleren en gevel opnieuw afwerken
3. Spouwmuurisolatie
4. Isolatie langs de binnenzijde van de muur

Isolatie langs de buitenzijde van de muur

Bij isolatie langs de buitenzijde bestaan er twee mogelijkheden: ofwel wordt het buitenspouwblad behouden en wordt hiertegen een isolatielaag aangebracht die later opnieuw bekleed wordt, ofwel wordt het bestaande buitenspouwblad afgebroken om vervolgens isolatie aan te brengen tegen het binnenspouwblad en nieuwe gevelbekleding aan te brengen.

Spouwmuurisolatie

Om de spouwmuur doeltreffend te isoleren, moet de spouw aan enkele eisen voldoen: [24]

- Nominale breedte: minimaal 50 mm
- Het metsel- en voegwerk moeten in goede staat verkeren. De afwerking van de muur moet een grote dampdoorlatendheid hebben maar mag geen sporen van scheurvorming, regendoorslag of vorstschade bevatten.
- De belasting op de muur door slagregen of thermische lengteveranderingen moet minimaal zijn
- Vanaf een binnenklimaatklasse 4 is spouwmuurisolatie af te raden (te vochtig binnenklimaat, bijvoorbeeld zwembaden)

Isolatie langs de binnenzijde van de muur

Na-isolatie langs de binnenzijde van de muur is een minder comfortabele oplossing, met name omdat de binnenoppervlakte van de woning verkleint. Ook is het bij deze manier van isoleren niet mogelijk een ononderbroken isolatielaag aan te brengen omwille van vloeren, binnenmuren,... Het is ook zeer belangrijk dat de isolatie luchtdicht wordt uitgevoerd, daarom is een dampscherm noodzakelijk. Ook doorboringen van de isolatie om bijvoorbeeld stopcontacten aan te sluiten, dienen luchtdicht afgesloten te zijn.

Ook deze manier van isoleren kan op verschillende manieren en met verschillende soorten isolatiematerialen.

2.5 Nederland

De Europese hoofddoelen van de 2020 strategie zijn in Nederland vertaald in nationale doelen. In onderstaande tabel worden deze nationale doelen weergegeven, tevens wordt ook de stand van zaken in 2012 weergegeven.

EU-hoofddoelen Europa 2020-strategie	Nederlandse Nationale doelen	Realisaties in 2012
Werkgelegenheid • Een verhoging van de arbeidsparticipatie van 69% naar 75%	80%	76,6%
R&D • Een verhoging van de uitgaven aan onderzoek en ontwikkeling van 1,9% naar 3% van het bbp	2,5%	2,16%
Duurzame energie en klimaat • 20% minder CO ₂ -uitstoot niet-ETS-sectoren ETS-sectoren • 20% duurzame energie • 20% energiebesparing	-16% niet van toepassing 14% 1,5% per jaar*	-15,2% niet van toepassing 4,5% 1,1% gemiddeld per jaar (2004-2012)
Onderwijs • Een verlaging van het percentage vroegtijdig schoolverlaters • Een verhoging van het percentage van 30-34-jarigen met een tertiaire opleiding	< 8% > 40%	8,8% 42,3%
Sociale inclusie • Minimaal 20 miljoen minder mensen met risico op armoede en sociale uitsluiting	100 duizend minder jobless households	22 duizend meer dan bij de start in 2008

* Conform de energie-efficiencyverordening

Figuur 11: Overzicht doelstellingen en realisaties Europese 2020-strategie in Nederland [25]

In Nederland staan de eisen voor nieuwbouw en renovatie beschreven in Het Bouwbesluit. Er worden eisen gesteld aan de energieprestatiecoëfficiënt, thermische isolatie en aan de luchtvolumestroom.

2.5.1 Energieprestatiecoëfficiënt (EPC)

Gebouwen worden ingedeeld naargelang hun gebruiksfunctie. De EPC waarde beoordeelt de belangrijkste energetische eigenschappen van een gebruiksfunctie inclusief de aanwezige installaties. De EPC waarde voor de gebruiksfunctie wonen is sinds 2015 maximaal 0,4. De energieprestatie coëfficiënt is 1 voor een gemiddelde woning in 1990. Dit wil zeggen dat een woning met een EPC van 0,4, nog maar 40 % verbruikt van wat een woning in 1990 verbruikte. In onderstaande tabel wordt per gebruiksfunctie de maximaal toegelaten EPC-waarde weergegeven [26]:

	eis
Woonfunctie in een woongebouw	0,4
andere woonfunctie	0,4
woonwagen	1,3
Woonfunctie voor zorg	0,4
Woonfunctie voor kamergewijze verhuur	0,4
Bijeenkomstfunctie	1,1
Celfunctie	1,0
Gezondheidszorgfunctie met bedgebied	1,8
andere gezondheidszorgfunctie	0,8
Kantoorfunctie	0,8
Logiesfunctie in een logiesgebouw	1,0
andere logiesfunctie	1,4
Onderwijsfunctie	0,7
Sportfunctie	0,9
Winkelfunctie	1,7

Figuur 12: Maximale EPC-waarde per gebruiksfunctie [26]

2.5.2 Netto-energiebehoefte

De referentiewaarde in 1990 voor isolatie bedroeg 1,3 m²K/W. Door veroudering kan deze verlaagd worden tot 1 m²K/W. De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt bedraagt dan 1 W/m²K. Met een gemiddeld temperatuurverschil tussen binnen en buiten van 10 K per jaar wordt de referentiewaarde voor netto-energiebehoefte :

$$1 \frac{W}{m^2K} * 10 K * 32 \frac{Ms}{jaar} = 0,32 \frac{GJ}{m^2jaar} = 88,89 kWh/m^2jaar$$

Aangezien de huidige EPC - waarde 0,4 bedraagt, is de maximale netto-energiebehoefte 36 kWh/m²jaar.

2.5.3 Thermische isolatie

De eisen voor de warmteweerstand van een gebouw met een woonfunctie worden in onderstaande tabel weergegeven:

Tabel 3: Eisen thermische isolatie Nederland

Verticale uitwendige scheidingsconstructies (gevels)	4,5 m ² K/W
Horizontale en schuine uitwendige scheidingsconstructies (daken)	6,0 m ² K/W
Uitwendige scheidingsconstructies, grenzend aan grond, kruipruimte of water	3,5 m ² K/W

Wat betreft ramen, deuren en kozijnen wordt een gemiddelde U-waarde geëist van maximum 1,65 W/m²K. Het is wel toegestaan dat individuele componenten een maximale U-waarde hebben van 2,2 W/m²K op voorwaarde dat een gemiddelde U van 1,65 W/m²K is gerealiseerd [26].

2.5.4 Luchtvolumestroom

Het doel van deze eis is het beperken van luchtdoorlatendheid zodat er slechts een beperkte mate van warmteverlies ten gevolge van tocht optreedt. De luchtdoorlatendheid moet beperkt worden tot $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ gemeten bij een drukverschil van 10 Pa. [26]

2.5.5 Renovatie van gebouwen

Wanneer een gebouw een renovatie ondergaat is de energieprestatie-eis niet van toepassing. Betreffende thermische isolatie en luchtvolumestroom geldt het rechtens verkregen niveau. Indien het rechtens verkregen niveau voor de warmteweerstand kleiner is dan $1,3 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ geldt dat na renovatie minstens een warmteweerstand van $1,3 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ bereikt moet worden. [26]

In het bouwbesluit wordt het rechtens verkregen niveau gedefinieerd als : “niveau dat het gevolg is van de toepassing op enig moment van de relevante op dat moment van toepassing zijnde technische voorschriften en dat niet lager ligt dan het niveau van de desbetreffende voorschriften voor een bestaand bouwwerk en niet hoger dan het niveau van de desbetreffende voorschriften voor een te bouwen bouwwerk” [26]

Wanneer we deze definitie analyseren kunnen we zeggen dat met het eerste deel van de definitie het actuele kwaliteitsniveau beschreven wordt. Dit niveau is verkregen doordat in het verleden de toen geldende voorschriften gevolgd zijn. De definitie zegt dat er na renovatie nooit een lager niveau mag bekomen worden dan het actuele kwaliteitsniveau. Indien het actuele kwaliteitsniveau hoger ligt dan de huidige nieuwbouwvoorschriften, mag er verbouwd worden tot dat niveau. [27]



Figuur 13: Grenswaarden rechtens verkregen niveau [27]

2.6 Duitsland

Ook Duitsland heeft de Europese hoofddoelen van de 2020 strategie vertaald in nationale doelen. In onderstaande tabel worden deze weergegeven, tevens wordt ook de stand van zaken weergegeven.

Europe 2020 headline targets	EU-wide indicators	National indicators (if different)	Status of quantitative indicators
1. Foster employment	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Employment rate of 75 % for people aged 20 – 64 ▶ Greater participation of young people, older workers, low-skilled workers and migrants 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Employment rate of 77 % for people aged 20 – 64 ▶ Employment rate of 60 % for older people aged between 55 and 64 ▶ Employment rate of 73 % for women 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Employment rate of 76.7 % (2012) or 77.5 % (Q3 2013) for people aged 20 – 64 ▶ Employment rate of 61.5 % (2012) or 64.1 % (Q3 2013) for older people aged between 55 and 64 ▶ Employment rate of 71.5 % (2012) or 72.7 % (Q3 2013) for women
2. Improve the conditions for innovation, research and development (R&D)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ R&D expenditure of 3 % of GDP ▶ Improve the conditions for R&D 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ R&D expenditure: 3 % of GDP (two-thirds from the private sector and one third from the public sector) ▶ Spending on education and research by 2015: 10 % of GDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ R&D expenditure: 3 % of GDP (2012) – two-thirds from the private sector and one third from the public sector ▶ Spending on education and research: 9.2 % of GDP (2011)
3. Reduce greenhouse gas emissions and increase energy efficiency and energy from renewables	<p>By 2020:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Reduce greenhouse gas emissions by 20 % (or 30 % if applicable) compared to 1990 levels ▶ Increase the share of renewables in final energy consumption to 20 % ▶ Increase energy efficiency by 20 % in relation to forecast development 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reduce greenhouse gas emissions by at least 40 % by 2020 compared to 1990 levels and by 80 – 95 % by 2050 ▶ Increase the share of renewables in gross final energy consumption to 18 % by 2020, to 60 % by 2050 and to at least 80 % in the electricity sector ▶ National energy efficiency goals under the Federal Government's Energy Concept of 28 September 2010: reduce primary energy consumption by 20 % by 2020, and by 50 % by 2050 compared to 2008 levels* 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Greenhouse gas emissions: reduced by 24.7 % compared to 1990 levels (2012) ▶ Share of renewables: 12.3 % in total final energy consumption (2013) or 24 % in gross electricity generation (2013) ▶ Primary energy consumption: reduced by 3.3 % compared to 2008 levels (2013).
4. Improve education levels	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Improve education levels, in particular, reduce the proportion of early school leavers and people leaving vocational training to below 10 % ▶ Increase the percentage of 30 – 34 year-olds with a tertiary or equivalent education to at least 40 % 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Increase the percentage of 30 – 34 year-olds with a tertiary or equivalent education to 42 % 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Proportion of early school leavers and people leaving vocational training in 2012: 10.6 % ▶ Percentage of 30 – 34 year-olds with a tertiary or equivalent education: 43.5 % (2012)
5. Promote social inclusion in particular by reducing poverty	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Lift at least 20 million people out of the risk of poverty or exclusion 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reduce the number of long-term unemployed by 20 % by 2020 compared to 2008 levels 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reduction of 36 % in the number of long-term unemployed between 2008 and 2012 (annual averages Q3 2013: 44 %)

* With regard to the indicative national energy efficiency goal under Article 3 of European Directive 2012/27/EU, reference is made to the communication to the European Commission of 11 June 2013.

Figuur 14: Overzicht doelstellingen en realisaties Europese 2020-strategie Duitsland [28]

Om aan deze eisen te voldoen, heeft Duitsland een beoordelingsprogramma, EnerPHit, ontwikkeld.

Een renovatie wordt op 2 vlakken beoordeeld:

- Het gebouw in zijn geheel;
- De verschillende bouwcomponenten.

2.6.1 Algemene eisen

In onderstaande tabel worden de eisen gegeven die nagestreefd worden:

Tabel 4: Algemene eisen EnerPHit [29]

Warmtevraag Q_H	$Q_H \leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Primaire energievraag Q_P	$Q_P \leq 120 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a} + ((Q_H - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})) * 1.2)$
Zomer comfort	Te hoge temperatuur frequentie ($>25^\circ$) $\leq 10\%$
Luchtdichtheid	Limietwaarde: $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ Streefdoel: $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

2.6.2 Eisen per individuele bouwcomponent

Indien de warmtevraag Q_H overschreden wordt, is het nog steeds mogelijk dat het gebouw voldoet indien er wordt voldaan aan onderstaande criteria. Aan de overige 3 algemene eisen moet wel steeds voldaan zijn.

Tabel 5: Eisen per bouwcomponent EnerPHit [29]

Buitenmuren en verdiepingsplafond buitenlucht	en boven	Buitenisolatie: $U \leq 0,150 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ Binnenisolatie: $U \leq 0,300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Buitenmuur in contact met grond		$f * U \leq 0,150 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $f = \text{grondreductiefactor}$
Dak of zoldervloer		$U \leq 0,120 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Dakterras/plat dak		$U \leq 0,150 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Plafond onverwarmde kelder		$f * U \leq 0,150 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $f = \text{grondreductiefactor}$
Vloerplaat		$f * U \leq 0,150 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $f = \text{grondreductiefactor}$
Ramen		$U_{w,installed} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $g * 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \geq U_g$
Buitendeuren		$U_{D,installed} \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Ventilatie		$\eta_{HR,eff} \geq 75 \%$

Aandachtspunten:

- Minstens 75% van het buitenmuuroppervlak moet geïsoleerd worden;
- Isolatie langs de binnenkant is enkel toegelaten indien buitenisolatie niet toegestaan, praktisch haalbaar of kosten-inefficiënt is;
- Wegens comfortredenen moet de grondvloertemperatuur minstens 17°C bedragen;
- Wanneer een kelder onverwarmd is, wordt deze best toegankelijk gemaakt langs buiten of de tussendeur moet luchtdicht en geïsoleerd zijn. De U_D waarde moet kleiner of gelijk zijn aan $1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;

- Aangezien de vloerplaat langs binnen geïsoleerd wordt, moet er gecontroleerd worden of er vochtproblemen kunnen optreden;
- Elektrische efficiëntie van het ventilatiesysteem $\leq 0,45 \text{ Wh/m}^3$.

2.7 Passiefhuisstandaard

Wanneer een woning de passiefhuisstandaard wil bereiken moet het voldoen aan de volgende 3 eisen: [30]

- Netto energiebehoefte voor verwarming $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{jaar}$
- Luchtdichtheid $n_{50} \leq 0,6 /\text{h}$
- Temperatuuroverschrijdingsfrequentie boven $25^\circ\text{C} \leq 5 \%$

Om aan deze eisen te voldoen wordt er sterk aanbevolen om ook de criteria, die beschreven staan in onderstaande tabel na te streven.

Tabel 6: Eisen passiefhuisstandaard vanaf 01/07/2009 [31]

Opake constructiedelen	$U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
Vensters en deuren inclusief koudebrugwerking	$U \leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$
Beglazing	$g^*1,6 \geq U_g$
Rendement van de warmtewisselaar van het balansventilatiestoestel	$\geq 75 \%$
Energieverbruik ventilatiestoestel	$\leq 0,45 \text{ Wh/m}^3$
Inregelrapport ventilatiesysteem	Aanwezig

2.8 Samenvatting van de eisen

2.8.1 Vergelijken U- en R-waarden

De Nederlandse norm werkt met R-waarden terwijl de andere standaarden met U-waarden werken. Om vergelijking te vereenvoudigen, rekenen we de Nederlandse R-waarden om in een U-waarde.

Hiervoor maken we gebruik van onderstaande formule:

$$U_{max} = \frac{1}{R_{si} + R_{tot} + R_{se}}$$

De factoren R_{si} en R_{se} zijn afhankelijk van de warmtestroom zoals in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 7: Warmteovergangsweerstanden [32]

	Richting van de warmtestroom		
	opwaarts	horizontaal (*)	neerwaarts
R_{si} (m ² K/W)	0,10	0,13	0,17
R_{se} (m ² K/W)	0,04	0,04	0,04

(*) : geldig voor een warmtestroomrichting die niet meer dan ± 30° afwijkt van het horizontaal vlak.

Constructiedeel	R_{si}	R_{se}	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
Gevel	0,13	0,04	4,50	0,21
Daken	0,10	0,04	6,00	0,16
Muren in contact met grond	0,13	0,00	3,50	0,27
Vloeren	0,17	0,04	3,50	0,27

Ook binnen de Belgische norm wordt er voor muren in contact met de grond een R-waarde gegeven, ook deze zetten we om in een U waarde.

Constructiedeel	R_{si}	R_{se}	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
Muren in contact met grond	0,13	0,00	1,5	0,60

2.8.2 Samenvattende tabel

	BEN	België	Nederland	Duitsland	Passiefhuis-standaard
U_{max} (W/m²K)					
Daken en plafonds	0,24	0,24	0,16	0,12	0,15
Plat dak	0,24	0,24	0,16	0,12	0,15
Buitenmuren	0,24	0,24	0,21	Buitenisolatie: 0,150 Binnenisolatie: 0,300	0,15
Vloeren	0,24	0,30	0,27	$f * U \leq 0,150$	0,15
Vensters	1,50	1,80	1,65	$U_{w,installed} \leq 0,85$	0,85
Beglazing	1,10	1,10	1,65	$g^*1,6 \geq U_g$	$g^*1,6 \geq U_g$
Deuren en poorten	2,00	2,00	1,65	$U_{D,installed} \leq 0,80$	0,85
Muren in contact met de grond	0,24	0,60	0,27	$f * U \leq 0,150$	
Gemene muur	0,50	1,00			
Maximale netto-energiebehoefte voor verwarming per jaar (kWh/m²)	70 + resterende energie uit hernieuwbare energie	70	36	25	15

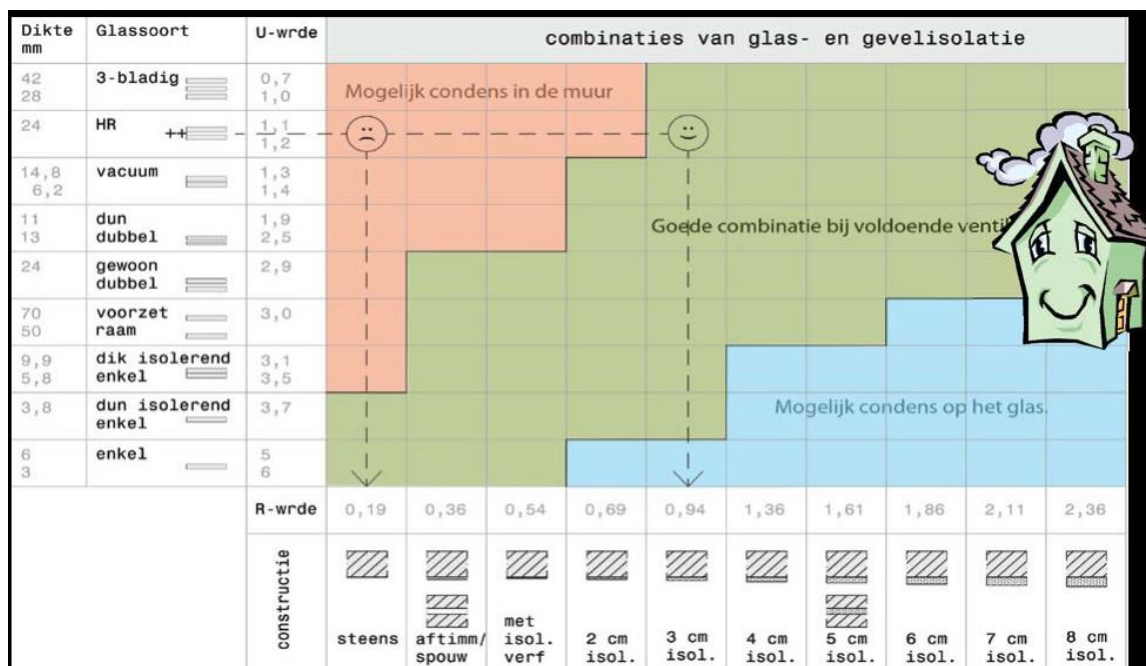
2.9 Referentiewoningen

2.9.1 Rijwoningen in 1920

Het aantal rijwoningen in België gebouwd tussen 1919 en 1945 bedraagt 295.426. Omdat deze soort woningen ongeveer 25% bedraagt van het totaal aantal gebouwen in België, is het interessant om het renovatiepotentieel van dit soort woningen te onderzoeken. [33]

Deze gebouwen zijn initieel niet geïsoleerd en dampopen gebouwd. De muren zijn vaak steeds metselwerk zonder spouwmuur en de vloeropbouw is een houten constructie. Ook de raamprofielen zijn van hout. [34]

Doordat dit gebouw natuurlijke ventilatie voorziet en dampopen is, zijn er verschillende bouw fysieke aandachtspunten waarmee rekening gehouden moet worden. Als we de ramen vervangen, zal het glas niet langer het koudste oppervlak zijn en zal er condensatie optreden op de muren. Dit kan leiden tot vochtproblemen in de woning. Ook moeten koudebruggen voorkomen worden. Volgende figuur geeft weer welke combinaties van beglazing en constructie van de muur wenselijk zijn.



Figuur 15: Combinatiemogelijkheden glas-constructie [34]

Om het gebouw te ventileren bestaan er verschillende mogelijkheden. Men kan ventilatieroosters voorzien in de raamprofielen (ventilatiesysteem A) of een gat in de gevel voorzien met een binnen- en buitenrooster. Dit in combinatie met tochtwering. [34]

Omdat een steense muur geen spouw bevat, is isolatie langs de binnen- of buitenkant nodig. Wanneer er langs buiten geïsoleerd wordt en de rooilijn valt samen met de voorgevel, moet er rekening gehouden worden dat de rooilijn maximaal 14 cm overschreden mag worden. [35]

2.9.2 Rijwoningen in 1970

Met de oliecrisis van 1973 en 1979 kwam er een keerpunt in de manier van bouwen. Energie was een kostbaar goed geworden. Bij het bouwen van huizen ging men nu bewuster omgaan met energie. Er werd meer aandacht besteed aan thermische isolatie. [36]

Zo werden muren opgebouwd uit een buitenspouwblad, een binnenspouwblad en een spouwmuur. Deze spouwmuur werd vaak al deels opgevuld met een isolerend materiaal. Ook werd er steeds vaker dubbele beglazing gebruikt.

De bouwwijze die men hanteerde was ook een stuk efficiënter dan in de jaren '20: ze maakten gebruik van dallen om de tussenvloer op te bouwen, zodat de bouw sneller ging.

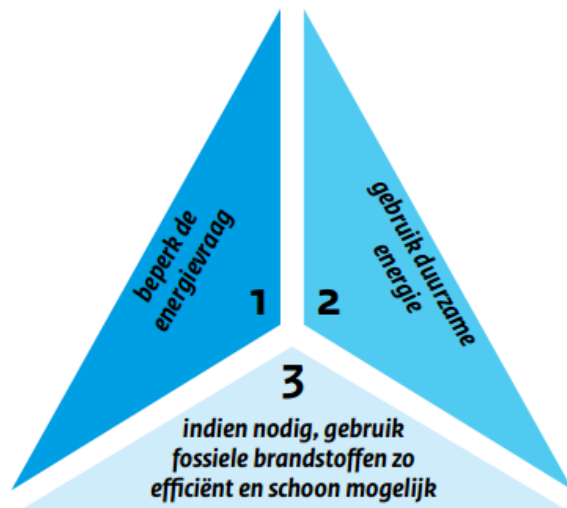
Om het energieprestatieniveau van deze huizen te verbeteren kan men meer gaan isoleren. Zo kan men de luchtspouw die er nog is, opvullen met extra isolatiemateriaal. Hierbij moet men er rekening mee houden dat het nieuwe isolatiemateriaal, de werking van het oude niet te niet doet. Zo kan men bij een muur die reeds geïsoleerd is met rotswol, geen PUR gaan gebruiken. De rotswol wordt dan samengedrukt door de PUR, dit leidt tot een minder gebruik van rotswol als isolatiemateriaal. [37]

De dubbele beglazing vervangen door hoogrendementsbeglazing is ook een optie, alleen moet er rekening gehouden worden met het optimale punt. Met andere woorden: is het wel rendabel om het dubbel glas te vervangen door de hoogrendementsbeglazing?

2.10 Trias Energetica

Om beter inzicht te krijgen in het renovatiepotentieel van bestaande woningen, worden in dit onderzoek twee referentiewoningen vergeleken met elkaar op vlak van energieprestatie.

Meer specifiek zullen de referentiewoningen ingegeven worden in de EPB-software die ons een beter beeld zal geven van de huidige toestand. Vervolgens zullen er verschillende verbeteringen toegepast worden volgens de Trias Energetica.



Figuur 16: Trias Energetica [38]

De Trias Energetica geeft de stappen weer die genomen moeten worden wanneer men energiebesparende maatregelen wil treffen. Stap 1 (beperk de energievraag) is de meest duurzame, stap 3 de minst duurzame. hierbij wordt ook rekening gehouden met de kosteneffectiviteit.

Rekening houdend met deze drie stappen zullen er verbeteringen toegepast worden op de referentiewoningen op vlak van isolatie, installaties en ventilatie. Deze verbeteringen worden toegepast tot op een gewenst niveau.

Vervolgens worden de verbeteringen getoetst op eventuele vochtproblemen. Dit gebeurt met behulp van de methode van Glaser, waarmee we eventuele inwendige condensatie in de constructiedelen mee kunnen opsporen.

Ten slotte zullen de verschillende verbeteringen van de twee referentiewoningen vergeleken worden met elkaar en wordt er gezocht naar significante overeenkomsten of verschillen. Ook bekijken we of er een algemeen besluit genomen kan worden over de renovatie van rijwoningen.

2.11 Methode van Glaser

Om de voorgestelde oplossing te controleren op inwendige condensatie en droging zal de constructie gecontroleerd worden met behulp van de methode van Glaser. Deze rekenmethode gaat uit van enkele vereenvoudigingen in het globale vochtshoudingmodel: [39]

1. Vochttransport gebeurt enkel door dampdiffusie. Dat betekent:
 - a. Alle materialen zijn niet-cappilair;
 - b. De constructie is luchtdicht.
2. Alle materialen zijn niet-hygroscopisch;
3. λ - en μ -waarden zijn constant;
4. Warmteoverdracht gebeurt enkel door geleiding en transport van latente warmte wordt verwaarloosd;
5. Er wordt stationair gerekend;
6. De constructiedelen zijn vlak: warmte- en vochttransport gebeuren eendimensionaal;
7. De constructie is aanvankelijk droog.

Om te rekenen met deze methode, dienen volgende gegevens bekend te zijn:

1. Constructie: volgorde van de lagen, en per laag: dikte (m), λ -waarde (W/mK) of R ($\text{m}^2\text{K/W}$ en μ -waarde (-) of $\mu.d$ (m)
2. Warmteovergangscoefficienten binnen en buiten
3. Randvoorwaarden als maandgemiddelde waarden:
 - a. Binnenluchttemperatuur θ_i ($^{\circ}\text{C}$)
 - b. Dampdruk binnen p_i (Pa)
 - c. Buitenluchttemperatuur, gecorrigeerd op bezonning θ_{ec}^{**} ($^{\circ}\text{C}$)
 - d. Dampdruk buiten p_e (Pa)

2.11.1 Randvoorwaarden

De methode van Glaser rekent met maandgemiddelde randvoorwaarden, gezien de traagheid van het diffusieproces. Hieronder de formules waarmee deze randvoorwaarden bekomen worden:

$$\theta_j = \bar{\theta} + C(j) \cdot \hat{\theta}$$

$$p_j = \bar{p} + C(j) \cdot \hat{p}$$

- Met:
- θ_j maandgemiddelde temperatuur (i of e) voor de maand j in $^{\circ}\text{C}$
 - $\bar{\theta}$ jaargemiddelde temperatuur (i of e) in $^{\circ}\text{C}$
 - $\hat{\theta}$ het amplitudo van de nagenoeg sinusoidaal schommelende temperatuur (i of e) in $^{\circ}\text{C}$
 - $C(j)$ een constante voor de maand j, uit volgende tabel:

Tabel 8: Maandconstanten [39]

maand	C(j)
januari	-0,98
februari	-0,85
maart	-0,50
april	-0,10
mei	0,55
juni	0,90
juli	1,00
augustus	0,85
september	0,55
oktober	-0,10
november	-0,55
december	-0,90

2.11.1.1 Binnenluchttemperatuur θ_i (°C)**Tabel 9: Binnenluchttemperatuur naargelang de aard van het gebouw [39]**

Aard gebouw	$\bar{\theta}_i$ (°C)	$\hat{\theta}_i$ (°C)
Woningen, scholen, kantoren	20	3
Ziekenhuizen	23	2
Zwembaden	30	2

2.11.1.2 Buitenluchttemperatuur θ_e (°C)

Voor Ukkel geldt:

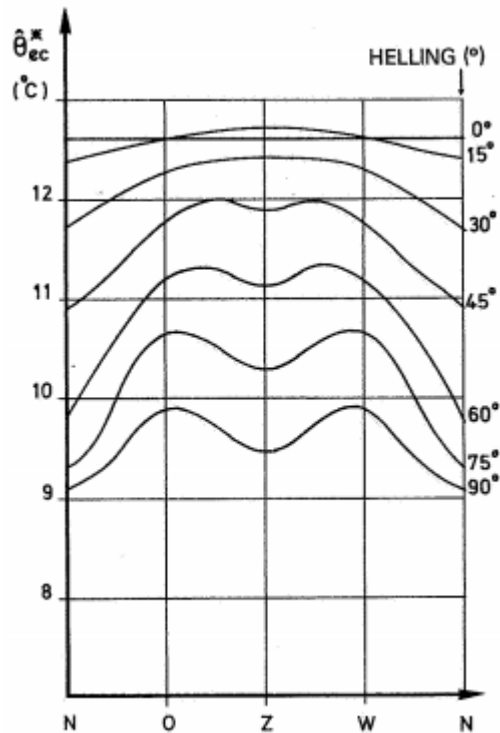
$$\bar{\theta}_e = 9,8 \text{ °C}$$

$$\hat{\theta}_e = 6,9 \text{ °C}$$

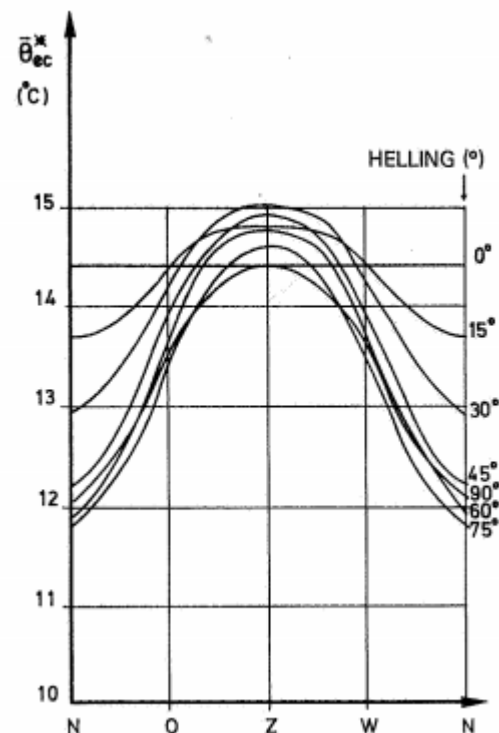
De invloed van de bezonning op het condensatie-drogingsproces wordt ingerekend door de vervanging van de buitentemperatuur onder de thermometerhut θ_e door de equivalente buitentemperatuur θ_e^{**} . Deze equivalente buitentemperatuur wordt bepaald door rekening te houden met de invloed van directe en diffuse zonnestraling en lange golfstraling. Daardoor is θ_e^{**} functie van oriëntatie, helling en stralingseigenschappen van het beschouwde oppervlak.

Deze equivalente buitentemperatuur wordt op volgende wijze bepaald:

1. De invloed van de helling en oriëntatie wordt bepaald met behulp van volgende twee figuren (waarin $a_k = 1$) wat resulteert in $\bar{\theta}_e^*$ en $\hat{\theta}_e^*$.



Figuur 17: Grafiek ter bepaling van $\hat{\theta}_e^*$ [39]



Figuur 18: Grafiek ter bepaling van $\bar{\theta}_e^*$ [39]

2. De invloed van de stralingseigenschappen wordt in rekening gebracht via volgende formules:

$$\bar{\theta}_e^{**} = a_k \cdot (\bar{\theta}_e^* - 8,5) + 8,5$$

$$\hat{\theta}_e^{**} = a_k \cdot (\hat{\theta}_e^* - 7,1) + 7,1$$

Tabel 10: Absorptiefactor voor kortgolvlige straling van het buitenoppervlak a_k voor de gebruikte materialen in deze scriptie [40]

Materiaal	a_k
Beton	0,6
Rode baksteen	0,56
Bitumineuze dakbedekking	0,9

De op bezonning gecorrigeerde maandgemiddelde buitentemperatuur θ_e^{**} wordt tenslotte bepaald uit volgende formule:

$$\theta_e^{**} = \bar{\theta}_e^{**} + C(j) \cdot \hat{\theta}_e^{**}$$

2.11.1.3 Dampdruk binnen p_i (Pa)

Het gebouw dient hiervoor gesitueerd te worden in de juiste klimaatklasse op basis van zijn jaargemiddelde dampdruk \bar{p}_i .

Tabel 11: Weergave van de dampdruk binnen per klimaatklasse [39]

Klimaatklasse	Grenzen (Pa)	Rekenwaarden		Voorbeelden
		\bar{p}_i	\hat{p}_i	
I	$1100 \leq \bar{p}_i \leq 1165$	1165	365	Stapelplaatsen, sportzalen, kerken...
II	$1165 \leq \bar{p}_i \leq 1370$	1370	220	Grote woningen, scholen, flats...
III	$1370 \leq \bar{p}_i \leq 1500$	1500	220	Kleine woningen, matig geklimatiseerde gebouwen
IV	$\bar{p}_i > 1500$	2500	220	Zwembaden, geklimatiseerde gebouwen, textielbedrijven...

2.11.1.4 Dampdruk buiten p_e (Pa)

Wordt bepaald uit:

$$p_e(j) = \bar{p}_e + C(j) \cdot \hat{p}_e$$

Met: $\bar{p}_e = 1100 \text{ Pa}$

$\hat{p}_e = 430 \text{ Pa}$

Aan de hand van de berekende randvoorwaarden kan er berekend worden of er eventuele inwendige condensatie optreedt in de constructie.

2.11.2 Berekeningen

2.11.2.1 Warmtestroomdichtheid q

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e^{**}}{R_{\text{totaal}}}$$

2.11.2.2 Temperatuurverloop en verzadigingsdampdruk in de constructie

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

$$p' = 611 * \exp\left(\frac{17,08 * \theta}{234,18 + \theta}\right) [41]$$

2.11.2.3 Totale diffusieweerstand Z

$$Z_{\text{totaal}} = \sum_{i=1}^4 Z_i = \sum_{i=1}^4 (\mu_i * d_i) * N = 205227000000 \text{ m/s}$$

2.11.2.4 Dampstroomdichtheid q

$$q = \frac{p_i - p_e}{Z_{\text{totaal}}}$$

2.11.2.5 Dampdrukverloop op de scheidingsvlakken

$$p_n = p_1 - q * \sum_{i=1}^{n-1} Z_i$$

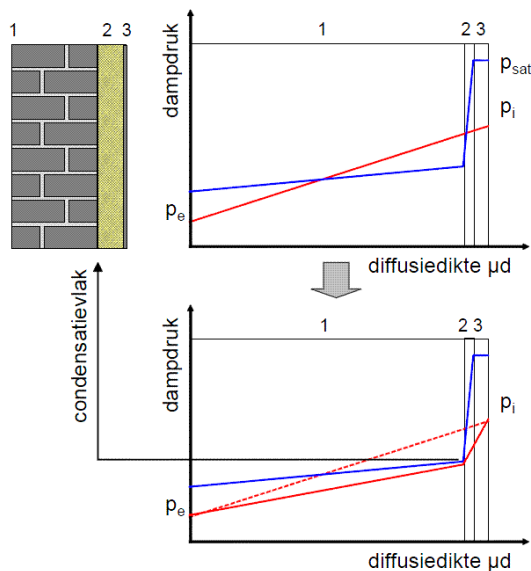
2.11.2.6 Berekening condensatiegebied G op condensatievlakken

Wanneer $p > p'$ dan zal er condensatie optreden op het vlak. De hoeveelheid condensatie zal dan berekend worden op volgende manier:

$$G = (q_1 - q_2) * 3600 * 24 * 31 * 1000$$

Met q_1 en q_2 respectievelijk de ingaande dampstroomdichtheid (helling eerste lijnstuk) en de uitgaande dampstroomdichtheid (helling tweede lijnstuk).

Volgende figuur geeft deze berekening weer. Op de bovenste grafiek zien we voor vlak 2 dat $p > p_{\text{sat}} (=p')$. Om het condensatiedebiet te berekenen verbinden we p_e en p_i met de waarde van p' op de grafiek. Er ontstaan nu 2 lijnstukken met richtingscoëfficiënten q_1 en q_2 . Deze richtingscoëfficiënten worden gebruikt om G te berekenen.



Figuur 19: Voorbeeld van de berekening van het condensatiedebiet

2.12 Berekening van bouwknoepen

Enkel de niet-EPB aanvaarde bouwknoepen worden ingegeven in de EPB-software (optie B). Deze optie werd gekozen omwille van het kleine verschil met optie A.

Een bouwknoop is EPB-aanvaard wanneer deze voldoet aan volgende eisen:



Figuur 20: Principeschema EPB-aanvaarde bouwknoepen

De grenswaarden voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt van een bouwknoop worden weergegeven in volgende tabel:

Tabel 12: Grenswaarden voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt

	$\Psi_{e,lim}$
1. BUITENHOEKEN (1)(2)	
• 2 muren	-0.10 W/m.K
• Andere buitenhoeken	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 BESCHERMD VOLUMES OP EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE VAN HET VERLIESOPPERVLAK	0.05 W/m.K
7. ALLE KNOEPEN 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: $0^\circ < \alpha < 180^\circ$.	

De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt van een bouwknoop wordt in het algemeen berekend aan de hand van volgende formule [42] :

$$\Psi_e = \frac{\varphi_{2D} - \varphi_{1D}}{L * (\theta_i - \theta_e)}$$

Met: φ_{2D} de stationaire warmtestroom berekend in THERM
 L de lengte waarover de bouwknoop gemodelleerd wordt
 A_i de oppervlakte van scheidingsconstructie i van het model
 U_i de U-waarde van scheidingsconstructie i

$$\varphi_{1D} = \sum U_i * A_i * (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_i = 20^\circ C$$

$$\theta_e = 9,8^\circ C \text{ (gemiddelde buitenluchttemperatuur gemeten in Ukkel)}$$

Wanneer een bouwknoop begrensd wordt door meer dan twee omgevingen wordt deze formule aangepast. Dit is het geval bij bouwknoopen tussen bijvoorbeeld binnen, buiten en een AOR. Deze bouwknoopen worden berekend op de volgende manier [42]:

$$\Psi_e = \frac{\varphi_{2D}}{L * (\theta_i - \theta_e)} - \frac{U_1 * A_1}{L} - \frac{U_2 * A_2}{L}$$

Met:

A_1 de oppervlakte van de scheidingsconstructie tussen binnen- en buitenomgeving

U_1 de U-waarde van de scheidingsconstructie tussen binnen- en buitenomgeving

A_2 de oppervlakte van de scheidingsconstructie tussen binnenomgeving en AOR

U_2 de U-waarde van de scheidingsconstructie tussen binnenomgeving en AOR

$$= \frac{1}{R_{si} * \sum R * R_{si}}$$

Ook bij een funderingsaanzet op volle grond wordt een aangepaste formule gebruikt [42]:

$$\Psi_e = \frac{\varphi_{2D}}{L * (\theta_i - \theta_e)} - \frac{U_1 * A_1}{L} - \frac{\varphi_{2D,a}}{L * (\theta_i - \theta_e)}$$

Met: A_1 de oppervlakte van de muur tussen binnen- en buitenomgeving

U_1 de U-waarde van de muur tussen binnen- en buitenomgeving

$\varphi_{2D,a}$ de stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, op basis van het model dat als volgt moet worden aangepast:

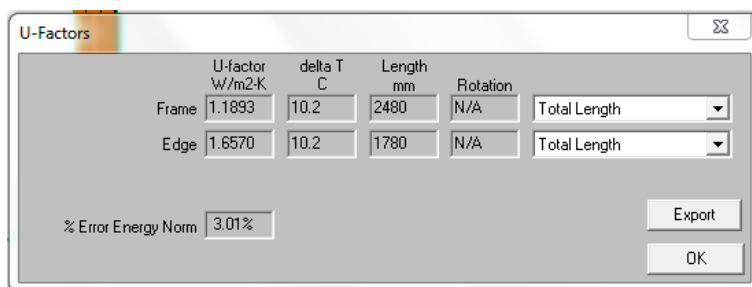
- Verwaarlozing van alle funderingsmassieven en/of randisolatie door deze te vervangen door grond met $\lambda = 2 \text{ W/mK}$;
- Opleggen van adiabatiscie randvoorwaarden waar de muur in contact is met de vloer op volle grond of de grond.

2.12.1 THERM-software

Om de tweedimensionale stationaire warmtestroom van een bouwknop tussen de binnen- en buitenomgeving te berekenen, wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van de software THERM.

Na het uittekenen van de bouwknop en het vastleggen van de materiaalparameters, worden aan het model boundary conditions toegevoegd. In deze boundary conditions legt men vast over welk soort oppervlak het gaat: binnen- of buitenomgeving of een AOR. Hierbij worden ook de overgangsweerstanden ingegeven.

Uit de numerieke output van de berekening kan dan de tweedimensionale stationaire warmtestroom berekend worden. Volgende figuur geeft een voorbeeld van de numerieke output.



Figuur 21: Voorbeeld numerieke output THERM

Volgende gegevens worden weergegeven: een U-factor, een temperatuurverschil en een afstand. Wanneer deze vermenigvuldigd worden met elkaar en met de lengte waarover de bouwknop gemodelleerd wordt, bekomt men de ϕ_{2D} -waarde in W.

In de grensvoorwaarden in Therm is de binnentemperatuur ingesteld op 20°C en de buitentemperatuur op 9,8°C, omdat dit de gemiddelde buitentemperatuur is in Ukkel.

2.13 Rapportage van de energieprestatie

Om de energieprestatie van de referentiewoningen te bepalen, maakt dit onderzoek gebruik van de EPB-software Vlaanderen en de PHPP-software. Deze laatste software wordt gebruikt ter vergelijking en aanvulling van de EPB-software. Met behulp van de PHPP-spftware kan de energiebalans van een gebouw berekend worden met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5$ kWh [43].

2.13.1 PHPP-software

Het PassiefHuis ProjecteringsPakket of PHPP is een Excel-rekenblad waarin alle parameters van een gebouw en zijn installaties ingegeven kunnen worden. De rekentool bepaalt de energiezuinigheid van het gebouw en evalueert het eindverbruik. De berekening is gebaseerd op Europese normen [44].

Deze software werd ontwikkeld door het Duitse Passivhaus Institut. Wanneer voor een woning een passiefhuiscertificaat aangevraagd wordt, dient de berekening in de PHPP-software aangeleverd te worden inclusief alle bewijsmateriaal om de gegevensinput te kunnen verantwoorden [45].

3 Onderzoek naar de huidige toestand

Hieronder wordt besproken op welke manier beide referentiewoningen opgebouwd zijn en wat hun huidig energieprestatieniveau bedraagt. Op basis van deze gegevens zullen dan de nodige verbeteringen aangebracht worden.

3.1 Woning uit 1920



Figuur 22: Voorgevel van de woning uit 1920

De grondplannen van deze woning zijn terug te vinden in bijlage 1.

Het huidige K- en E-peil van de woning bedraagt K150 en E336. De primaire energievraag bedraagt 479,67 kWh/m² per jaar. De jaarlijkse netto-energiebehoefte bedraagt 206,41 kWh/m².

Verder wordt de opbouw van elk constructiedeel besproken. Omdat er geen bouwplannen van het huis beschikbaar waren, zijn er verschillende aannames gemaakt. De constructiedelen zijn ingegeven in de software zoals ze worden beschreven in de volgende paragraaf.

3.1.1 Overzicht U-waarden in de huidige toestand

De tabel hieronder geeft een overzicht weer van de opbouw en de U-waarden van de constructiedelen in de huidige toestand. In paragraaf 4 zullen deze U-waarden vergeleken worden met de maximale U-waarden die per eis gesteld worden.

Tabel 13: U-waarden constructiedelen huidige toestand woning 1920

Constructiedeel	Opbouw	U-waarde (W/m ² K)
Hellend dak	Dakpannen Keppers/gordingen 5 cm EPS	1,00
Plat dak	2 cm bitumenmembraan 5 cm deklaag 20 cm gewapend beton 1 cm PVC-tegels	1,88
Gemene muur	23 cm metselwerk 1 cm gipspleister	1,34
Vloer woonkamer (boven kelder)	1 cm tegels 10 cm deklaag 20 cm gewapend beton	1,09
Vloer keuken (volle grond)	1 cm tegels 10 cm deklaag 25 cm gewapend beton	0,56
Voorgevel verdiep 0	35 cm metselwerk 1 cm gipspleister	1,74
Bijbouw	18 cm metselwerk	2,26
Bijbouw gemeenschappelijk	1 cm PVC-panelen	1,88
Muur tegen gang	23 cm metselwerk 1 cm pleisterwerk	1,34
Voor- en achtergevel verdiep 1	23 cm metselwerk 1 cm gipspleister	2,26
Vensters enkel glas		5,03
Vensters dubbel glas		3,29
Voor- en achterdeur		4,00

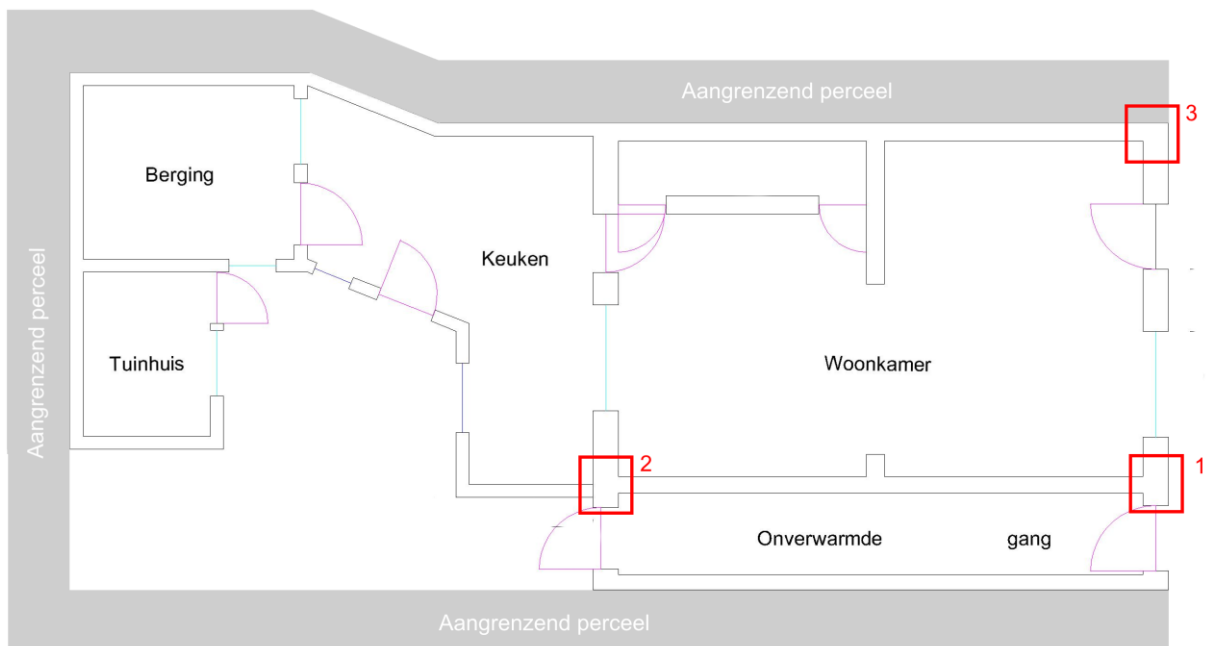
3.1.2 Bouwknopen

De woning uit 1920 is nergens (voldoende) geïsoleerd. Daarom zal er geen enkele bouwknop voldoen aan de basisregels. Alle bouwknopen zijn dus numeriek doorgerekend met behulp van Therm om de tweede voorwaarde van bouwknopen te controleren. Deze berekeningen, net als de Therm-bestanden zijn terug te vinden in de bijlagen op CD-rom. Omdat in dit onderzoek de focus ligt op rijwoningen, zullen enkel de bouwknopen die specifiek zijn voor dit type woningen uitgebreid besproken worden.

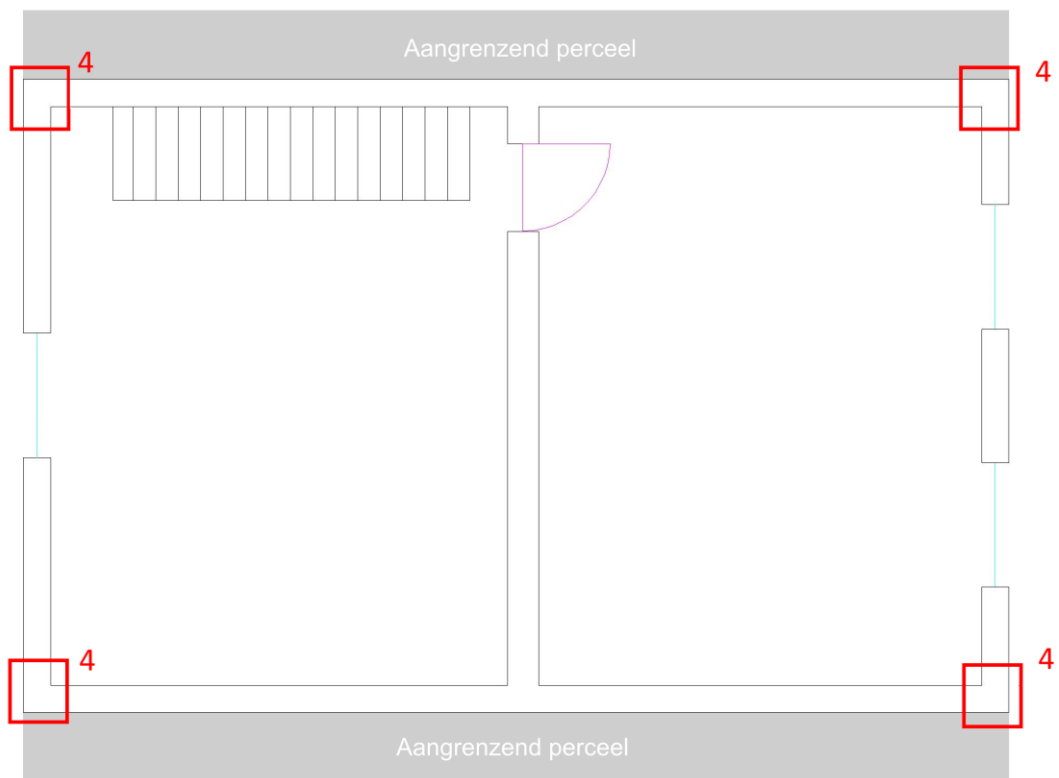
Volgende bouwknopen zijn aanwezig in de huidige toestand van deze woning:

1. De aansluiting van de voorgevel van het gelijkvloers met de muur die grenst aan de onverwarmde gang;
2. De aansluiting van de muur die grenst aan de onverwarmde gang met de muur van de bijbouw;
3. De aansluiting van de voorgevel van het gelijkvloers met de gemeenschappelijke muur;
4. De aansluiting van zowel de voor- en achtergevel van het eerste verdiep met de gemeenschappelijke muur;
5. De funderingsaanzet van de kelder aan de voorgevel;
6. De fundering van de vloer op volle grond;
7. De aansluiting van het hellend dak met voor- en achtergevel;
8. De rand van het platte dak aangesloten op het metselwerk van de bijbouw;
9. De aansluiting van het platte dak met de achtergevel;
10. De aansluiting van de voorgevel van het gelijkvloers met de voorgevel van de verdieping omdat beiden uitgevoerd zijn in verschillende diktes;
11. De aansluiting van het hellende dak met de gemeenschappelijke muur.

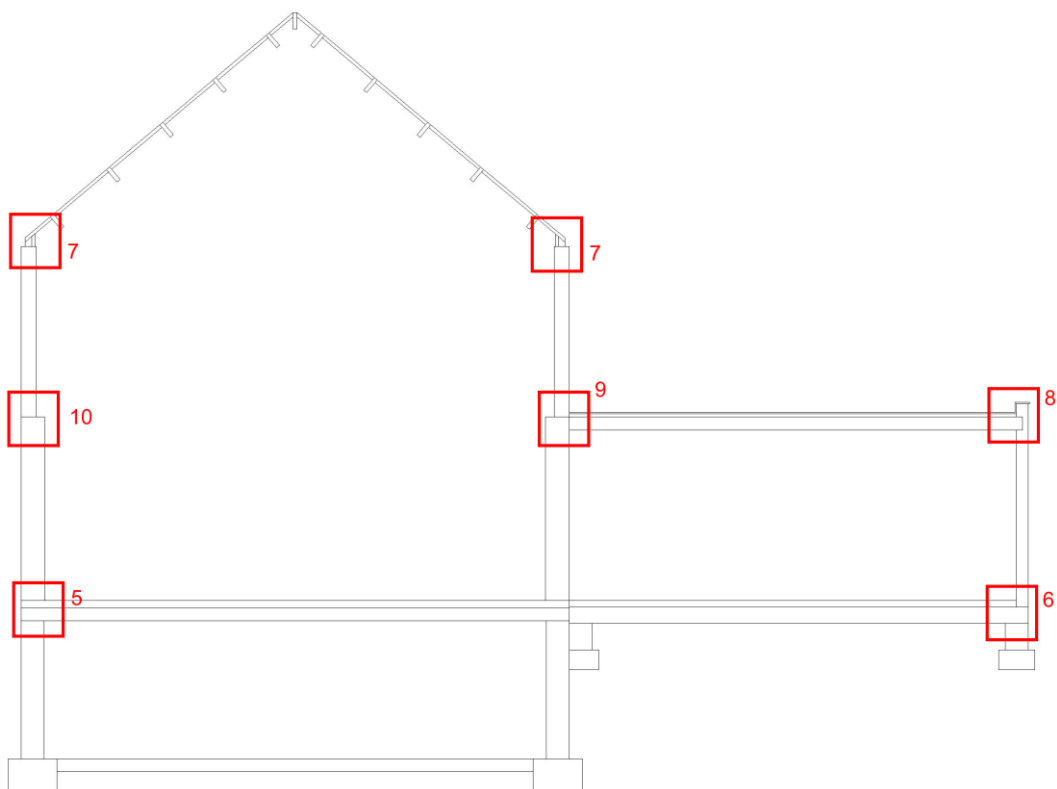
De figuren hieronder geven deze bouwknopen weer.



Figuur 23: Bouwknopen op het gelijkvloers van de woning uit 1920



Figuur 24: Bouwknopen op het eerste verdiep van de woning uit 1920



Figuur 25: Snede van de woning uit 1920

Volgende tabel geeft de aanwezige bouwknopen weer met de waarden van de tweedimensionale, stationaire warmtestroom berekend in Therm (Φ_{2D}), de som van de stationaire warmtestromen door de samenstellende scheidingsconstructies van het model (Φ_{1D}) en de hieruit resulterende Ψ_e -waarde, berekend zoals beschreven in paragraaf 2.12.

Tabel 14: Berekening van de Ψ_e -waarden van de bouwknopen in de woning uit 1920

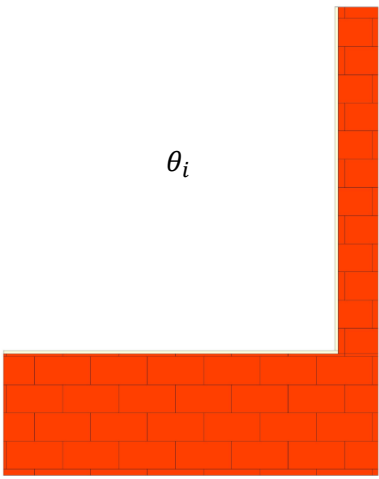
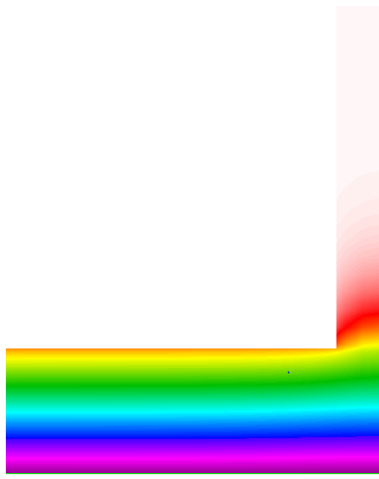
Nr.	Bouwknop	Φ_{2D} (W)	Φ_{1D} (W)	Ψ_e (W)
1	Voorgevel gelijkvloers – Muur tegen gang	83,91	91,94	-0,28
2	Muur tegen gang – bijbouw	127,51	111,18	0,62
3	Voorgevel gelijkvloers – gemene muur	52,78	53,67	-0,03
4	Voor- en achtergevel verdiep – gemene muur	47,38	48,41	-0,05
5	Funderingsaanzet kelder – voorgevel	225,85 $\Phi_{2D,a} =$ 130,83		0,71
6	Funderingsaanzet volle grond – bijbouw	167,09 $\Phi_{2D,a} =$ 166,85		-2,25
7	Hellend dak – voor- en achtergevel	163,22	159,08	0,08
8	Rand plat dak – bijbouw	196,44	227,81	-0,93
9	Plat dak – achtergevel	148,10	146,12	0,11
10	Voorgevel verdiep 1 – voorgevel gelijkvloers	209,66	214,48	-0,09
11	Hellend dak – gemene muur	127,45	81,96	0,45

3.1.2.1 Specifieke bouwknopen

Deze paragraaf bespreekt de bouwknopen specifiek voor een rijwoning. Het temperatuurverloop in de bouwknop wordt telkens weergegeven samen met de berekening van de Ψ -waarde.

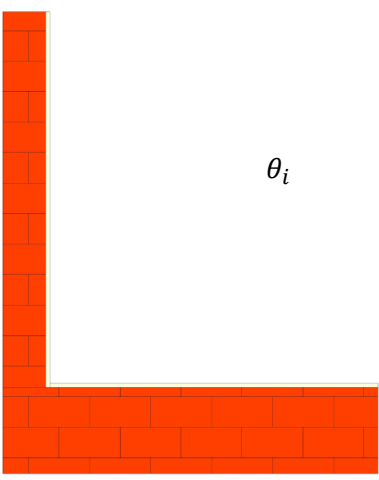
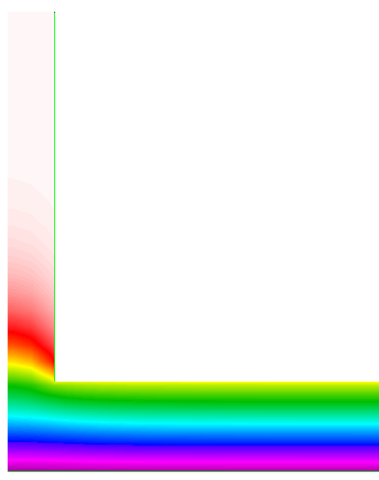
Voorgevel gelijkvloers – gemeenschappelijke muur

De totale dikte van de voorgevel is 35 cm + 1 cm pleister. De lengte van dit constructiedeel in het model bedraagt $3 * 36 = 108$ cm. De gemene muur is 1 m lang en half zo dik als de normale opbouw. De grensvoorwaarde aan de kant van het aangrenzende perceel is adiabatisch.

Model	Model in Therm	U-factor (W/m ² K)	0,95
		delta T	10,20
		Lengte (mm)	1944,98
		Lengte bouwknop (m)	2,80
		Φ_{2D} (W)	52,78
		θ_i	20,00
		θ_e	9,80
		U_1 (W/m ² K)	1,74
		A_1 (m ²)	3,02
		Φ_{1D} (W)	53,67
		Ψ_e (W/mK)	-0,03

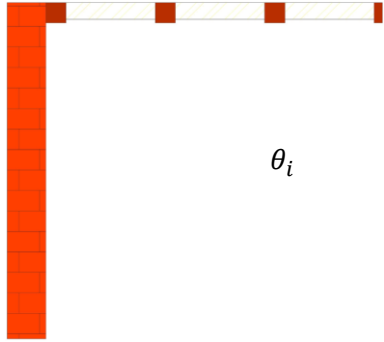
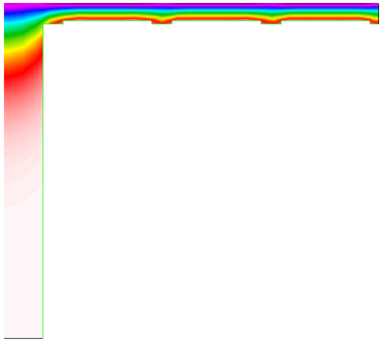
Voor- en achtergevel verdiep – gemeenschappelijke muur

De voor- en achtergevel op de verdieping zijn steeds opgebouwd en 23 cm dik, afgewerkt met een pleisterlaag. De lengte van dit constructiedeel in het model bedraagt 1 m. De gemene muur is 1 m lang en half zo dik als de normale opbouw. De grensvoorwaarde aan de kant van het aangrenzende perceel is adiabatisch.

Model	Model in Therm	U-factor (W/m ² K)	2,21
		delta T	10,20
		Lengte (mm)	1000
		Lengte bouwknop (m)	2,1
		Φ_{2D} (W)	47,38
		θ_i	20,00
		θ_e	9,80
		U_1 (W/m ² K)	2,26
		A_1 (m ²)	2,1
		Φ_{1D} (W)	48,41
		Ψ_e (W/mK)	-0,05

Hellend dak – gemene muur

Het hellend dak is een gordingendak met kepers van 60x60. Tussen deze kepers zijn isomo-platen van 5 cm dik geplaatst. De lengte van dit constructiedeel in het model bedraagt 1 m. De gemene muur is 1 m lang en half zo dik als de normale opbouw. De grensvoorwaarde aan de kant van het aangrenzende perceel is adiabatisch.

Model	Model in Therm	U-factor (W/m ² K)	0,63
		delta T	10,20
		Lengte (mm)	1995,48
		Lengte bouwknoop (m)	9,92
		Φ_{2D} (W)	127,45
		θ_i	20,00
		θ_e	9,80
		U_1 (W/m ² K)	0,81
		A_1 (m ²)	9,92
		Φ_{1D} (W)	81,96
		Ψ_e (W/mK)	0,45

3.2 Woning uit 1977

De gekozen rijwoning uit de jaren '70, is een woning gebouwd in 1977. De voor- en achtergevel van deze woning zijn opgebouwd uit spouwmuren met een spouw van 5 cm dik. Het binnenspouwblad is 11 cm dik en het buitenspouwblad 9 cm dik. In de bijlage vindt u de grondplannen van deze woning.

De zolder wordt niet meegerekend bij het beschermd volume, de zoldervloer is wel geïsoleerd met 5 cm geëxpandeerd polystyreen. De stukjes plat dak zijn wel geïsoleerd met argex-korrels. De vloer op volle grond is niet geïsoleerd.

De ramen zijn opgebouwd uit dubbel glas met metalen raamprofielen. Er is ook centrale verwarming die voorzien wordt door een CV ketel met mazoutbrander. Het warm water wordt voorzien door een boiler op CV.



Figuur 26: Voorgevel van de woning uit 1977

Het huidige K-peil en E-peil van de woningen bedragen K104 en E191. Het primair energieverbruik bedraagt 551,29 kWh/m² en de jaarlijkse netto energiebehoefte voor verwarming bedraagt 306,23 kWh/m², dit is 12 keer meer dan de toegestane waarde volgens EnerPHit.

De grondplannen van de woning zijn terug te vinden in bijlage 2.

3.2.1 Opbouw constructiedelen met bijhorende U-waarden in de huidige toestand

Tabel 15: Opbouw en U-waarden constructiedelen huidige toestand woning 1977

Constructiedeel	Opbouw	U-waarde (W/m ² K)
Voorgevel	9 cm gevelsteen 5 cm luchtpouw 11 cm mangaansteen	1,83
Gemene muur links	1 cm kurkviltisolatie 11 cm mangaansteen	1,58
Gemene muur rechts Tussenmuur uit lichte mangaan	1 cm kurkviltisolatie 11 cm mangaansteen	1,58
Tussenmuur uit SBS	1 cm kurkviltisolatie 11 cm snelbouwsteen 7 mm pleister	1,20
Achtergevel Mangaansteen(donker & licht)	9 cm gevelsteen 5 cm luchtpouw 11 cm mangaansteen	1,83
SBS	9 cm gevelsteen 5 cm luchtpouw 11 cm snelbouwsteen 7 mm pleister	1,57
Zoldervloer	10 cm beton 10 cm deklaag	0,78
Plat dak	10 cm gewapend beton 10 cm Argex uitvulling 2 cm bitumen dakgrind	0,98
Vloer	10 cm beton 10 cm deklaag 1 cm tegel	0,49
Deur		5,00
Vensters	Dubbel glas Stalen profielen	2,70

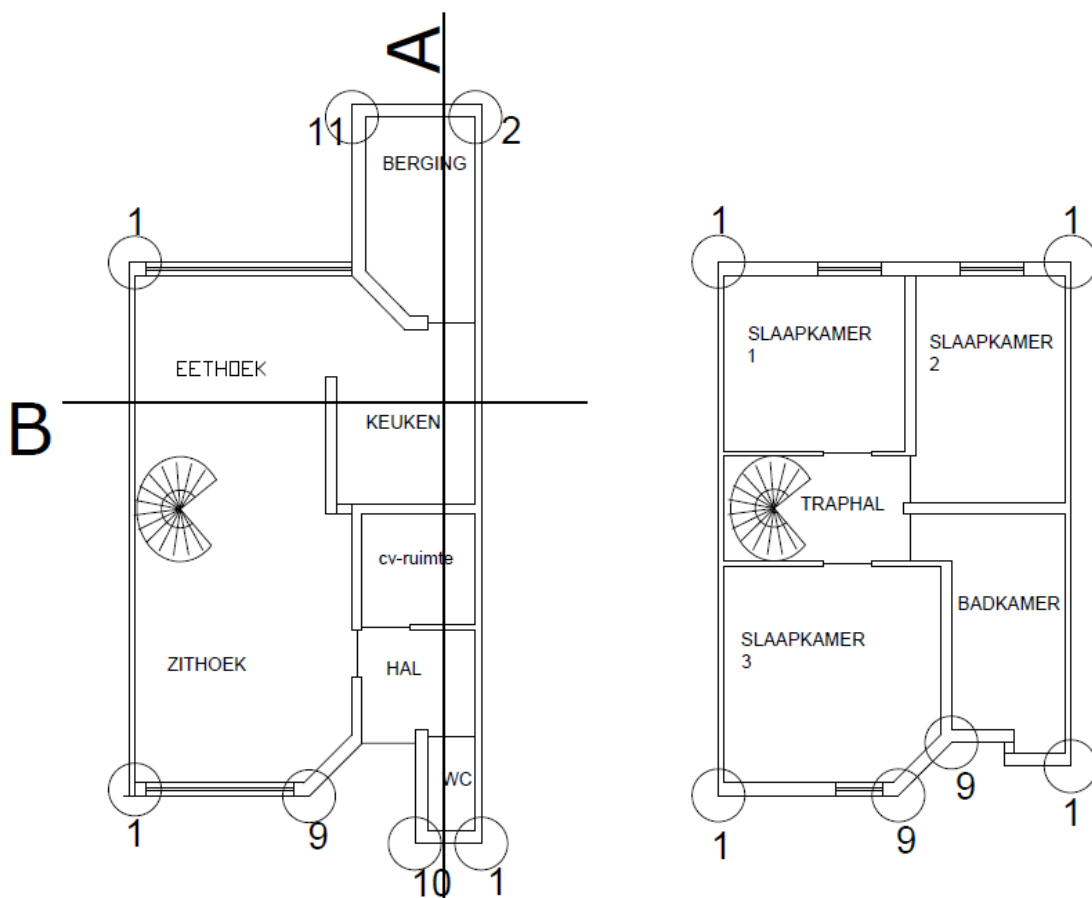
3.2.2 Bouwknopen

De bouwknopen die in de huidige toestand te definiëren zijn:

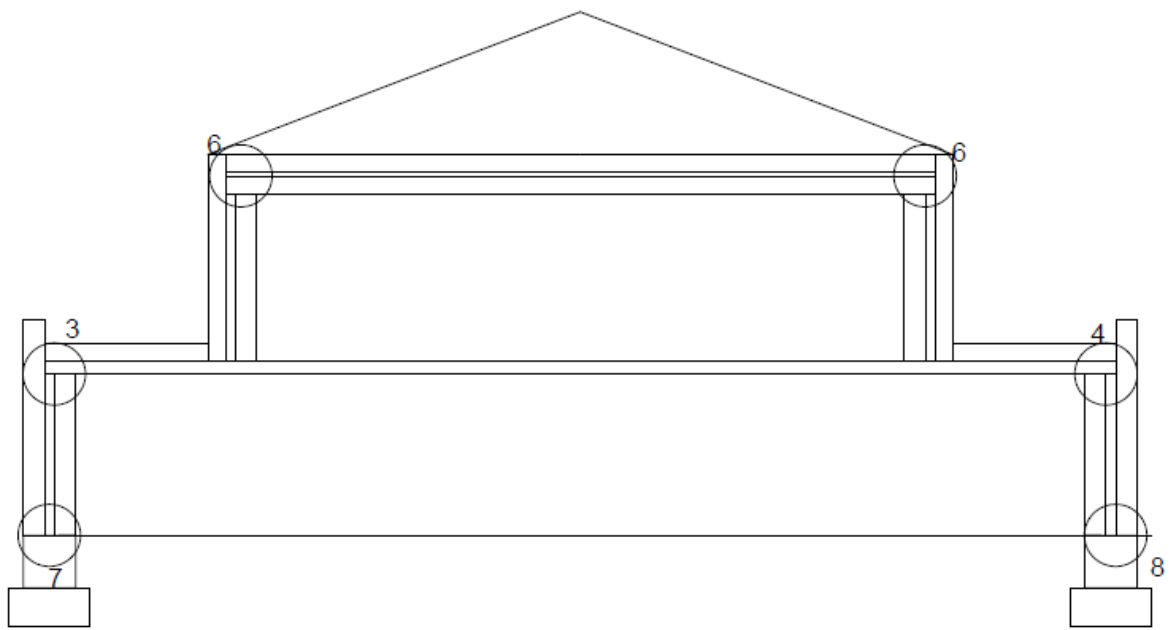
1. Scheiding tussen gemene muur en gevel opgebouwd uit mangansteen;
2. Scheiding tussen gemene muur en gevel opgebouwd uit SBS;
3. Aansluiting van het plat dak boven het toilet met de gevel;
4. Aansluiting van het plat dak met de bergingmuur opgebouwd uit SBS;
5. Aansluiting van het plat dak met de gevelmuur opgebouwd uit mangan;
6. Aansluiting van de gevel op de zoldervloer;
7. Funderingsaanzet gevel opgebouwd uit mangansteen;
8. Funderingsaanzet gevel opgebouwd uit SBS;
9. Aansluiting van de rechte voorgevel op het schuine deel;
10. Aansluiting van de rechte voorgevel op het loodrechte deel;
11. Aansluiting van de achtergevel op het loodrechte deel;
12. Aansluiting van de gemeenschappelijke muur op de zoldervloer.

Voor bouwknopen rond ramen en deuren wordt er gewerkt met de waarde bij ontstentenis.

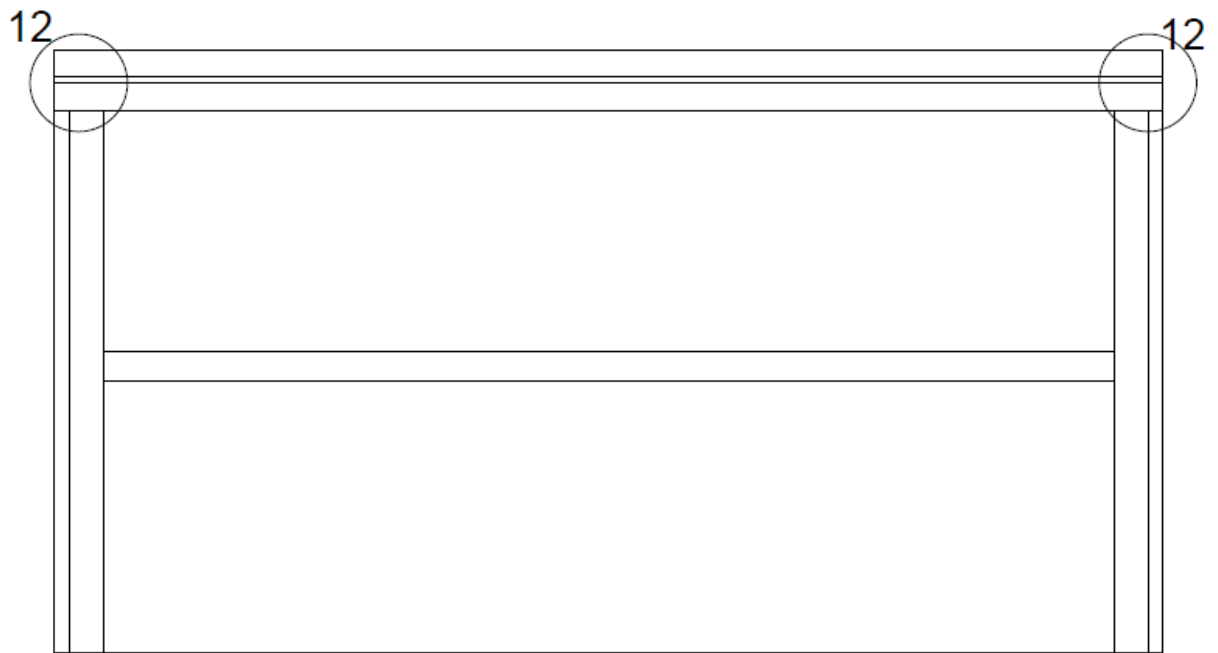
Op onderstaande figuren worden de bouwknopen weergegeven.



Figuur 27: Bouwknopen aangeduid op grondplannen van het huis uit 1977



Figuur 28: Bouwknopen aangeduid op snede A huis 1977



Figuur 29: Bouwknopen aangeduid op snede B huis 1977

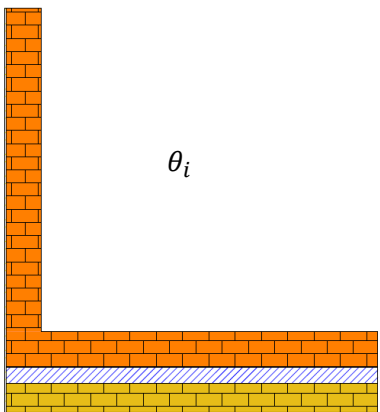
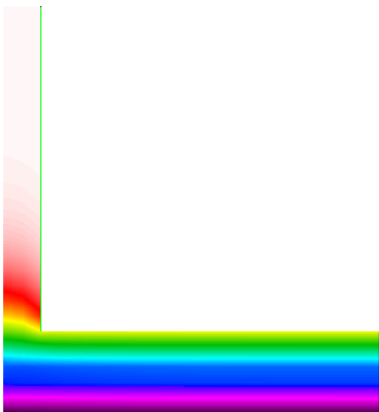
Tabel 16: Berekening van de Ψ_e -waarden van de bouwknoepen in de woning uit 1977

Nr	Bouwknoep	Φ_{2D} (W)	Φ_{1D} (W)	Ψ_e (W)
1	Scheiding tussen gemene muur en gevel opgebouwd uit mangaansteen	216,79	186,75	0,34
2	Scheiding tussen gemene muur en gevel opgebouwd uit SBS	62,09	55,25	0,22
3	Aansluiting van het plat dak boven het toilet met de gevel	58,95	90,57	-0,98
4	Aansluiting van het plat dak met de bergingmuur opgebouwd uit SBS	88,87	141,75	-0,95
5	Aansluiting van het plat dak met de gevelmuur opgebouwd uit mangaan	111,46	171,11	-0,98
6	Aansluiting van de gevel op de zoldervloer	326,01	307,8	-0,17
7	Funderingsaanzet gevel opgebouwd uit mangaansteen	121,76 $\Phi_{2D,a} = 121,29$		-1,56
8	Funderingsaanzet gevel opgebouwd uit SBS	298,05 $\Phi_{2D,a} = 296,66$		-1,82
9	Aansluiting van de rechte voorgevel op het schuine deel	224,01	212,79	0,19
10	Aansluiting van de rechte voorgevel op het loodrechte deel	99,24	112	-0,42
11	Aansluiting van de achtergevel op het loodrechte deel	83,29	96,08	-0,42
12	Aansluiting van de gemeenschappelijke muur op de zoldervloer	139,38	140,82	-0,01

3.2.2.1 Specifieke bouwknope

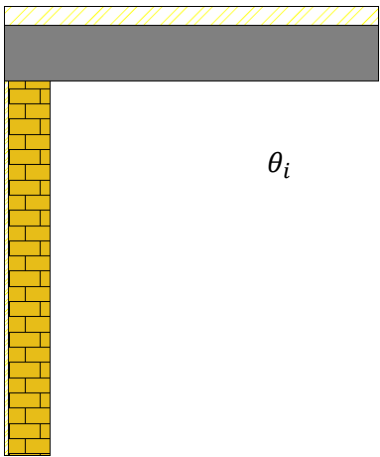
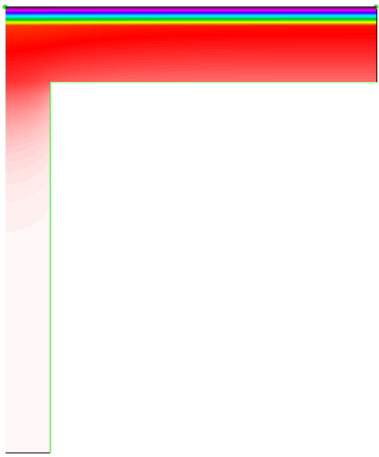
Voorgevel – gemeenschappelijke muur

De totale dikte van de voorgevel is 25 cm pleister. De lengte van dit constructiedeel in het model bedraagt 100 cm. De gemene muur is 1 m lang en half zo dik als de normale opbouw. De grensvoorwaarde aan de kant van het aangrenzende perceel is adiabatisch.

Model	Model in Therm	U-factor (W/m ² K)	2,12
		delta T	10,20
		Lengte (mm)	1155,00
		Lengte bouwknoop (m)	8,70
		Φ_{2D} (W)	216,79
		θ_i	20,00
		θ_e	9,80
		U_1 (W/m ² K)	1,83
		A_1 (m ²)	10,01
		Φ_{1D} (W)	186,75
		Ψ_e (W/mK)	0,34

Zoldervloer – gemeenschappelijke muur

De zoldervloer is opgebouwd uit een betonlaag van 15 cm met daarbovenop EPS platen van 5 cm dik. De lengte van dit constructiedeel in het model bedraagt 1 m. De gemene muur is 1 m lang en half zo dik als de normale opbouw. De grensvoorwaarde aan de kant van het aangrenzende perceel is adiabatisch.

Model	Model in Therm	U-factor (W/m ² K)	0,77
		delta T	10,20
		Lengte (mm)	1000,00
		Lengte bouwknoop (m)	17,70
		Φ_{2D} (W)	139,38
		θ_i	20,00
		θ_e	9,80
		U_1 (W/m ² K)	0,78
		A_1 (m ²)	17,70
		Φ_{1D} (W)	140,82
		Ψ_e (W/mK)	-0,01

3.3 Vergelijking van de huidige toestand

Doorheen de jaren is de bouwwijze van de verschillende constructiedelen veranderd.

Het deel van de gebouwschil dat de grootste evolutie doorgemaakt heeft doorheen de tijd zijn de gevels. Vroeger werden deze (anderhalf)steens opgebouwd maar tegenwoordig wordt er met een spouw gewerkt. De keuze voor een steense muur heeft als voordeel dat de thermische inertie van de materialen gebruikt wordt. Dit heeft een positieve invloed op de oververhittingsindicator. Deze bedraagt 3551 Kh in de huidige toestand van de woning uit 1920. Een spouwmuur maakt hier geen gebruik van. Ter vergelijking: de oververhittingsindicator van de woning uit 1977 bedraagt 7176 Kh.

Een spouwmuur daarentegen biedt een betere bescherming tegen de indringing van regenwater. Het vocht kan door de capillaire werking van bakstenen niet meer doordringen tot binnen omdat de gevel onderbroken wordt.

De opbouw van de overige constructiedelen (plat dak, vloer, hellend dak) is hetzelfde gebleven.

4 Situering van de huidige toestand in de regelgeving

4.1 Woning uit 1920

K-peil: 150

E-peil: 336

Waarden in de huidige toestand		Geëiste waarden				
Constructiedeel	U (W/m ² K)	BEN	België	Nederland	Duitsland	Passiefhuis- standaard
Hellend dak	1,00	0,24	0,24	0,16	0,12	0,15
Plat dak	1,88					
Vloer woonkamer	1,09	0,24	0,30	0,27	f * U ≤ 0.150	0,15
Vloer keuken	0,56					
Gemene muur	1,34	0,50	1,00			
Voorgevel verdiep 0	1,74	0,24	0,24	0,21	Buitenisolatie: 0,150 Binnenisolatie: 0,300	0,15
Bijbouw	2,26					
Bijbouw gemeenschappelijk	1,88					
Muur tegen gang	1,34					
Voor- en achtergevel verdiep 1	2,26					
Vensters enkel glas	5,03	1,50	1,80	1,65	0,85	0,85
Vensters dubbel glas	3,29					
Deuren	4,00	2,00	2,00	1,65	0,80	0,85
Netto-energiebehoefte per jaar (kWh/m²)	206,41	70	70	36	25	15

4.2 Woning uit 1977

K-peil: 104

E-peil: 169

Waarden in de huidige toestand		Geëiste waarden				
Constructiedeel	U (W/m ² K)	BEN	België	Nederland	Duitsland	Passiefhuis- standaard
Zoldervloer	0,78	0,24	0,24	0,16	0,12	0,15
Plat dak	0,98					
Vloer	0,60	0,24	0,30	0,27	f * U ≤ 0.150	0,15
Voorgevel	1,83	0,24	0,24	0,21	Buitenisolatie: 0,150 Binnenisolatie: 0,300	0,15
Voorgevel schuin	1,83					
Voorgevel loodrecht	1,83					
Gemene muur links	1,58					
Gemene muur rechts	1,58					
Tussenmuur uit lichte mangaan	1,20					
Tussenmuur uit SBS						
Achterevel	1,83	1,50	1,80	1,65	0,85	0,85
Mangaansteen(donker&licht)	1,57					
SBS						
Achterevel loodrecht	1,57					
Vensters	2,70	2,00	2,00	1,65	0,80	0,85
Voordeur	5,00	70	70	36	25	15
Netto-energiebehoefte per jaar (kWh/m²)	166,83					

5 Technische installaties

Om de vergelijking tussen beide woningen te vergemakkelijken, plaatsen we in beide woningen dezelfde installaties. We kiezen ervoor om geen fotovoltaïsche panelen te plaatsen, omdat dit niet relevant is binnen dit onderzoek.

5.1 Ventilatie

Volgens het WTCB [46] moet er bij de bepaling van een ventilatiesysteem rekening gehouden worden met het luchtdichtheidsniveau n_{50} .

Tabel 17: Luchtdichtheidswaarden per ventilatiesysteem [46]

Soort ventilatiesysteem	n_{50} -waarde
Systeem A	5 tot 3
Systeem B	3 tot 1
Systeem C	5 tot 3
Systeem D	3 tot 1

Systeem A en C hebben beide een grotere n_{50} -waarde dan systeem B en D. Dit betekent dat gebouwen met deze systemen minder luchtdicht dienen te zijn. Dit is logisch omdat het belangrijk is dat lucht op een natuurlijke manier wordt toegevoerd.

Voor de bepaling van het benodigde ventilatiesysteem in de referentiewoningen vergelijken we de verschillende normen. De Duitse norm stelt dat de n_{50} limietwaarde 1 moet zijn. De Nederlandse norm stelt dat de luchtdoorlatendheid beperkt moet worden tot $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Wanneer we dit in een n_{50} -waarde willen vertalen hebben we het volume van de referentiewoningen nodig.

Volume huis = V

$$n_{50} = \frac{0.2 \text{ m}^3/\text{s}}{V \text{ m}^3} = X \frac{1}{\text{s}} = X \frac{1}{\left(\frac{\text{h}}{3600}\right)} = X * 3600 \frac{1}{\text{h}}$$

De volumes van de referentiewoningen bedragen respectievelijk 292 m^3 en 363 m^3 . Wanneer we dit invullen bekomen we n_{50} - waarden van 2,47 en 1,98.

We zien dus dat de luchtdichtheidswaarde die we willen bereiken tussen de 1 en de 3 ligt. Dit impliceert dat we een systeem B of D moeten kiezen.

Tabel 18: Vergelijking ventilatiesystemen [46]

betreft	A	B	C	D
	natuurlijk	mech. toevoer	mech. afvoer	balans
Luchtkwaliteit en debieten	+/-	++	+	+++
Temperatuurcomfort	tochtrisiko	voorverwarmen!	tochtrisiko	goed
Lawaai van buiten?	mogelijk	goed	mogelijk	goed
Lawaai van installatie?	geen	opgelet!	beperkt	opgelet!
Eenvoud	+/-	--	-	---
Eigen elektriciteitsverbruik	neen	beperkt	beperkt	opgelet!
Energie recuperatie	neen	neen	WP boiler	WTW
Energie voor verwarming	normaal	opgelet!	normaal	laag
Invloed op E-peil	beperkt	beperkt	redelijk beperkt	groot
Toepasbaar in verbouwingen	moeilijk	moeilijk	redelijk	moeilijk
Onderhoud	beperkt	matig	matig	hoog
Gebruikskost	beperkt	matig	matig	hoog
Systeemkost (€)	800-1500		1000-2000	5000-7000

Voor de toepassing in onze referentiewoningen kiezen we voor een systeem D. Bij dit systeem zijn de afvoer en toevoer ongeveer gelijk zodat er geen overdruk ontstaat in de woning. Ook zien we in bovenstaande tabel dat de luchtkwaliteit en het temperatuurcomfort beter zijn. Ondanks de hoge onderhoudslasten en gebruikskosten zal systeem D hier toegepast worden omwille van de lage energievraag voor verwarming en de warmteterugwinning. Bovendien zorgt deze warmterecuperatie ook voor een verbetering van het E-peil.

De benodigde toevoer- en afvoerdebieten worden per ruimte bepaald aan de hand van volgende gegevens:

	ruimte	nominale debiet		debiet mag beperkt worden tot	minimale spleet onder de deur
		algemene regel	minimaal debiet		
toevoer	woonkamer	3,6 m³/h.m²	75 m³/h	150 m³/h	
	slaapkamer		25 m³/h		
	studeerkamer				
	speelkamer				
doorstroom als afvoer uit de ruimte	woonkamer		25 m³/h	70 cm²	
	slaapkamer				
	studeerkamer				
	speelkamer				
doorstroom als toevoer naar de ruimte	keuken		50 m³/h	140 cm²	
	badkamer		25 m³/h		
	was- en droogplaats			70 cm²	
	wc				
afvoer	keuken	3,6 m³/h.m²	50 m³/h	75 m³/h	
	badkamer		75 m³/h		
	was- en droogplaats				
	open keuken				
	wc	25 m³/h			

Figuur 30: Benodigde toevoer- en afvoerdebieten per ruimte [13]

5.1.1 Ventilatie debieten woning 1920

Tabel 19: Berekening ventilatie debieten woning 1920

Ruimte	Oppervlakte (m ²)	Berekend debiet (m ³ /h)	Minimaal debiet (m ³ /h)	Maximaal debiet (m ³ /h)
Woonkamer	35,44	127,58	75	150
Keuken	15,52	55,87	50	75
Berging	8,68	31,25	50	75
Slaapkamer 1	20,98	75,53	25	72
Slaapkamer 2	20,42	73,51	25	72
Zolder	40,132	144,48	25	72

Totaal pulsie: 343,58 m³/h

Totaal extractie: 105,87 m³/h

5.1.2 Ventilatie debieten woning 1977

Tabel 20: Berekening ventilatie debieten woning 1977

Ruimte	Oppervlakte (m ²)	Berekend debiet (m ³ /h)	Minimaal debiet (m ³ /h)	Maximaal debiet (m ³ /h)
Woonkamer	36,83	132,59	75	150
Keuken	9,52	34,27	50	75
WC	1,71	25	/	/
Slaapkamer 1	11,42	41,11	25	72
Slaapkamer 2	12,26	44,14	25	72
Slaapkamer 3	16,40	59,04	25	72
Badkamer	9,91	35,68	50	75
CV-ruimte	4,51	16,24	50	75

Totaal pulsie: 232,74 m³/h

Totaal extractie: 175 m³/h

Beide woningen hebben meer pulsie nodig dan extractie. Wanneer we de extractie opvoeren, is dit niet economisch. Daarom kan gekozen worden om bijvoorbeeld in de slaapkamers enkel overdag te ventileren, om zo de pulsie en de extractie in evenwicht te brengen.

Een ventilatiesysteem dat voor beide woningen zou voldoen is het centrale ventilatietoestel LWZ 70 E van Stiebel Eltron. Technische info van dit toestel is terug te vinden in bijlage 7.

5.2 Verwarmingsketel

Omdat beide woningen reeds een tank voor stookolie hebben werd hier de keuze gemaakt voor een ketel op stookolie. Om de ketel te dimensioneren, is het nodig dat het volume van de verwarmde ruimtes gekend is. Door dit volume te vermenigvuldigen met het benodigde verwarmingsvermogen per m³ wordt het benodigde vermogen bekomen.

Richtwaarden voor deze berekening per ruimte:

Tabel 21: Richtwaarden verwarmingsvermogen per ruimte [47]

	W/m ³
badkamer	90
woonkamer	85
keuken	75
hal/toilet	70
slaapkamer	75

Wanneer de zoldervloer niet geïsoleerd is en de zolderruimte niet verwarmd wordt, dient het volume van de zolder boven de ruimtes op het verdiep opgeteld worden met het volume van deze ruimte.

Voor de woning uit 1920 is volgend vermogen vereist:

Tabel 22: Berekening ketelvermogen voor de woning uit 1920

	Verwarmingsvermogen (W/m ³)	Oppervlakte ruimte (m ²)	Hoogte (m)	Vermogen (W)
Woonkamer	85	29,66	2,8	7057,89
Keuken	75	13,00	2,5	2436,806
Berging	90	6,70	2,5	1506,938
Slaapkamer 1	75	17,60	2,1	2772,725
Slaapkamer 2	75	17,08	2,1	2689,391
			Totaal	16463,75

Ter vergelijking wordt ook het benodigd vermogen voor de woning uit 1977 berekend:

Tabel 23: Berekening ketelvermogen voor de woning uit 1977

	Verwarmings- vermogen (W/m ³)	Oppervlakte ruimte (m ²)	Hoogte (m)	Vermogen (W)
Eethoek+ zithoek	85	36,83	2,4	7513,32
Keuken	75	9,52	2,4	1713,6
WC	70	1,71	2,4	287,28
Slaapkamer 1	75	11,42	2,4	2055,6
Slaapkamer 2	75	12,26	2,4	2206,8
Slaapkamer 3	75	16,4	2,4	2952
Badkamer	90	9,91	2,4	2140,56
			Totaal	18869,16

Het benodigde vermogen is voor beide woningen ongeveer even groot, namelijk 16,5 kW en 18,9 kW. Een ketel die hieraan voldoet is de Vitoladens 333-F van Viessmann. Deze heeft een nominaal vermogen van 12,9 kW tot 23,5 kW en een geïntegreerde warmwaterboiler van 130 l.

Omdat deze ketel een geïntegreerde warmwaterboiler bezit, moet bij de berekende vermogens het vermogen van de boiler meegerekend worden. als eerste benadering wordt hiervoor 130 kJ/liter water op 2 uur genomen [47].

Het extra vermogen dat hier nodig is:

$$\frac{130 \frac{kJ}{l} * 130 l}{2 h * 3600 \frac{s}{h}} = 2,35 kW$$

We zien dus dat de gekozen ketel nog steeds voldoet aan het benodigde vermogen.

6 Aanpassingen aan de gebouwschil

6.1 Woning uit 1920

6.1.1 Renovatie volgens EnerPHit

Om de energieprestatie van deze woning te verbeteren, wordt eerst de gebouwschil aangepakt. Omdat de keuze van een bepaald isolatiemateriaal niet relevant is voor dit onderzoek, wordt er voor de renovatie van deze woning aangenomen dat de woning geïsoleerd wordt met een zo smal mogelijke isolatielaag.

6.1.1.1 Berekening isolatiediktes

Hellend dak

Het hellend dak zal met gespoten PUR geïsoleerd worden. Voor daktoepassingen dient de λ -waarde uit de technische fiche (bijlage 7) gedeeld te worden door 0,85. Dit omdat de dikte van in situ gespoten PUR niet exact bepaald kan worden [48].

$$\lambda_{PUR} = \frac{0,025}{0,85} = 0,029$$

Een deel hiervan zal tussen de kepers gespoten worden. De houtfractie in deze laag bedraagt 20%.

$$\begin{aligned} R_{kepers} &= \frac{d}{\lambda_{equivalent}} = \frac{0,06}{\lambda_{hout} * 0,20 + \lambda_{isolatie} * 0,80} = \frac{0,06}{0,13 * 0,20 + 0,029 * 0,80} \\ &= 1,22 \frac{m^2 K}{W} \end{aligned}$$

Een ander deel van de isolatie wordt tussen de gordingen aangebracht. Bij deze berekening is aangenomen dat de houtfractie in de niet-homogene laag 11% bedraagt en de isolatiefractie 89%. Eerst wordt de warmteweerstand van de niet-homogene laag bepaald. De dikte hiervan is gekend omdat de afmetingen van de gordingen gekend zijn: 250 mm.

$$R_{gordingen} = \frac{0,25}{\lambda_{isolatie} * 0,06 + \lambda_{hout} * 0,94} = \frac{0,25}{0,13 * 0,11 + 0,029 * 0,89} = 6,23 \frac{m^2 K}{W}$$

De isolatiedikte die bovenop deze laag moet aangebracht worden wordt dan op volgende manier bepaald:

$$\begin{aligned} d &= \left(\frac{1}{U_{max}} - R_{se} - R_{si} - R_{kepers} - R_{gordingen} \right) * \lambda \\ &= \left(\frac{1}{0,12} - 0,04 - 0,10 - 1,22 - 6,23 \right) * 0,029 = 0,02 \text{ m} \end{aligned}$$

Plat dak

Ook voor platte daken bedraagt de maximale U-waarde 0,12 W/m²K. De huidige bitumencoating en de isolatie die reeds aanwezig is in het dak zal verwijderd worden. De benodigde dikte voor de nieuwe isolatie met lambda-waarde 0,023 (bijlage 8) wordt hieronder berekend. Bovenop de isolatie zal een nieuwe bitumencoating geplaatst worden.

Gegevens over de opbouw van het dak:

Tabel 24: Opbouw van het dak in de verbeterde toestand

Materiaal	Dikte (m)	Lambda (W/mK)	R (m ² K/W)
Bitumen	0,02	0,230	0,087
Kingspan Therma TR26		0,023	
Deklaag beton	0,05	0,310	0,161
Gewapend beton	0,20	2,200	0,091
Gipspleister	0,01	0,520	0,053

$$d = \left(\frac{1}{U_{max}} - R_{se} - R_{si} - \sum R_i \right) * \lambda$$
$$= \left(\frac{1}{0,12} - 0,04 - 0,10 - 0,087 - 0,161 - 0,091 - 0,053 \right) * 0,023 = 0,18 \text{ m}$$

Vloer woonkamer

Voor het plafond boven een onverwarmde kelder eist EnerPHit f*U ≤ 0,150 met f de grondreductiefactor uitgerekend in PHPP. Deze grondreductiefactor zal bepaald worden in paragraaf 7.

$$d = \left(\frac{1}{U_{max}} - R_{si} * 2 - R_{vloerplaat} - R_{deklaag} - R_{tegel} \right) * \lambda$$
$$= \left(\frac{1}{0,15} - 0,17 * 2 - 0,118 - 0,455 - 0,007 \right) * 0,020 = 0,11 \text{ m}$$

Aangezien de vrije hoogte in de woonkamer 2,80 m bedraagt, is het plaatsen van deze isolatie geen probleem. De minimale vrije hoogte in een woning dient 2,50 m te zijn. [49]

Vloer keuken

Aan de vloerplaat op volle grond wordt dezelfde eis toegepast: f*U ≤ 0,150. De berekende dikte bedraagt 0,11 m.

$$d = \left(\frac{1}{U_{max}} - 2 * R_{si} - R_{vloerplaat} - R_{deklaag} - R_{tegel} \right) * \lambda$$
$$= \left(\frac{1}{0,15} - 2 * 0,17 - 0,114 - 0,500 - 0,007 \right) * 0,020 = 0,11 \text{ m}$$

Aangezien de keuken slechts 2,50 m vrije hoogte bezit, is het enkel mogelijk om vloerisolatie te plaatsen wanneer het plat dak ook verhoogd wordt. Er zal dus gekozen worden om deze vloer niet te isoleren.

Voorgevel verdiep 0

De voorgevel is opgebouwd uit steens metselwerk met $R = 0,387 \text{ m}^2\text{K/W}$ en afgewerkt met een gipspleister aan de binnenzijde met $R = 0,019 \text{ m}^2\text{K/W}$.

De gebruikte binnenisolatie is terug te vinden in bijlage 9. Deze isolatieplaat heeft een lambda-waarde van $0,020 \text{ W/mK}$. Deze platen zijn afgewerkt met een gipskartonplaat van 12,5 mm dik en een R-waarde van $0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$. De maximale U-waarde bij binnenisolatie bedraagt $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$\begin{aligned} d &= \left(\frac{1}{U_{max}} - R_{se} - R_{si} - \sum R_i \right) * \lambda \\ &= \left(\frac{1}{0,3} - 0,04 - 0,13 - 0,387 - 0,019 - 0,05 \right) * 0,020 = 0,054 \text{ m} \end{aligned}$$

Bijbouw

Ook de rest van de woning zal langs de binnenzijde geïsoleerd worden met dezelfde soort isolatie. In de huidige toestand is deze muur met metselwerk met een R-waarde van $0,206 \text{ m}^2\text{K/W}$ langs de binnenkant afgewerkt met PVC-panelen. Deze zullen verwijderd worden.

$$\begin{aligned} d &= \left(\frac{1}{U_{max}} - R_{se} - R_{si} - \sum R_i \right) * \lambda \\ &= \left(\frac{1}{0,3} - 0,04 - 0,13 - R_{metselwerk} - R_{gipskarton} \right) * 0,020 \\ &= \left(\frac{1}{0,3} - 0,04 - 0,13 - 0,206 - 0,05 \right) * 0,020 = 0,058 \text{ m} \end{aligned}$$

Muur tegen gang

De scheidingswand tussen de onverwarmde gang en de woonkamer is opgebouwd uit steens metselwerk met $R = 0,470 \text{ m}^2\text{K/W}$ met hierop een pleisterlaag met $R = 0,019 \text{ m}^2\text{K/W}$. Omdat de onverwarmde gang wordt beschouwd als een aangrenzende onverwarmde ruimte, dus zal R_{si} aan beide kanten van de muur toegepast moeten worden. ook deze muur wordt langs binnen geïsoleerd met Kingspan Kooltherm K5.

$$\begin{aligned} d &= \left(\frac{1}{U_{max}} - 2 * R_{si} - \sum R_i \right) * \lambda \\ &= \left(\frac{1}{0,3} - 2 * 0,13 - R_{metselwerk} - R_{pleister} - R_{gipskarton} \right) * 0,020 \\ &= 0,051 \text{ m} \end{aligned}$$

Muur berging-tuinhuis

Het tuinhuis is net als de gang een AOR. Deze muur is gebouwd met hetzelfde metselwerk als de bijbouw.

$$\begin{aligned}d &= \left(\frac{1}{U_{max}} - 2 * R_{si} - \sum R_i \right) * \lambda = \left(\frac{1}{0,3} - 2 * 0,13 - R_{metselwerk} - R_{gipskarton} \right) * 0,020 \\ &= \left(\frac{1}{0,3} - 2 * 0,13 - 0,206 - 0,05 \right) * 0,020 = 0,056 \text{ m}\end{aligned}$$

Voor- en achtergevel verdiep 1

De voor- en achtergevel van het eerste verdiep zijn slanker uitgevoerd dan de gevels van het gelijkvloers. Dit komt neer op een R-waarde van 0,254 m²K/W voor het metselwerk. Deze muren zijn afgewerkt met een pleisterlaag.

$$\begin{aligned}d &= \left(\frac{1}{U_{max}} - R_{se} - R_{si} - \sum R_i \right) * \lambda \\ &= \left(\frac{1}{0,3} - 0,04 - 0,13 - R_{metselwerk} - R_{gipskarton} \right) * 0,020 = 0,057 \text{ m}\end{aligned}$$

Alle bovengenoemde constructiedelen zullen langs de binnenkant geïsoleerd worden met Kingspan Kooltherm K17 binnenisolatieplaten van 60 mm dik met hierop een gipskartonplaat van 12,5 mm dik.

6.1.1.2 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

Hieronder de samenvattende tabel met de berekende isolatiediktes en de isolatiediktes gebruikt in de EPB-software. Bij de waarden gebruikt in de EPB-software is rekening gehouden met de isolatiediktes die beschikbaar zijn bij de fabrikant. De technische fiches van de gebruikte isolatiesystemen zijn bijgevoegd in bijlage 7 t.e.m. bijlage 11.

Tabel 25: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de EnerPHit-eisen

Constructie-deel	U_{\max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatiedik te (m)	Isolatie- systeem	Isolatiedikt e in EPB- software (m)
Hellend dak	0,12	$\frac{0,025}{0,85} = 0,029$	0,06 tussen de kepers 0,25 tussen de gordingen 0,024 bovenop	In situ gespoten PUR	0,06 tussen de kepers 0,25 tussen de gordingen 0,020 bovenop
Plat dak	0,12	0,023	0,18	Therma TR26	0,180
Vloer woonkamer	0,15	0,020	0,115	Kooltherm K3	0,120
Voorgevel verdiep 0	0,30	0,020	0,054	Kooltherm K17	0,060
Bijbouw	0,30	0,020	0,058	Kooltherm K17	0,060
Muur tegen gang	0,30	0,020	0,051	Kooltherm K17	0,050
Muur berging- tuinhuis	0,30	0,020	0,056	Kooltherm K17	0,060
Voor- en achtergevel verdiep 1	0,30	0,020	0,057	Kooltherm K17	0,060

Zoals in Figuur 15 aangegeven, dient de beglazing aangepast te worden naargelang de isolatie van de muur. De huidige beglazing wordt dus vervangen door thermisch verbeterd glas en thermisch verbeterde raamprofielen (zie bijlage 8). Dit komt neer op een U-waarde van 0,76 W/m²K voor de vensters.

De voor- en achterdeur worden vervangen door deuren die gemaakt zijn voor passiefhuiswoningen met een U-waarde van 0,72 W/m²K. Technische info over deze deur zit in bijlage 13.

Deze aanpassingen aan de vensters en deuren zullen ongewijzigd blijven voor de andere berekeningen.

6.1.2 Renovatie volgens BEN

In een bijna-energieneutrale woning wordt een maximale U-waarde geëist van 0,24 W/m²K voor daken, plafonds en buitenmuren. Voor de muren die grenzen aan een aangrenzend perceel geldt $U_{\max} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.1.2.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

In de tabel hieronder worden de benodigde isolatiediktes weergegeven bij een renovatie naar BEN-niveau.

Tabel 26: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de BEN-eisen

Constructie-deel	U_{\max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatiediktes (m)	Isolatie- systeem	Isolatiediktes in EPB- software (m)
Hellend dak	0,24	$\frac{0,025}{0,85} = 0,029$	0,06 tussen de kepers 0,083 tussen de gordingen	In situ gespoten PUR	0,06 tussen de kepers 0,083 tussen de gordingen
Plat dak	0,24	0,023	0,084	Therma TR26	0,092
Vloer woonkamer	0,24	0,020	0,065	Kooltherm K3	0,070
Gemene muur	0,50	0,020	0,027	Kooltherm K17	0,050
Bijbouw gemeen- schappelijk	0,50	0,020	0,030	Kooltherm K17	0,050
Voorgevel verdiep 0	0,24	0,020	0,071	Kooltherm K17	0,070
Bijbouw	0,24	0,020	0,075	Kooltherm K17	0,080
Muur tegen gang	0,24	0,020	0,067	Kooltherm K17	0,070
Muur berging- tuinhuis	0,24	0,020	0,073	Kooltherm K17	0,080
Voor- en achtergevel verdiep 1	0,24	0,020	0,073	Kooltherm K17	0,080

6.1.3 Renovatie volgens de Belgische EPB-eisen

De Belgische EPB-eisen volgen grotendeels de BEN-eisen. Voor vloeren geldt de U_{\max} -waarde van $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ en voor muren aangrenzend aan een aanliggend perceel $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.1.3.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

In de tabel hieronder worden de benodigde isolatiediktes weergegeven bij een renovatie volgens de Belgische EPB-eisen.

Tabel 27: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de Belgische EPB-eisen

Constructie-deel	U_{\max} ($\text{W/m}^2\text{K}$)	λ (W/mK)	Berekende isolatiediktes (m)	Isolatie- systeem	Isolatiediktes in EPB- software (m)
Hellend dak	0,24	$\frac{0,025}{0,85} = 0,029$	0,06 tussen de kepers 0,083 tussen de gordingen	In situ gespoten PUR	0,06 tussen de kepers 0,083 tussen de gordingen
Plat dak	0,24	0,023	0,084	Therma TR26	0,092
Vloer woonkamer	0,30	0,020	0,048	Kooltherm K3	0,050
Gemene muur	1,00	0,020	0,007	Kooltherm K17	0,050
Bijbouw gemeen- schappelijk	1,00	0,020	0,010	Kooltherm K17	0,050
Voorgevel verdiep 0	0,24	0,020	0,071	Kooltherm K17	0,070
Bijbouw	0,24	0,020	0,075	Kooltherm K17	0,080
Muur tegen gang	0,24	0,020	0,067	Kooltherm K17	0,070
Muur berging- tuinhuis	0,24	0,020	0,073	Kooltherm K17	0,080
Voor- en achtergevel verdiep 1	0,24	0,020	0,073	Kooltherm K17	0,080

6.1.4 Renovatie volgens de Nederlandse eisen

Omdat Nederland werkt met minimale R-waarden, zijn voor de duidelijkheid deze R-waarden omgerekend naar U-waarden. Deze maximale waarden zijn weergegeven per constructiedeel in de samenvattende tabel.

6.1.4.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

In de tabel hieronder worden de benodigde isolatiediktes weergegeven bij een renovatie volgens de Nederlandse eisen.

Tabel 28: Samenvatting van de isolatiediktes volgens de Nederlandse eisen

Constructie-deel	U_{\max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatiedik te (m)	Isolatie- systeem*	Isolatiedikt e in EPB- software (m)
Hellend dak	0,16	$\frac{0,025}{0,85} = 0,029$	0,06 tussen de kepers 0,144 tussen de gordingen	In situ gespoten PUR	0,06 tussen de kepers 0,170 tussen de gordingen
Plat dak	0,16	0,023	0,132	Therma TR26	0,130
Vloer woonkamer	0,27	0,020	0,055	Kooltherm K3	0,060
Vorgevel verdiep 0	0,21	0,020	0,083	Kooltherm K17	0,090
Bijbouw	0,21	0,020	0,087	Kooltherm K17	0,090
Muur tegen gang	0,21	0,020	0,079	Kooltherm K17	0,080
Muur berging- tuinthuis	0,21	0,020	0,085	Kooltherm K17	0,09
Voor- en achtergevel verdiep 1	0,21	0,020	0,085	Kooltherm K17	0,090

6.1.5 Renovatie volgens de passiefhuisstandaard

Voor buitenmuren zijn de eisen voor een passiefhuis en de eisen volgens EnerPHit in Duitsland hetzelfde. Daken en plafonds mogen maximaal een U-waarde hebben van 0,15 W/m²K.

6.1.5.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

In de tabel hieronder worden de benodigde isolatiediktes weergegeven bij een renovatie naar passiefhuisniveau.

Tabel 29: Samenvatting isolatiediktes volgens de passiefhuisstandaard

Constructie-deel	U _{max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatiedikte (m)	Isolatie-systeem*	Isolatiedikte in EPB-software (m)
Hellend dak	0,15	$\frac{0,025}{0,85} = 0,029$	0,06 tussen de kepers 0,159 tussen de gordingen	In situ gespoten PUR	0,06 tussen de kepers 0,18 tussen de gordingen
Plat dak	0,15	0,023	0,14	Therma TR26	0,140
Vloer woonkamer	0,15	0,020	0,12	Kooltherm K3	0,120
Vorgevel verdiep 0	0,15	0,020	0,121	Kooltherm K17	0,120
Bijbouw	0,15	0,020	0,125	Kooltherm K17	0,125
Muur tegen gang	0,15	0,020	0,117	Kooltherm K17	0,120
Muur berging-tuinhuis	0,15	0,020	0,123	Kooltherm K17	0,125
Voor- en achtergevel verdiep 1	0,15	0,020	0,123	Kooltherm K17	0,125

6.1.6 Samenvattende tabel

Volgende tabel geeft de benodigde isolatiediktes (in m) zoals ingegeven in de EPB-software.

Tabel 30: Samenvatting isolatiediktes huis 1920

	BEN	België	Nederland	Duitsland	Passiefhuis-standaard
Hellend dak	0,06 tussen de kepers 0,083 tussen de gordingen	0,06 tussen de kepers 0,083 tussen de gordingen	0,06 tussen de kepers 0,170 tussen de gordingen	0,06 tussen de kepers 0,25 tussen de gordingen 0,020 bovenop	0,06 tussen de kepers 0,18 tussen de gordingen
Plat dak	0,092	0,092	0,130	0,180	0,140
Vloer woonkamer	0,070	0,050	0,060	0,120	0,120
Gemene muur	0,050	0,050			
Bijbouw gemeenschappelijk	0,050	0,050			
Voorgevel verdiep 0	0,070	0,070	0,090	0,060	0,120
Bijbouw	0,080	0,080	0,090	0,060	0,125
Muur tegen gang	0,070	0,070	0,080	0,050	0,120
Muur berging-tuinhuis	0,080	0,080	0,090	0,060	0,125
Voor- en achtergevel verdiep 1	0,080	0,080	0,090	0,060	0,125

Figuur 31: Samenvatting isolatiediktes huis 1920

6.1.7 Bouwknopen

Na toevoeging van binnenisolatie zullen verschillende bouwknopen die niet voldeden aan de basisregels in de huidige toestand, wel voldoen aan deze regels. De volgende aansluitingen worden na de toevoeging van isolatie verondersteld te voldoen aan de basisregel van de minimale contactlengte:

- De aansluiting van de voorgevel van het gelijkvloers met de muur die grenst aan de onverwarmde gang;
- De aansluiting van de voorgevel van het gelijkvloers met de gemeenschappelijke muur (enkel volgens de Belgische en BEN-eisen);
- De aansluiting van zowel de voor- en achtergevel van het eerste verdiep met de gemeenschappelijke muur (enkel volgens de Belgische en BEN-eisen);
- De funderingsaanzet van de kelder aan de voorgevel;
- De aansluiting van het hellende dak met de gemeenschappelijke muur (enkel volgens de Belgische en BEN-eisen).

De overige bouwknopen die niet voldoen aan deze basisregels, worden met behulp van Therm numeriek berekend. Omdat de U-waarde van het constructiedeel verschilt per eis, worden in de volgende tabel enkel de berekende Ψ -waarden van de bouwknopen weergegeven per eis. Ter vergelijking worden ook de Ψ -waarden van de huidige toestand weergegeven. Uitgebreide berekeningen zijn terug te vinden in de bijlagen op CD-rom.

Tabel 31: Samenvatting van de Ψ -waarden per bouwknop en per eis in vergelijking met de huidige toestand voor de woning uit 1920

Nr.		Huidig	BEN	België	Neder-land	Duits-land	Passief-huis
1	Muur tegen gang – bijbouw	0,62	0,65	0,65	0,61	0,46	0,70
2	Voorgevel verdiep 1 – voorgevel gelijkvloers	-0,09	0,14	0,14	0,12	0,10	0,10
3	Rand plat dak – bijbouw	-0,93	0,62	0,62	0,59	0,64	0,64
4	Plat dak – achtergevel	0,11	0,36	0,36	0,37	0,34	0,35
5	Voorgevel gelijkvloers – gemene muur	-0,03	/	/	0,19	-0,01	0,23
6	Voor- en achtergevel verdiep – gemene muur	-0,05	/	/	0,19	0,19	0,17
7	Hellend dak – gemene muur	0,45	/	/	0,18	0,10	0,14
8	Funderingsaanzet volle grond – bijbouw	-2,25	-0,29	-0,29	-0,19	-0,28	-0,14

Enkel in geval van isolatie van het hellend dak zal de Ψ -waarde van de bouwknop dalen bij toenemende isolatiedikte. In de andere gevallen zullen de bouwknopen een grotere lineaire warmtedoorgangscoefficiënt behalen, wat impliceert dat toevoeging van isolatie een negatieve invloed heeft op de bouwknop.

In geval van de aansluiting van de voorgevel van het gelijkvloers op de voorgevel van het verdiep is het mogelijk om de isolatie aan boven- en onderkant van de vloer 1 m te laten doorlopen, zodat hier toch voldaan wordt aan de basisregels. Ook de isolatie van de gemene muren zal ervoor zorgen dat de bouwknopen waarin aangesloten wordt op deze muren zullen voldoen.

Om ervoor te zorgen dat de bouwknopen van de funderingsaanzetten voldoen, zal de vloer geïsoleerd moeten worden. Omdat dit zorgt voor een verkleining van de vrije hoogte in de keuken, is het aangeraden het platte dak te verhogen om de vrije hoogte van 2,50 m te behouden. Dit zal echter de bouwknopen met de aansluiting van het platte dak niet verbeteren.

6.1.8 Glaser-berekeningen

Omdat isoleren langs de binnenzijde van de muur een groot risico op vochtproblemen met zich meebrengt, zullen de voorgestelde isolatie-oplossingen getoetst worden met behulp van de methode van Glaser, zoals besproken in 3.3.

Algemene randvoorwaarden

De binnen- en buitenluchttemperatuur zijn voor alle constructiedelen hetzelfde.

Binnenluchttemperatuur θ_i (°C)

Tabel 32: Binnenluchttemperatuur naargelang de aard van het gebouw [39]

Aard gebouw	$\bar{\theta}_i$ (°C)	$\hat{\theta}_i$ (°C)
Woningen, scholen, kantoren	20	3
Ziekenhuizen	23	2
Zwembaden	30	2

Buitenluchttemperatuur θ_e (°C)

Voor Ukkel geldt:

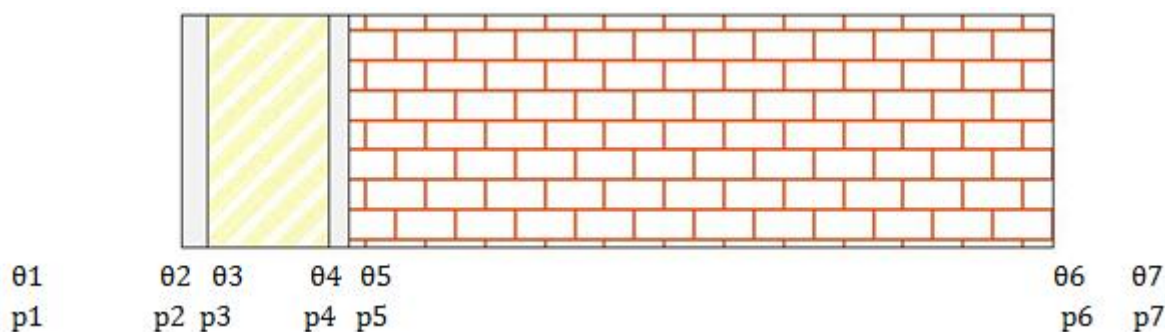
$$\bar{\theta}_e = 9,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\hat{\theta}_e = 6,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.1.8.1 Bepaling van de condensatie in de constructiedelen

Hieronder wordt per constructiedeel een samenvattende tabel van de hoeveelheid condensatie weergegeven voor renovatie op basis van EnerPHit. In paragraaf 7.1.3. zal een samenvatting gegeven worden waarin per constructiedeel en per norm de totale hoeveelheid condensatie en droging wordt weergegeven. De uitgebreide berekeningen zijn terug te vinden op de CD-rom.

Voorgevel verdiep 0



Figuur 32: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de voorgevel verdiep 0

De tabellen hieronder geven de opbouw van het constructiedeel weer en vatten de Glaser-berekening samen.

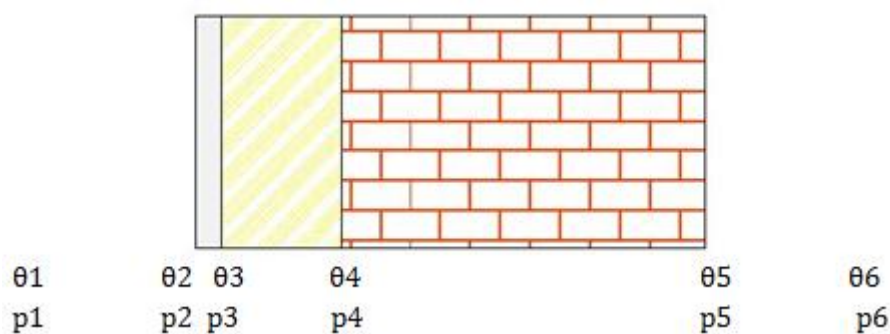
Tabel 33: Opbouw voorgevel verdiep 0

Laag nr.	Materiaal	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	μ (-)
1	Gipskarton	0,0125	0,25	0,050	10
2	Kooltherm K17	0,060	0,020	3,000	583
3	Gipspleister	0,010	0,520	0,019	10
4	Gevelsteen	0,350	0,905	0,387	8

Tabel 34: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de voorgevel verdiep 0

	jan	Feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
θ_e^{**}	3,5	4,6	7,6	11,0	16,6	19,6	20,4	19,1	16,6	11,0	7,2	4,2
θ_i	17,1	17,5	18,5	19,7	21,7	22,7	23,0	22,6	21,7	19,7	18,4	17,3
p_e	678,6	734,5	885,0	1057,0	1336,5	1487,0	1530,0	1465,5	1336,5	1057,0	863,5	713,0
p_i	1284,4	1313,0	1390,0	1478,0	1621,0	1698,0	1720,0	1687,0	1621,0	1478,0	1379,0	1302,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Bijbouw 1



Figuur 33: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van bijbouw 1

De tabellen hieronder geven de opbouw van het constructiedeel weer en vatten de Glaser-berekening samen.

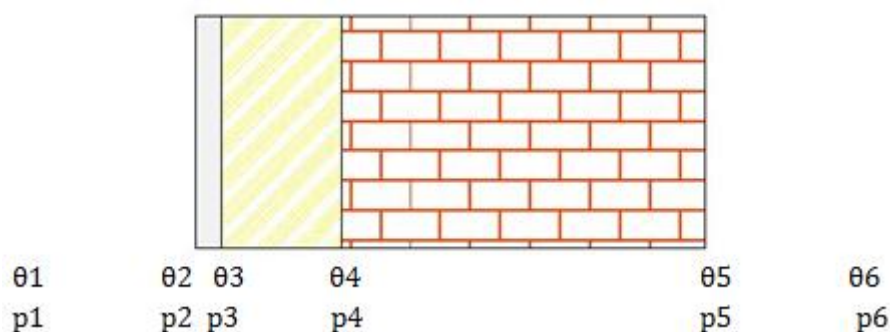
Tabel 35: Opbouw bijbouw 1

Laag nr.	Materiaal	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	μ (-)
1	Gipskarton	0,0125	0,25	0,050	10
2	Kooltherm K17	0,060	0,020	3,000	583
3	Metselwerk	0,180	0,876	0,205	8

Tabel 36: Samenvatting van de Glaser-berekening voor bijbouw 1

	Jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
θ_e^{**}	2,5	3,6	6,5	9,9	15,4	18,3	19,2	17,9	15,4	9,9	6,1	3,1
θ_i	17,1	17,5	18,5	19,7	21,7	22,7	23,0	22,6	21,7	19,7	18,4	17,3
p_e	678,6	734,5	885,0	1057,0	1336,5	1487,0	1530,0	1465,5	1336,5	1057,0	863,5	713,0
p_i	1284,4	1313,0	1390,0	1478,0	1621,0	1698,0	1720,0	1687,0	1621,0	1478,0	1379,0	1302,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Bijbouw 2



Figuur 34: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van bijbouw 2

De tabellen hieronder geven de opbouw van het constructiedeel weer en vatten de Glaser-berekening samen.

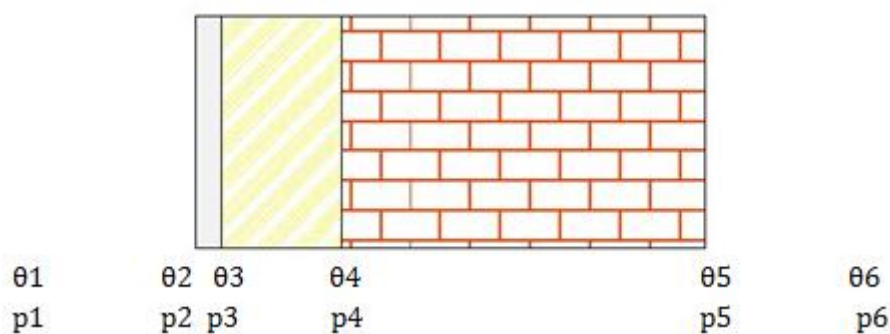
Tabel 37: Opbouw bijbouw 2

Laag nr.	Materiaal	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	μ (-)
1	Gipskarton	0,0125	0,25	0,050	10
2	Kooltherm K17	0,060	0,020	3,000	583
3	Metselwerk	0,180	0,876	0,205	8

Tabel 38: Samenvatting van de Glaser-berekening voor bijbouw 2

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
θ_e^{**}	2,3	3,4	6,3	9,6	15,0	17,9	18,7	17,4	15,0	9,6	5,9	3,0
θ_i	17,1	17,5	18,5	19,7	21,7	22,7	23,0	22,6	21,7	19,7	18,4	17,3
p_e	678,6	734,5	885,0	1057,0	1336,5	1487,0	1530,0	1465,5	1336,5	1057,0	863,5	713,0
p_i	1284,4	1313,0	1390,0	1478,0	1621,0	1698,0	1720,0	1687,0	1621,0	1478,0	1379,0	1302,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Muur berging



Figuur 35: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de muur van de berging

De tabellen hieronder geven de opbouw van het constructiedeel weer en vatten de Glaser-berekening samen.

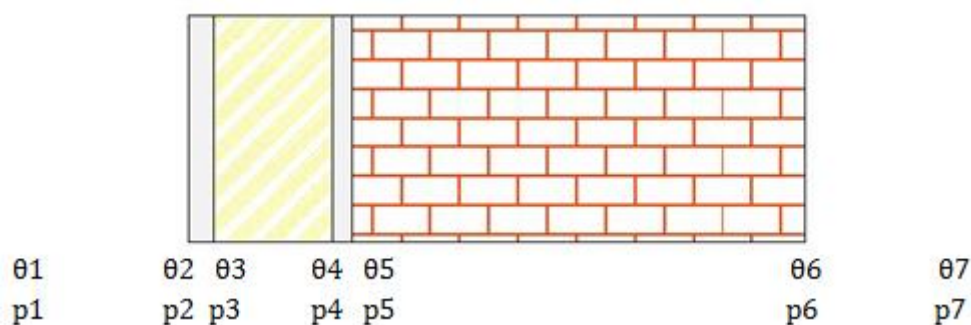
Tabel 39: Opbouw muur berging

Laag nr.	Materiaal	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	μ (-)
1	Gipskarton	0,0125	0,25	0,050	10
2	Kooltherm K17	0,060	0,020	3,000	583
3	Metselwerk	0,180	0,876	0,205	8

Tabel 40: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de muur van de berging

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
θ_e^{**}	2,5	3,6	6,5	9,9	15,4	18,3	19,2	17,9	15,4	9,9	6,1	3,1
θ_i	17,1	17,5	18,5	19,7	21,7	22,7	23,0	22,6	21,7	19,7	18,4	17,3
p_e	678,6	734,5	885,0	1057,0	1336,5	1487,0	1530,0	1465,5	1336,5	1057,0	863,5	713,0
p_i	1284,4	1313,0	1390,0	1478,0	1621,0	1698,0	1720,0	1687,0	1621,0	1478,0	1379,0	1302,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Voorgevel verdiep 1



Figuur 36: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de voorgevel verdiep 1

De tabellen hieronder geven de opbouw van het constructiedeel weer en vatten de Glaser-berekening samen.

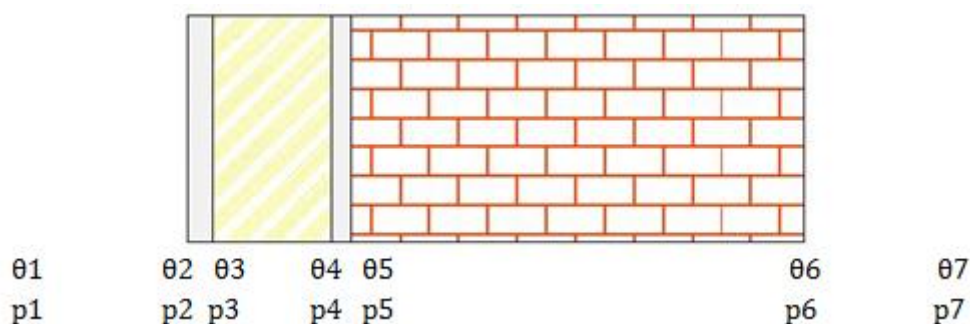
Tabel 41: Opbouw voorgevel verdiep 1

Laag nr.	Materiaal	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	μ (-)
1	Gipskarton	0,0125	0,25	0,050	10
2	Kooltherm K17	0,060	0,020	3,000	583
3	Gipspleister	0,010	0,520	0,019	10
4	Gevelsteen	0,230	0,905	0,254	8

Tabel 42: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de voorgevel verdiep 1

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
θ_e^{**}	3,5	4,6	7,6	11,0	16,6	19,6	20,4	19,1	16,6	11,0	7,2	4,2
θ_i	17,1	17,5	18,5	19,7	21,7	22,7	23,0	22,6	21,7	19,7	18,4	17,3
p_e	678,6	734,5	885,0	1057,0	1336,5	1487,0	1530,0	1465,5	1336,5	1057,0	863,5	713,0
p_i	1284,4	1313,0	1390,0	1478,0	1621,0	1698,0	1720,0	1687,0	1621,0	1478,0	1379,0	1302,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Achtergevel verdiep 1



Figuur 37: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en -dampdrukken van de achtergevel verdiep 1

De tabellen hieronder geven de opbouw van het constructiedeel weer en vatten de Glaser-berekening samen.

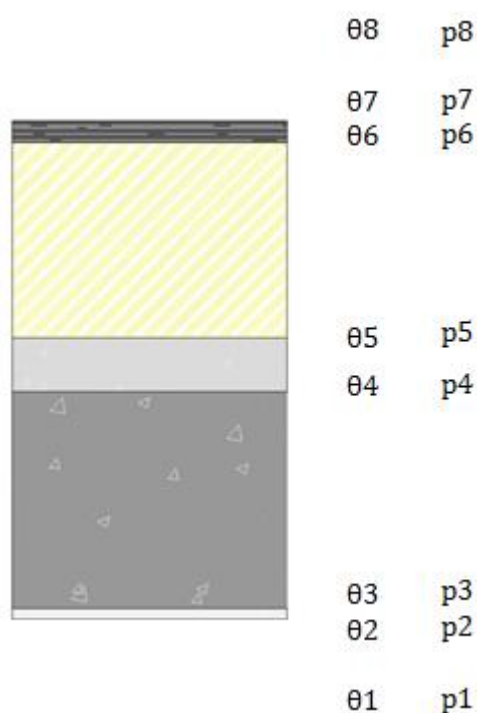
Tabel 43: Opbouw achtergevel verdiep 1

Laag nr.	Materiaal	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	μ (-)
1	Gipskarton	0,0125	0,25	0,050	10
2	Kooltherm K17	0,060	0,020	3,000	583
3	Gipspleister	0,010	0,520	0,019	10
4	Gevelsteen	0,230	0,905	0,254	8

Tabel 44: Samenvatting van de Glaser-berekening voor de achtergevel verdiep 1

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
θ_e^{**}	3,5	4,6	7,6	11,0	16,6	19,6	20,4	19,1	16,6	11,0	7,2	4,2
θ_i	17,1	17,5	18,5	19,7	21,7	22,7	23,0	22,6	21,7	19,7	18,4	17,3
p_e	678,6	734,5	885,0	1057,0	1336,5	1487,0	1530,0	1465,5	1336,5	1057,0	863,5	713,0
p_i	1284,4	1313,0	1390,0	1478,0	1621,0	1698,0	1720,0	1687,0	1621,0	1478,0	1379,0	1302,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Plat dak



Figuur 38: Opbouw en weergave oppervlaktetemperaturen en –dampdrukken van het platte dak

De tabellen hieronder geven de opbouw van het constructiedeel weer en vatten de Glaser-berekening samen.

Tabel 45: Opbouw plat dak

Laag nr.	Materiaal	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	μ (-)
1	Gipspleister	0,010	0,520	0,019	10
2	Gewapend beton	0,200	2,200	0,091	100
3	Deklaag beton	0,050	0,310	0,161	100
4	Therma TR26	0,180	0,023	7,826	50
5	Bitumen	0,020	0,230	0,087	25

Tabel 46: Samenvatting van de Glaser-berekening voor het plat dak

	Jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
θ_e^{**}	2,0	3,6	7,8	12,6	20,4	24,7	25,9	24,1	20,4	12,6	7,2	3,0
θ_i	17,1	17,5	18,5	19,7	21,7	22,7	23,0	22,6	21,7	19,7	18,4	17,3
p_e	678,6	734,5	885,0	1057,0	1336,5	1487,0	1530,0	1465,5	1336,5	1057,0	863,5	713,0
p_i	1284,4	1313,0	1390,0	1478,0	1621,0	1698,0	1720,0	1687,0	1621,0	1478,0	1379,0	1302,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

6.2 Woning uit 1977

6.2.1 Renovatie volgens EnerPHit

Om de woning op een bepaald niveau te brengen, gaan we per constructiedeel kijken wat de nodige isolatie is.

6.2.1.1 Berekening isolatiediktes

Plat dak

De maximale U-waarde voor platte daken is 0,12. Om dit te bereiken gaan we het huidige dak strippen tot op de betonplaat. Dan wordt er nieuwe isolatie over geplaatst en afgewerkt met bitumen. De dakopstand is vanaf de bovenkant van de betonplaat 30 cm hoog, hier moet dus zeker ondergebleven worden. Als dakisolatie wordt er gekozen voor de Kingspan Therma TR26 (bijlage 11).

$$R_{tot} = R_{si} + R_{se} + R_{beton} + R_{isolatie} + R_{bitumen}$$

$$U_{max} = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$0,12 = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + R_{beton} + R_{isolatie} + R_{bitumen}}$$

$$0,12 = \frac{1}{0,10 + 0,04 + 0,045 + R_{isolatie} + 0,043}$$

$$0,12 = \frac{1}{0,228 + R_{isolatie}}$$

$$\rightarrow R_{isolatie} = 8,11$$

$$R_{isolatie} = \frac{d}{\lambda}$$

$$d = R_{isolatie} * \lambda = 8,11 * 0,023 = 18,6 \text{ cm}$$

17 cm is geen gangbare dikte, daarom wordt er gekozen voor een plaat van 10 cm en eentje van 9,2 cm.

Ook dit dak wordt afgewerkt met een bitumenlaag en een grindballast

Vloer

De maximale U-waarde is 0,15 W/m²K. De vloer wordt geïsoleerd met Kingspan Koolterm K3.

$$R_{tot} = R_{si} + R_{se} + R_{beton} + R_{isolatie} + R_{chappe} + R_{tegels}$$

$$U_{max} = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$0,15 = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + R_{beton} + R_{isolatie} + R_{chappe} + R_{tegels}}$$

$$0,15 = \frac{1}{0,17 + 0,04 + 0,045 + R_{isolatie} + 0,833 + 0,006}$$

$$0,15 = \frac{1}{1,094 + R_{isolatie}}$$

$$\rightarrow R_{isolatie} = 5,57$$

$$R_{isolatie} = \frac{d}{\lambda}$$

$$d = R_{isolatie} * \lambda = 5,57 * 0,020 = 11,1$$

De verkrijgbare dikte is 12 cm

Aangezien de vloer nu 12 cm dikker wordt, is er een probleem met het grote raam aan de eetkamer. Dit raam zou er uit moeten en de raamopening zou verkleind moeten worden. Ook wordt de deur dan anders. Dit zie ik als een relatief grote ingreep, dus het is misschien het overwegen waard om de vloer te laten zoals hij is. Bovendien raadt de sociale huisvestingsdienst van Vlaanderen een minimale plafondhoogte aan van 2,50 m in de woonkamer. [49] Met 2,40 is dit in de huidige toestand al niet oké. Er wordt dus beslist om de vloer niet te gaan isoleren.

Zoldervloer

Net zoals bij een plat dak is hier de maximale U-waarde 0,12 W/m²K. Om deze te isoleren wordt er gekozen voor dezelfde vloerisolatie dan bij de vloer op volle grond.

$$R_{tot} = R_{si} + R_{se} + R_{beton} + R_{isolatie}$$

$$U_{max} = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$0,12 = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + R_{beton} + R_{isolatie}}$$

$$0,12 = \frac{1}{0,10 + 0,04 + 0,088 + R_{isolatie}}$$

$$0,12 = \frac{1}{0,228 + R_{isolatie}}$$

$$\rightarrow R_{isolatie} = 8,10$$

$$R_{isolatie} = \frac{d}{\lambda}$$

$$d = R_{isolatie} * \lambda = 8,10 * 0,02 = 16,2 \text{ cm}$$

Er is geen plaat van deze dikte beschikbaar, we moeten een plaat van 10 cm en eentje van 7 cm combineren.

Spouwmuur

Spouwmuur opvullen met PUR

Er is een spouwmuur van 5 cm aanwezig. Eerst wordt er gecontroleerd of de U waarde gehaald wordt indien we deze opvullen met PUR. De λ -waarde van in situ gespoten PUR is 0,033 (bijlage 4) Deze waarde moet nog gecorrigeerd worden met een factor 0,85. Dit geeft dan een rekenwaarde voor lambda van 0,039. De muur waarbij zowel binnen als buitenspouw opgebouwd zijn uit mangaansteen wordt gecontroleerd. Indien deze voldoet, voldoet de muur uit SBS ook, de λ -waarde van SBS is immers beter dan die van mangaansteen

$$R_{tot} = R_{si} + R_{se} + R_{buitenspouw} + R_{pur} + R_{binnenspouw}$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + R_{buitenspouw} + R_{isolatie} + R_{binnenspouw}}$$

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,04 + \left(\frac{0,09}{0,755}\right) + \left(\frac{0,05}{0,039}\right) + \left(\frac{0,11}{0,657}\right)}$$

$$U = 0,57 \frac{W}{m^2K}$$

Tabel 47: Maximale U-waarden voor gevels

	BEN	België	Nederland	Duitsland	Passiefhuis-standaard
	U_{max}	U_{max}	R_{min}	U_{max}	U_{max}
0,57	0,24	0,24	4,5	Buitenisolatie: 0,150 Binnenisolatie: 0,300	0,15

Deze waarde voldoet aan geen enkele eis, er zal dus verder gegaan moeten worden.

Gevel afbreken

Een tweede mogelijkheid is om de gevelmuur af te breken en vervolgens isolatie te plaatsen en af te werken met een nieuwe gevelsteen of een gevelbepoelstering. De keuze tussen gevelsteen en gevelbepoelstering zal afhangen van de benodigde dikte. Er moet opgelet worden dat indien er een nieuwe gevelsteen geplaatst wordt, deze nog ondersteund wordt door de fundering. Het is niet gekend hoeveel speling er nog is op de fundering, dus we trachten de totale muurdikte hetzelfde te houden.

$$R_{tot} = R_{si} + R_{se} + R_{buitenspouw} + R_{isolatie} + R_{binnenspouw}$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + R_{crepi} + R_{isolatie} + R_{binnenspouw}}$$

$$0,15 = \frac{1}{0,13 + 0,04 + \frac{0,003}{0,52} + R_{isolatie} + \left(\frac{0,11}{0,657}\right)}$$

$$0,15 = \frac{1}{0,176 + R_{isolatie}}$$

$$\rightarrow R_{isolatie} = 6,49$$

$$R_{isolatie} = \frac{d}{\lambda}$$

$$d = R_{isolatie} * \lambda = 6,49 * 0,021 = 13,6 \text{ cm}$$

Binnen het gamma van Kingspan kiezen we voor de Kooltherm K5. Deze kan gelijmd worden en de isolatielaag moet dus niet doorboord worden. De plaat die we kiezen is een Kooltherm K5 van 14 cm.

Ramen en deuren

De voordeur wordt vervangen door deuren die gemaakt zijn voor passiefhuiswoningen met een U-waarde van 0,72 W/m²K. Technische info over deze deur zit in bijlage 9.

De raamprofielen worden vervangen door een ENERsign+ profiel, dit profiel heeft een U-waarde van 0,61 W/m²K. Het glas wordt vervangen door ENERwave-glas. Dit heeft een U-waarde van 0,53 W/m²K en een zonnetoetredingsfactor g van 0,51.

6.2.1.2 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

Tabel 48: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de EnerPHit eisen

Constructie-deel	U _{max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatiedikte (m)	Isolatie-systeem*	Isolatiedikte in EPB-software (m)
Plat dak	0,12	0,023	0,186	Therma TR26	100 mm + 92 mm
Zoldervloer	0,12	0,020	0,163	Kooltherm K3	100 mm + 70 mm
Voor- en achtergevel	0,15 (buiten-isolatie)	0,021	0,133	Kooltherm K5	140 mm

6.2.2 Renovatie volgens BEN

In een bijna-energieneutrale woning wordt een maximale U-waarde geëist van 0,24 W/m²K voor daken, plafonds en buitenmuren. Voor de muren die grenzen aan een aangrenzend perceel geldt $U_{\max} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.2.2.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

Tabel 49: Samenvattende tabel van isolatiediktes volgens de BEN-eisen

Constructie-deel	U_{\max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatie- dikte (m)	Isolatie- systeem*	Isolatiedik- te in EPB- software (m)
Plat dak	0,24	0,023	0,091	Therma TR26	92 mm
Zoldervloer	0,24	0,020	0,079	Kooltherm K3	80 mm
Voor- en achtergevel	0,24	0,020	0,08	Kooltherm K5	80 mm
Gemene muur SBS Mangaan	0,50	0,021	0,02 0,03	Kooltherm K17	20 mm 30 mm

6.2.3 Renovatie volgens de Belgische EPB-eisen

De Belgische EPB-eisen volgen grotendeels de BEN-eisen. Voor vloeren geldt de U_{\max} -waarde van 0,30 W/m²K en voor muren aangrenzend aan een aanliggend perceel 1,00 W/m²K.

6.2.3.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

Tabel 50: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de EPB-eisen

Constructie-deel	U_{\max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatie- dikte (m)	Isolatie- systeem*	Isolatiedikte in EPB- software (m)
Plat dak	0,24	0,023	0,091	Therma TR26	92 mm
Zoldervloer	0,24	0,020	0,079	Kooltherm K3	80 mm
Voor- en achtergevel	0,24	0,020	0,08	Kooltherm K5	80 mm
Gemene muur SBS Mangaan	1 1	/ 0,021	/ 0,01	/ Kooltherm K17	/ 20 mm

6.2.4 Renovatie volgens de Nederlandse eisen

Omdat Nederland werkt met minimale R-waarden, zijn voor de duidelijkheid deze R-waarden omgerekend naar U-waarden. Deze maximale waarden zijn weergegeven per constructiedeel in de samenvattende tabel.

6.2.4.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

Tabel 51: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de Nederlandse eisen

Constructie-deel	U_{\max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatie- dikte (m)	Isolatie- systeem*	Isolatiedikte in EPB- software (m)
Plat dak	0,16	0,023	0,138	Therma TR26	140 mm
Zoldervloer	0,16	0,020	0,126	Kooltherm K3	60 mm + 70 mm
Voor- en achtergevel	0,21	0,021	0,093	Kooltherm K5	100 mm

6.2.5 Renovatie volgens de passiefhuisstandaard

Voor buitenmuren zijn de eisen voor een passiefhuis en de eisen volgens EnerPHit in Duitsland hetzelfde. Daken en plafonds mogen maximaal een U-waarde hebben van 0,15 W/m²K.

6.2.5.1 Samenvattende tabel van de isolatiediktes

Tabel 52: Samenvattende tabel van de isolatiediktes volgens de passiefhuisstandaard

Constructie-deel	U_{\max} (W/m ² K)	λ (W/mK)	Berekende isolatie- dikte (m)	Isolatie- systeem*	Isolatiedikte in EPB- software (m)
Plat dak	0,15	0,023	0,148	Therma TR26	100 mm+50 mm
Zoldervloer	0,15	0,020	0,128	Kooltherm K3	60 mm + 70 mm
Voor- en achtergevel	0,15	0,021	0,133	Kooltherm K5	140 mm

6.2.6 Samenvattende tabel

In onderstaande tabel wordt per constructiedeel de nodige isolatiedikte weergegeven.

Tabel 53: Samenvatting isolatiediktes huis 1977

Constructie-deel	Duitsland	BEN	België	Nederland	Passiefhuis-standaard
Plat dak	170 mm	92 mm	92 mm	140 mm	150 mm
Zoldervloer	170 mm	80 mm	80 mm	120mm	130 mm
Voor- en achtergevel	140 mm	80 mm	80 mm	100 mm	140 mm
Gemene muur					
SBS		20 mm	/		
Mangaan		30 mm	20 mm		

6.2.7 Bouwknopen

Na toevoeging van buitenisolatie zullen verschillende bouwknopen die niet voldeden aan de basisregels in de huidige toestand, wel voldoen aan deze regels. De volgende aansluitingen worden na de toevoeging van isolatie verondersteld te voldoen aan de basisregel van de minimale contactlengte:

- Scheiding tussen gemene muur en gevel opgebouwd uit mangansteen;
- Scheiding tussen gemene muur en gevel opgebouwd uit SBS;
- Aansluiting van het plat dak boven het toilet met de gevel;
- Aansluiting van het plat dak met de bergingmuur opgebouwd uit SBS;
- Aansluiting van het plat dak met de gevelmuur opgebouwd uit mangan;
- Aansluiting van de gevel op de zoldervloer;
- Aansluiting van de rechte voorgevel op het schuine deel;
- Aansluiting van de rechte voorgevel op het loodrechte deel;
- Aansluiting van de achtergevel op het loodrechte deel;

De overige bouwknopen die niet voldoen aan deze basisregels, worden met behulp van Therm numeriek berekend. Omdat de U-waarde van het constructiedeel verschilt per eis, worden in de volgende tabel enkel de berekende Ψ -waarden van de bouwknopen weergegeven per eis. Ter vergelijking worden ook de Ψ -waarden van de huidige toestand weergegeven. Uitgebreide berekeningen zijn terug te vinden in de bijlagen op CD-rom.

Tabel 54: Samenvatting van de Ψ -waarden per bouwknop en per eis in vergelijking met de huidige toestand voor de woning uit 1977

Nr.		Huidig	BEN	België	Neder-land	Duits-land	Passief-huis
7	Funderingsaanzet berging	-1,56	-1,81	-1,81	-1,85	-1,90	-1,90
8	Funderingsaanzet muur opgebouwd uit mangansteen	-1,82	-2,08	-2,08	-2,13	-2,18	-2,18
12	Aansluiting zoldervloer	-0,01	0,12	0,12	0,04	0	0,04

7 Luchtdichtheid

De netto-energiebehoefte is ook afhankelijk van de luchtdichtheid van een gebouw. Deze luchtdichtheid kan weergegeven worden met behulp van verschillende factoren: [50]

- V_{50} = het lekdebiet doorheen de gebouwschil in m^3/h
- n_{50} = het lekdebiet in verhouding tot het binnenvolume in $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ (1/h)
- v_{50} = het lekdebiet in verhouding tot het verliesoppervlak in $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$

Luchtdichtheid kan niet berekend worden in de ontwerpfase van een project, het kan pas gemeten worden wanneer het gebouw al gebouwd is. De luchtdichtheid meten kan men doen men aan de hand van een pressurisatieproef. Hierbij is het belangrijk dat de deuren binnen het beschermd volume geopend zijn (toiletdeur mag gesloten blijven) en dat de ventilatie indien mogelijk uitgeschakeld wordt. In een deuropening wordt dan een zogenaamde blowerdoor geplaatst, die volledig luchtdicht kan bevestigd worden. Vervolgens zorgt de ventilator in de blowerdoor ervoor dat de woning onder 50 Pa over- of onderdruk komt te staan. De blowerdoor meet dan hoeveel lucht hij moet blijven uit- of inblazen om het drukverschil te behouden. Op deze manier kan de n_{50} waarde bepaald worden. [51]

De v_{50} waarde en de n_{50} waarde zijn dus niet hetzelfde. Wanneer we in de EPB-software werken, zal de opgelegde n_{50} waarde herrekend worden naar een v_{50} waarde.

$$v_{50} = \frac{V_{50}}{\text{verliesoppervlakte}} = \text{binnenvolume} * \frac{n_{50}}{\text{verliesoppervlakte}}$$

In het geval van rijwoningen moet er opgelet worden dat de gemene muren niet meegerekend worden in de verliesoppervlakte.

Tabel 55: Waarden van de verliesoppervlakte en het volume van de referentiewoningen

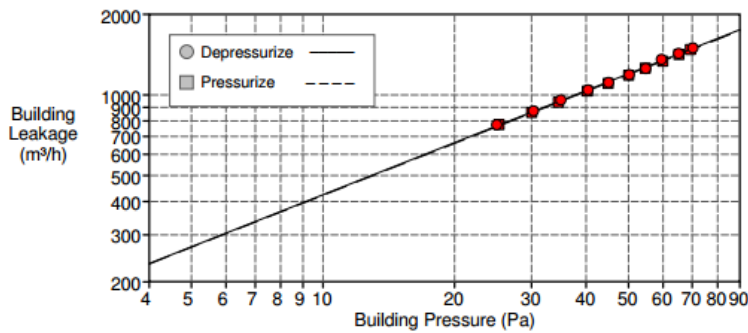
	Verliesoppervlakte (m^2)	Volume (m^3)
Huis 1920	209,59	320,02
Huis 1977	237,65	395,35

Tabel 56: Berekening van de v_{50} -waarden voor Duitsland en de passiefhuisstandaard

	Duitsland		Passiefhuisstandaard	
	Huis 1920	Huis 1977	Huis 1920	Huis 1977
Geëiste n_{50} (h^{-1})	1	1	0,6	0,6
V_{50} (m^3/h)	320,02	395,35	192,01	237,21
v_{50} (m^3/hm^2)	1,53	1,66	0,92	1

In Nederland wordt er niet gewerkt met een drukverschil van 50 Pa maar met een drukverschil van 10 Pa. De eis is dat er bij een drukverschil van 10 Pa een maximale luchtstroom mag zijn van $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ dit komt overeen met een waarde van $720 \text{ m}^3/\text{h}$.

Om het verband tussen V10 en V50 te onderzoeken, werden verschillende resultaten van luchtdichtheidsmetingen bekeken. Volgende figuren geven de resultaten van deze metingen weer.

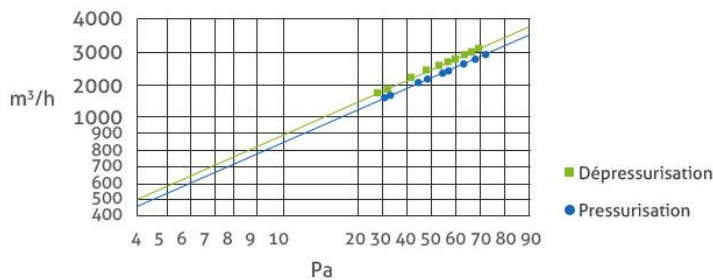


$$V_{10} = 430 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{50} = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{10}/V_{50} = 430/1200 = 0,358$$

Figuur 39: Resultaten blowerdoortest 1 [52]

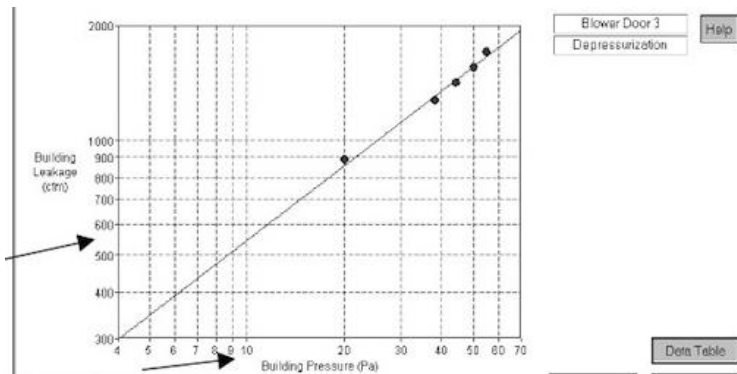


$$V_{10} = 900 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{50} = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{10}/V_{50} = 900/2500 = 0,36$$

Figuur 40: Resultaten blowerdoortest 2 [53]

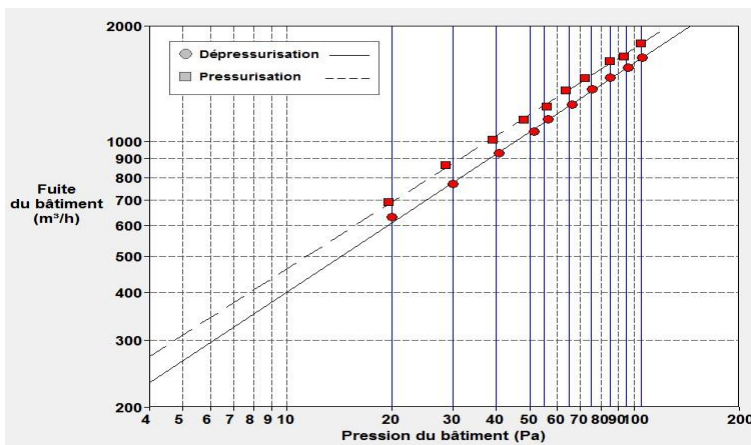


$$V_{10} = 550 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{50} = 1600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{10}/V_{50} = 550/1600 = 0,344$$

Figuur 41: Resultaten blowerdoortest 3 [54]



$$V_{10} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{50} = 1100 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{10}/V_{50} = 400/1100 = 0,364$$

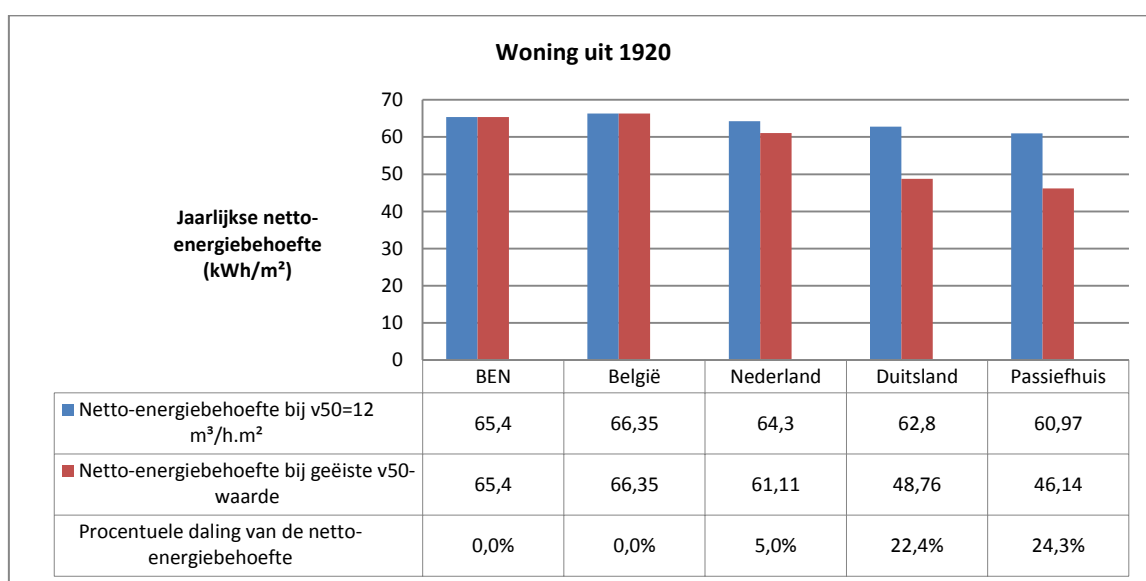
Figuur 42: Resultaten blowerdoortest 4 [55]

Uit deze figuren valt te besluiten dat de gemiddelde waarde van V_{10}/V_{50} gelijk is aan 0,356. Een V_{10} van $720 \text{ m}^3/\text{h}$ is dus omgerekend een V_{50} -waarde van $2020,03 \text{ m}^3/\text{h}$.

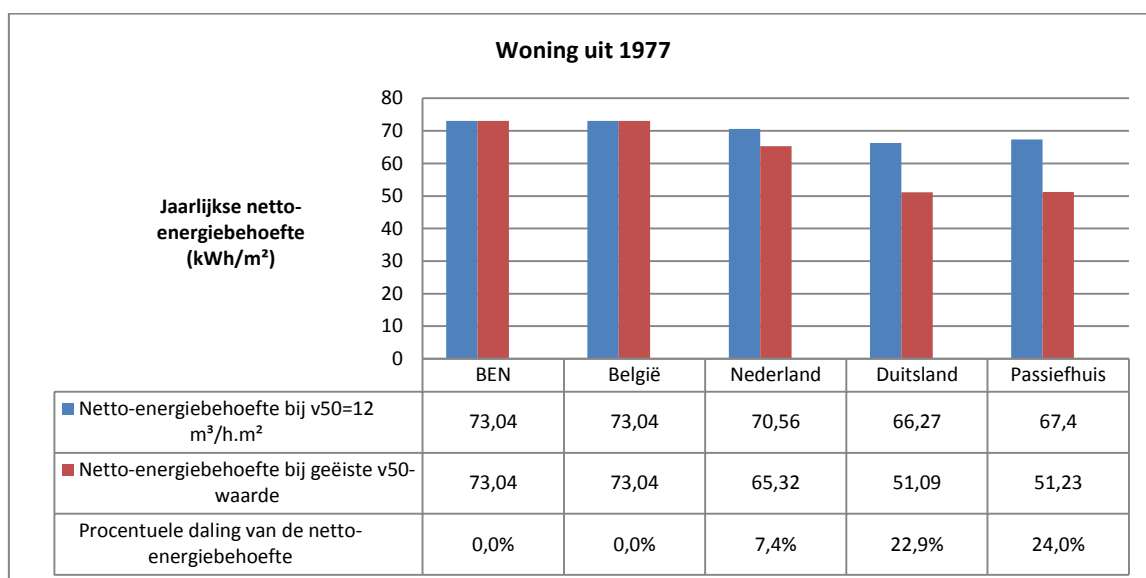
Tabel 57: Berekening van de v_{50} -waarden voor Nederland

	Nederland	
	Huis 1920	Huis 1977
Maximale V_{10} (m^3/h)	720	720
V_{50} (m^3/h)	2020,03	2020,03
v_{50} (m^3/hm^2)	9,64	8,50

De invloed van de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte wordt in onderstaande figuren weergegeven.



Figuur 43: Invloed van de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte voor de woning uit 1920



Figuur 44: Invloed van de luchtdichtheid op de netto-energiebehoefte voor de woning uit 1977

In beide gevallen is de procentuele daling in netto-energiebehoefte het grootst bij de passiefhuisstandaard. In dit geval is de luchtdichtheidseis ook het strengste.

Uit deze grafieken valt te besluiten dat de luchtdichtheid van het gebouw een zeer belangrijke parameter is in de berekening van de netto-energiebehoefte en de energiezuinigheid van het gebouw. Wanneer de luchtdichtheid ingesteld wordt op de waarde bij ontstentenis zal het isoleren van de gebouwschil leiden tot een geringe daling in netto-energiebehoefte. Dit kan leiden tot foute conclusies over de beoordeling van de eisen.

8 PHPP-software

Omdat dit onderzoek ook gebruik maakt van de PHPP-software, zal er in deze paragraaf een vergelijking gebeuren tussen de output van beide programma's.

De uitkomst van het netto-energieverbruik zal hier vergeleken worden en er zal gekeken worden naar de grondreductiefactor. Deze grondreductiefactor is duidelijk te zien in de eisen van EnerPHit, de vloer mag een maximale U-waarde hebben van $f * U \leq 0,150$ met f de grondreductiefactor uit PHPP.

8.1 Vloer

In de PHPP software wordt er gewerkt met een grondreductiefactor bij vloeren op volle grond en boven een kelder of kruipruimte. Door rekening te houden met deze factor zal de isolatiedikte van vloeren verschillen in beide softwares.

In het tabblad 'Bodem' worden de volgende gegevens ingevoerd: de warmtegeleidingscoëfficiënt van de grond (terug te vinden via DOV Vlaanderen), de constructiedelen aangrenzend aan volle grond, aangrenzend aan kelder of kruipruimte en ingegraven bodemplaten.

Omdat de grondreductiefactor afhankelijk is van de U-waarde van de vloer, zal een iteratie nodig zijn om de isolatiedikte te bepalen. In geval van EnerPHit zal een vloer met U-waarde 0,19 en een isolatiedikte van 0,089 m voldoen aan de eis $f * U \leq 0,150$, met $f = 0,81$.

Volgende afbeelding toont dit tabblad uit de PHPP-software.

Passief Huis Planning

TOTALE WARMTEVERLIEZEN NAAR DE BODEM

Eigenschappen van de bodem			Klimaatdata		
Warmtegeleidingscoëfficiënt λ	2,3	W/(mK)	Gem. binnentemp. winter	T_i	20,0 °C
Warmtecapaciteit ρc	2,0	MJ/(m ³ K)	Gem. binnentemp. zomer	$T_{i,z}$	25,0 °C
Periodische indringingsdiepte δ	3,40	m	Gem. bodemoppervlaktetemp.	$T_{e,m}$	10,8 °C
			Amplitude van $T_{e,m}$	$T_{e,A}$	7,4 °C
			Duur verwarmingsperiode	n	6,7 Maand
			Verwarmingsgraaduren buiten	G _b	71,4 kWh/a

Volle grond			berekening $\psi_{k,z} / I_{k,z}$			berekening $\chi_{k,z}$		
beschrijving	U [W/m ² K]	A [m ²]	beschrijving	ψ [W/mK]	I [m]	beschrijving	x [W/K]	aantal
Vloer keuken	0,560	15,52	vloer keuken-bijbouw	-0,280	4,00			
			vloer keuken-betonnen muur	-0,290	1,70			
Overzicht transmissieverliezen naar volle grond			-0,283			5,70		
						0,000		
Onverwarde kelder			beschrijving			beschrijving		
beschrijving	U [W/m ² K]	A [m ²]		ψ [W/mK]	I [m]		x [W/K]	aantal
Vloer woonkamer	0,180	35,44						
Overzicht transmissieverliezen naar onverwarde kelder			0,000			0,000		
Kruipruimte			beschrijving			beschrijving		
beschrijving	U [W/m ² K]	A [m ²]		ψ [W/mK]	I [m]		x [W/K]	aantal
Overzicht transmissieverliezen naar kruipruimte			0,000			0,000		
Verwarde kelder/ingegraven bodemplaat			beschrijving			beschrijving		
beschrijving	U [W/m ² K]	A [m ²]		ψ [W/mK]	I [m]		x [W/K]	aantal
Overzicht transmissieverliezen verwarde kelder/ingegraven bd			0,000			0,000		

Grondwater correctie			Transm. waarde bouwdeel bodemzone (zonder bodem)		
Diepte grondwaterspiegel	z_w	3,0 m	$L_{w,z}$	0,00 W/K	
Stromingssnelheid	q_w	0,05 m/d	Relatieve isolatiestandaard	d/B'	
Grondwater correctiefactor	G_w		Relatieve grondwaterdiepte	z_w/B'	
			Relatieve grondwatersnelheid	v/B'	

		f	Gegewen U-waarde [W/m ² K]	Oppervlakte [m ²]	Gegewen ψ -waarde [W/mK]	Lengte bijkoudebrug [m]	x [W/K]	H [W/K]
Jaargemiddelde reductiefactor volle grond		0,77	0,560	15,52	-0,283	5,70	0,000	7,078
Jaargemiddelde reductiefactor onverwarde kelder		0,86	0,180	35,44	0,000	0,00	0,000	6,379
Jaargemiddelde reductiefactor kruipruimte			0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	
Jaargemiddelde reductiefactor ingegraven bodemplaat			0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	

Maandgemiddelde bodemtemperaturen voor de maandprocedure													
Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Gemiddelde waarde
Winter-berekening	6,5	5,2	5,7	7,8	10,9	14,3	17,0	18,3	17,8	15,7	12,6	9,2	11,7
	4,5	4,4	6,2	9,2	12,9	16,0	17,9	18,0	16,3	13,2	9,6	6,4	11,2
Zomer-berekening	7,1	5,8	6,2	8,3	11,4	14,8	17,5	18,8	18,3	16,3	13,1	9,8	12,3
	4,7	4,7	6,4	9,5	13,1	16,3	18,2	18,3	16,5	13,4	9,8	6,6	11,5

Ontwerptemperatuur volle grond	5,2	voor werkblad "Vermogen VW"	18,8	voor werkblad "Koellast"
Ontwerptemperatuur onverwarde kelder	4,4	voor werkblad "Vermogen VW"	18,3	voor werkblad "Koellast"
Ontwerptemperatuur kruipruimte		voor werkblad "Vermogen VW"		voor werkblad "Koellast"
Ontwerptemperatuur ingegraven bodemplaat		voor werkblad "Vermogen VW"		voor werkblad "Koellast"

Gegewen reductiefactor bodem voor het werkblad Energie VW jaarmeth 0,81

Figuur 45: Tabblad "Bodem" uit PHPP-software

De grondreductiefactor volgens de PHPP-software voor de andere eisen wordt op dezelfde manier bepaald:

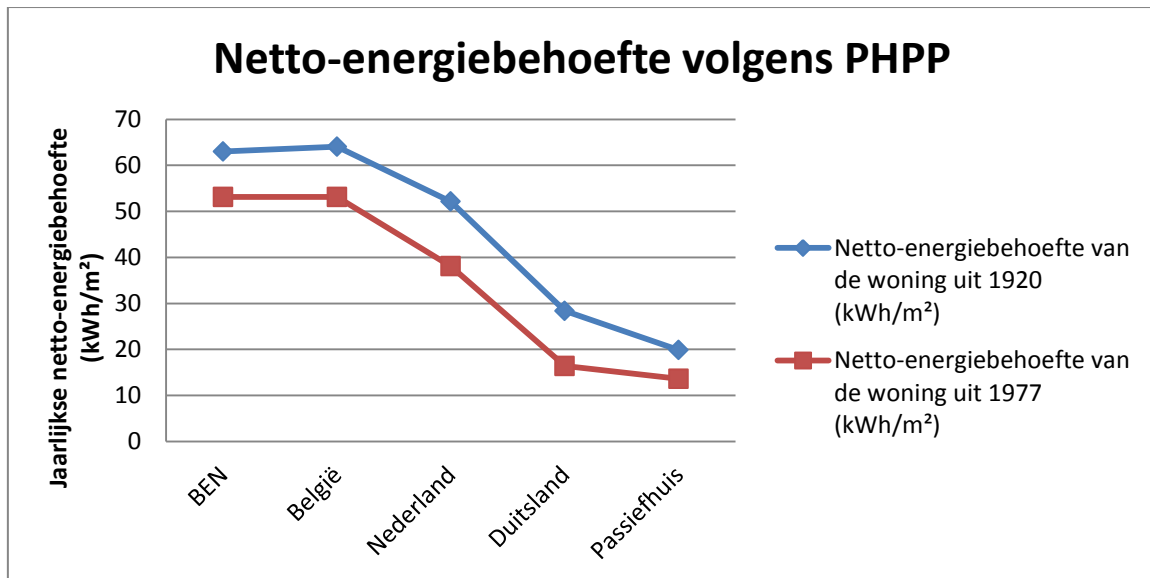
Tabel 58: Bepaling van de grondreductiefactor voor de verschillende eisen

	BEN	België	Nederland	Duitsland	Passiefhuis
Isolatiedikte (m)	0,048	0,034	0,041	0,089	0,090
Berekende U-waarde (W/m ² K)	0,30	0,38	0,34	0,19	0,19
Grondreductiefactor f	0,80	0,79	0,80	0,81	0,81
f * U (W/m ² K)	0,24	0,30	0,27	0,15	0,15

De grondreductiefactor heeft een positieve invloed op de U-waarde van het constructiedeel.

8.2 Netto-energiebehoefte

Omdat de PHPP-software een andere rekenmethodiek gebruikt dan de EPB-software, zijn beide resultaten niet vergelijkbaar. De PHPP-software zal bijvoorbeeld rekening houden met beschaduwing van de ramen, de windbeschutting en de koudebruggen rond ramen en deuren worden berekend bij het invoegen van deze ramen en deuren en moeten niet apart ingegeven worden zoals in de EPB-software.



Figuur 46: Netto-energiebehoefte volgens PHPP

Net als de EPB-software is volgens de PHPP-software de netto-energiebehoefte het laagst bij toepassing van de passiefhuisstandaard. In dit geval is ook rekening gehouden met de luchtdichtheidseisen. De duidelijke daling in energiebehoefte is op deze figuur duidelijk te zien.

9 Algemene vergelijking

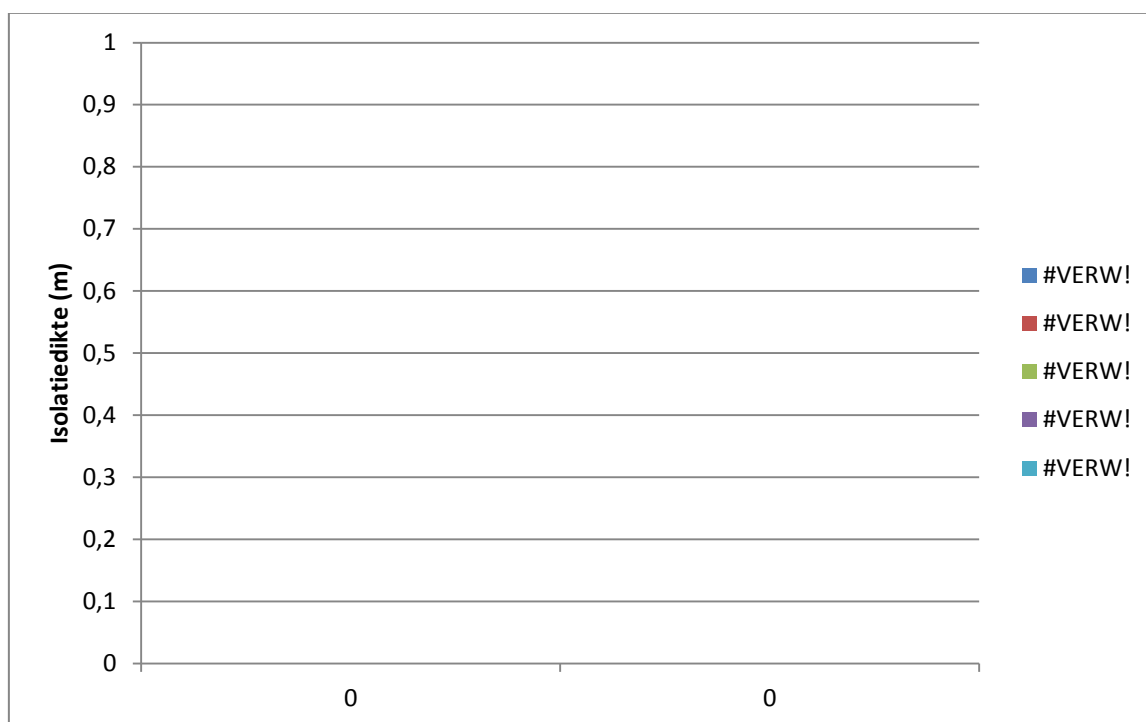
9.1 Isolatiediktes

De verschillen in isolatiediktes tussen de eisen worden vergeleken aan de hand van figuur 28, 29 en 30.

9.1.1 Gevels

Bij vergelijking van de gevels zien we dat bij het huis van 1920 er dubbel zoveel isolatie nodig is om te voldoen aan de Passiefhuisstandaard dan aan de Duitse standaard. Dit is te verklaren aan de hand van de eisen. De Duitse eis maakt een onderscheid tussen binnen- en buitenisolatie, terwijl de passiefhuisstandaard dit niet doet. In dit geval is er langs binnen geïsoleerd. In het huis uit 1977 is er langs buiten geïsoleerd, in dit geval zijn de isolatiediktes hetzelfde voor Duitsland en Passiefhuis. In beide gevallen is de isolatiedikte voor België en BEN hetzelfde. Omdat de Nederlandse eis strenger is, ligt de isolatiedikte iets hoger.

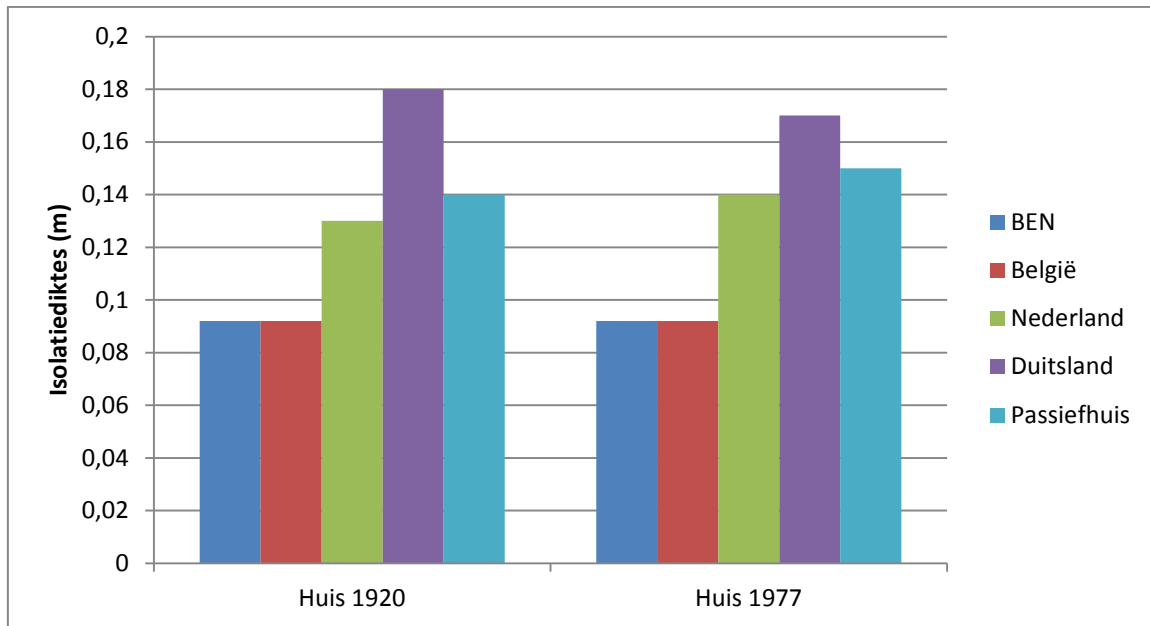
Over het algemeen ligt de isolatiedikte bij het huis uit 1920 iets lager (1 à 2 cm), dit komt omdat de U-waarde van de bestaande toestand al iets beter (1,74 t.o.v. 1,83) was.



Figuur 47: Isolatiedikte gevels

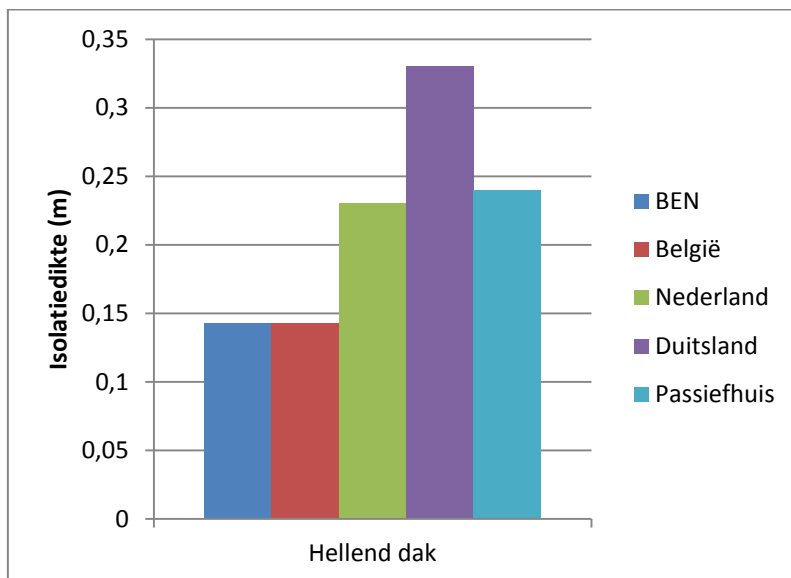
9.1.2 Daken en plafonds

Vervolgens wordt er gekeken naar de daken. Voor beide woningen zijn de isolatiediktes hetzelfde voor het plat dak, dit is omdat de opbouw van deze daken hetzelfde is.



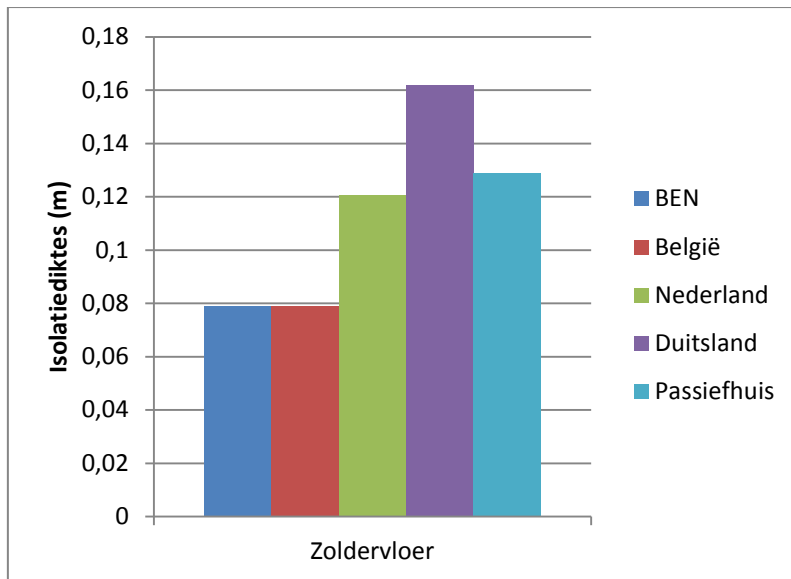
Figuur 48: Isolatiediktes plat dak

De piek in isolatiedikte voor een hellend dak is te verklaren door de strenge Duitse eis. Om van een U-waarde van 0.15 bij Passiefhuis naar 0.12 bij EnerPHit te gaan, is er 10 cm extra isolatie nodig. Dit is een grote inspanning voor een relatief kleine winst.



Figuur 49: Isolatiedikte hellend dak

Ook hier is het verband tussen de nodige isolatiedikte en de geëiste U-waarde lineair. Om na te gaan of de extra isolatie rendabel is, is het aangewezen de netto-energiebehoefte in beschouwing te nemen. In de volgende paragraaf wordt deze netto-energiebehoefte onder de loep genomen.



Figuur 50: Isolatiediktes zoldervloer

9.2 Netto-energiebehoefte

In figuur 32 wordt de netto-energiebehoefte voor verwarming per jaar per eis weergegeven voor beide referentiewoningen. Het huis uit 1920 heeft over het algemeen een lagere netto-energiebehoefte, dit is te wijten aan het feit dat de vloer boven de onverwarmde kelder geïsoleerd wordt. Als dit niet het geval was zouden de waarden stijgen met 15 kWh/m²a.

Het isoleren van deze vloer brengt ook met zich mee dat er een klein verschil is in netto-energiebehoefte tussen België en BEN, deze stellen andere eisen aan vloeren. Omdat de vloer uit het huis uit 1977 onveranderd blijft, is de netto-energiebehoefte gelijk voor beide standaarden.

Het verschil tussen de resultaten van EnerPHit en de passiefhuisstandaard is opnieuw te wijten aan het gebruik van binnenisolatie in de woning uit 1920 en buitenisolatie in de woning uit 1977.

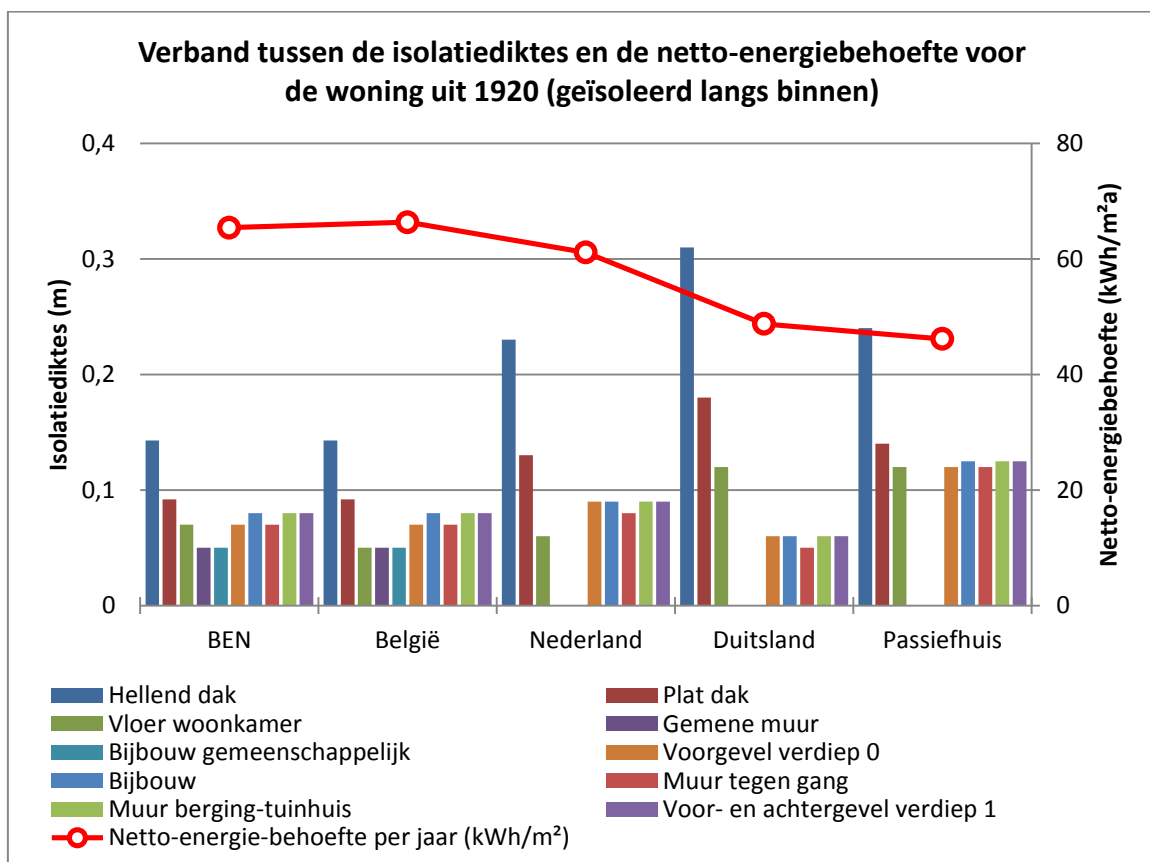


Figuur 51: Jaarlijkse netto-energiebehoefte voor verwarming

9.3 Verband tussen de isolatiediktes en netto-energiebehoefte

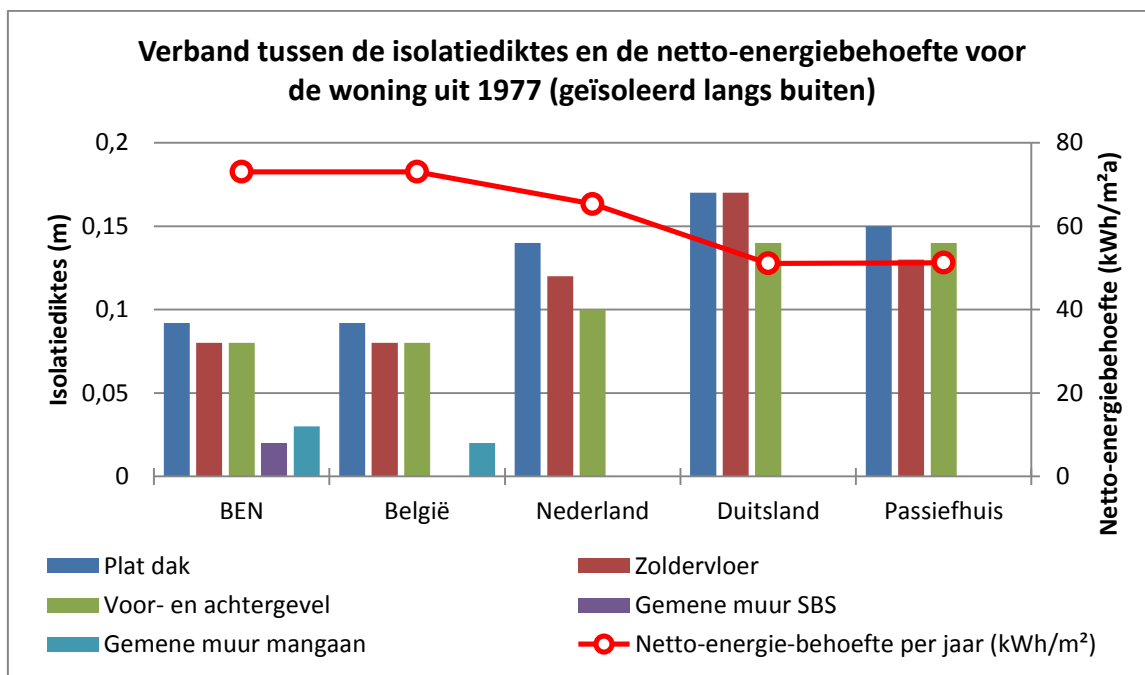
In figuur 33 en 34 wordt de relatie weergegeven tussen de isolatiediktes en de netto-energiebehoefte voor de verschillende woningen. Deze netto-energiebehoefte houdt rekening met de geëiste luchtdichtheid.

Onderstaande figuur geeft de situatie weer voor de woning uit 1920. De Passiefhuisstandaard genereert de kleinste netto-energiebehoefte maar heeft ook veel isolatie: dubbel zoveel gevelisolatie als de Duitse norm. De winst in netto-energiebehoefte bedraagt ongeveer 2 kWh/m². Voor dit huis geeft dit dan een totale besparing van 270 kWh per jaar. De meerkost in energieverbruik is verwaarloosbaar t.o.v. de hogere investering in isolatie. Een bijkomend nadeel van de passiefhuisstandaard is het extra ruimteverlies ten gevolge van de binnenisolatie.



Figuur 52: Relatie tussen isolatiediktes en netto-energiebehoefte woning 1920

Wanneer we kijken naar het huis uit 1977 dat langs de buitenkant geïsoleerd is, zien we dat de netto-energiebehoefte volgens de Duitse norm en de passiefhuisstandaard nagenoeg gelijk is. Ondanks de strengere eisen van EnerPHit voor U_{\max} -waarden daken en plafonds zal de passiefhuisstandaard een gelijkwaardige energiebehoefte hebben. Dit dankzij zijn strengere luchtdichtheidseis.



Figuur 53: Relatie tussen isolatiedikte en netto-energiebehoefte woning 1977

10 Conclusie

In deze scriptie is er getracht een antwoord te formuleren op volgende onderzoeksvraag: “Wat zijn de maatregelen bij verschillende Europese standaarden om tot een energiezuinige renovatie van rijwoningen te komen en welk van deze standaarden leidt tot de meest energiezuinige renovatie-oplossing, rekening houdend met de luchtdichtheid en de maximale U-waarden?”

Om deze onderzoeksvraag op te lossen, hebben we volgende Europese standaarden onderzocht:

- Bijna-energie neutraal bouwen;
- De Belgische EPB-eisen;
- De Nederlandse eisen;
- De Duitse EnerPHit-norm;
- De Passiefhuisstandaard.

Deze standaarden werden toegepast op twee referentiewoningen. Na analyse van de resultaten blijkt dat wanneer er langs binnen geïsoleerd wordt, een renovatie volgens de Duitse norm wenselijk is. De netto-energiebehoefte ligt iets hoger dan bij de Passiefhuisstandaard, maar in dit geval is het nodig de isolatie dubbel zo dik uit te voeren, wat leidt tot een groter ruimteverlies. Ook is de winst in netto-energiebehoefte gering.

Wanneer er langs buiten geïsoleerd wordt, is de netto-energiebehoefte van de Duitse norm enerzijds en van de Passiefhuisstandaard anderzijds gelijkwaardig. Zonder rekening te houden met de luchtdichtheidseisen zou de netto-energiebehoefte het laagste zijn volgens de Duitse norm. De Passiefhuisstandaard stelt minder strenge eisen voor daken en plafonds wat leidt tot minder isolatie. Maar omdat Passiefhuis strengere eisen stelt aan luchtdichtheid wordt het verschil in netto-energiebehoefte gecompenseerd.

Hieruit kan besloten worden dat wanneer men bij de renovatie van een rijwoning verschillende opties wil bekijken, men best kiest voor een renovatie volgens de Duitse eisen in geval van binnenisolatie. In geval van buitenisolatie maakt men het best gebruik van de Passiefhuisstandaard.

10.1 Vooruitblik

In dit onderzoek werden de verschillende eisen allemaal afzonderlijk geïmplementeerd, maar geen van deze eisen is ‘perfect’. Verder onderzoek zou zich kunnen toespitsen op het vinden van een ideaal verband tussen U-waarden van constructiedelen en de luchtdichtheid van het gebouw om zo een zo laag mogelijke netto-energiebehoefte te bekomen.

Referenties

- [1] Vlaams Energieagentschap, „Implementatie Europese Richtlijn ‘Energieprestaties van gebouwen’ - EPB - EPC,” Vlaamse Overheid, 2010.
- [2] A. Janssens, *Cursus Duurzaam Bouwen*, UHasselt, 2013-2014.
- [3] Passiefhuis-Platform, „Wat is PHP. In Voorstelling,” [Online]. Available: <http://www.passiefhuisplatform.be/voorstelling>. [Geopend 22 oktober 2014].
- [4] Vlaamse Overheid, „Actieplan van het Energierenovatieprogramma 2020,” Luc Peeters, wnd. administrateur-generaal Vlaams Energieagentschap, Brussel, 2009.
- [5] Federale Overheid, „Het gebouwenpark. In Statistieken & Analyses,” [Online]. Available: http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/economie/bouw_industrie/gebouwen_park/. [Geopend 2014].
- [6] Vlaams Parlement, „Decreet houdende vaststelling en realisatie van de rooilijnen,” 8 mei 2009. [Online]. Available: http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&table_name=wet&cn=2009050813.
- [7] Europese Unie, *Klimaatbescherming*, Luxemburg: Bureau voor publicaties van de Europese unie, 2014.
- [8] Ryckvelde vzw, *Het EU klimaatplan*, 2012.
- [9] Europese Unie, „Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement en de Raad van 19 mei 2010,” *Publicatieblad van de Europese Unie*, 18 juni 2010.
- [10] Concerted Action EPBD , „Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD),” Europese Unie, 2012.
- [11] „Nationaal Hervormingsprogramma 2014,” 2014.
- [12] Vlaams Energieagentschap, „Actieplan bijna-energieneutrale gebouwen,” 2010.
- [13] Vlaamse Overheid, „Energiesparen,” Vlaamse Overheid, [Online]. Available: <http://www.energiesparen.be>. [Geopend 2014].
- [14] Vlaams Energieagentschap, „Wat is een BEN-woning?,” 2014.
- [15] NAV vzw, „Meer over EPB: BEN-eisen,” NAV vzw, 2015. [Online]. Available: <http://www.meeroverepb.be/pages/kdb.php?id=274>.

- [16] Vlaams Energieagentschap, „Tweejaarlijkse evaluatie energieprestatieregelgeving,” 13 juni 2013. [Online]. Available: <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/epbevaluatienota2013.pdf>.
- [17] WTCB, „Synthesetabellen van de EPB-eisen,” WTCB, 2014.
- [18] Vlaams Energieagentschap, „Renovatie 2020,” [Online]. Available: www.renovatie2020.be. [Geopend 6 oktober 2014].
- [19] E. Mathieu, „Thermische isolatie van bestaande platte daken,” WTCB.
- [20] O. Vandooren, „Een dak renoveren? Eerst isoleren!,” WTCB, 2008.
- [21] Dakisolatie-expert, „Prijs, advies & tips dak isoleren,” Dakisolatie-expert.be, [Online]. Available: <http://www.dakisolatie-expert.be>. [Geopend 2014].
- [22] WTCB, „HR-glas: Glas met hoog rendement,” Carlo De Pauw.
- [23] G. Timmermans, *Energiezuinig wonen: economische, ecologische en technologische analyse*, Hasselt: Universiteit Hasselt, 2006, p. 130.
- [24] p. A. Janssens, i. J. Wijnants en i. E. Winnepeninckx, „Na-isolatie van spouwmuren door opvulling van de luchtsouw,” WTCB.
- [25] M. v. E. zaken, „Europa 2020 in Nederland,” 1 April 2014. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-your-country/nederland/national-reform-programme/index_nl.htm.
- [26] M. v. B. zaken, „Bouwbesluit 2012 (vanaf 1-1-2015),” 29 Augustus 2011. [Online]. Available: <http://www.onlinebouwbesluit.nl/?v=18>.
- [27] M. v. B. Z. e. Koninkrijkrelaties, „Bouwbesluit 2012: verbouw en functiewijziging,” April 2013. [Online]. Available: <file:///C:/Users/gebruiker/Downloads/infoblad-verbouw-en-functiew-herz-apr2013.pdf>.
- [28] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, „Europe in 2020 Germany,” 9 Mei 2014. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-your-country/deutschland/country-specific-recommendations/index_en.htm.
- [29] Passive House Institute, „EnerPHit Certification Criteria: Residential Refurbishment,” 17 Augustus 2010. [Online]. Available: http://www.passivhaus.org.uk/filelibrary/Passivhaus%20Standards/EnerPHit_Criteria_Residential_EN.pdf.
- [30] Passiefhuis-platform, „Passiefhuiscertificaat,” Passiefhuis-platfrom, 2013. [Online]. Available: <http://www.passiefhuisplatform.be/passiefhuiscertificaat-1>.

- [31] Passiefhuis-platform, „Vademecum passieve woningen en laagenergierenovatie,” 2013. [Online]. Available: <http://www.passiefhuisplatform.be/passiefhuiscertificaat-1>.
- [32] Vlaamse Overheid, „Transmissiereferentiedocument,” 2008.
- [33] Vlaamse Overheid, *Kadastrale statistiek van het bestand van de gebouwen*.
- [34] G. Bekink, *Verduurzaming vooroorlogse woningen*.
- [35] Vlaamse Overheid, „Kruispuntbank Wetgeving. 8 MEI 2009. - Decreet houdende vaststelling en realisatie van de rooilijnen,” Vlaamse Overheid, 8 mei 2009. [Online]. Available: http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&table_name=wet&cn=2009050813. [Geopend 18 februari 2015].
- [36] „Oliecrisis,” [Online]. Available: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Oliecrisis>. [Geopend December 2014].
- [37] Ecobouwers, „Spouwisolatie,” December 2009. [Online]. Available: <http://www.ecobouwers.be/forum/post/spouwisolatie>. [Geopend December 2014].
- [38] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, „Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen,” RVO.nl, Utrecht, 2013.
- [39] G. Verbeeck, *Vochtbeheersing in gebouwen*, Universiteit Hasselt, 2013-2014.
- [40] G. Verbeeck, *Warmtetransport en energieverbruik*, Universiteit Hasselt, 2013.
- [41] S. Uittenbosch, „Risico van inwendige condensatie in een externe scheidingsconstructie,” Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2012.
- [42] Vlaamse Overheid, „Bijlage 5 - Gevalideerde numerieke berekeningen,” 2010.
- [43] Passiefhuis-Platform, „PHPP,” Passiefhuis-Platform, [Online]. Available: <http://www.passiefhuisplatform.be/phpp-0>.
- [44] Passiefhuis-Platform, „Wat is PHPP?,” Passiefhuis-Platform vzw, [Online]. Available: <http://www.passiefhuisplatform.be/faq/wat-phpp>.
- [45] Passiefhuis-Platform, „Passiefhuiscertificaat,” Passiefhuis-Platform, [Online]. Available: <http://www.passiefhuisplatform.be/passiefhuiscertificaat-1>.
- [46] P. V. d. Bossche, S. Prius en P. Cootjans, „Ventilatiegids: stappenplan voor comfortabel en energiezuinig ventileren,” Schaubroeck, Nazareth, 2007.

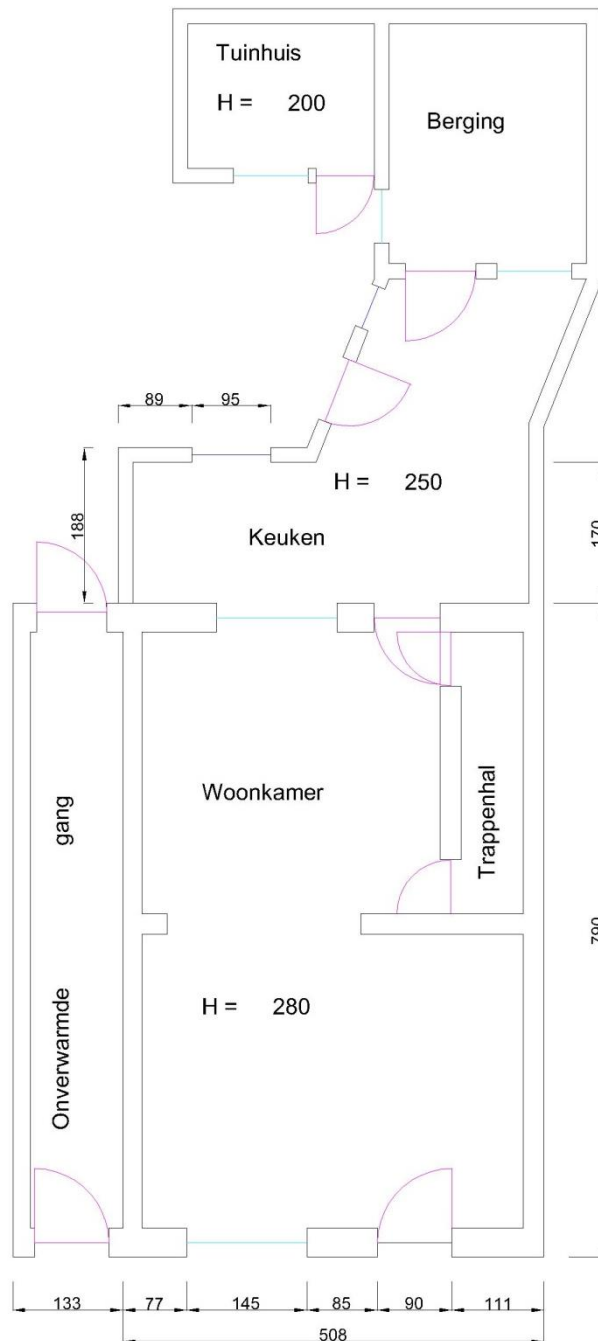
- [47] Universiteit Hasselt, De werf van A tot Z: Speciale technieken - deel HVAC, Diepenbeek: Universiteit Hasselt, 2013.
- [48] Vlaamse Overheid, „Veelgemaakte fout: lambda gespoten PUR,” 2014.
- [49] V. P. T. Vanhove, „Wat is de juiste plafondhoogte,” 25 06 2013. [Online]. Available: <http://ikgabouwen.knack.be/bouwen-renovatie/interieur/wat-is-de-juiste-plafondhoogte/article-normal-441545.html>.
- [50] WTCB, „Luchtdichtheid van gebouwen : een grote uitdaging voor alle bouwberoepen,” *WTCB-contact*, nr. 33.
- [51] Blowerdoortest, „Wat is een blowerdoortest of luchtdichtheidstest,” [Online]. Available: <http://www.blowerdoortests.be/luchtdichtheid/wat-blowerdoortest-luchtdichtheidstest-luchtdichtheidsmeting>. [Geopend 19 Februari 2015].
- [52] E. Thijs, „Building Leakage Test,” 06 03 2012. [Online]. Available: <http://www.thijco.be/pdf/voorbeeldTestrapportBlowerdoor.pdf>.
- [53] Altea Energie, „Blowerdoorexpert,” Altea Energie, 2011. [Online]. Available: <http://www.blowerdoorexpert.be/test-blower-door/>.
- [54] Energy Vanguard, „Energy Vanguard,” Energy Vanguard, [Online]. Available: <http://www.energyvanguard.com/contact-us/>.
- [55] J. Bombeke, „In'Ergie: Certificats énergétiques et test Blowerdoor,” In'Ergie, [Online]. Available: <http://www.inenergie.be/Blowerdoor.html>.

Bijlagen

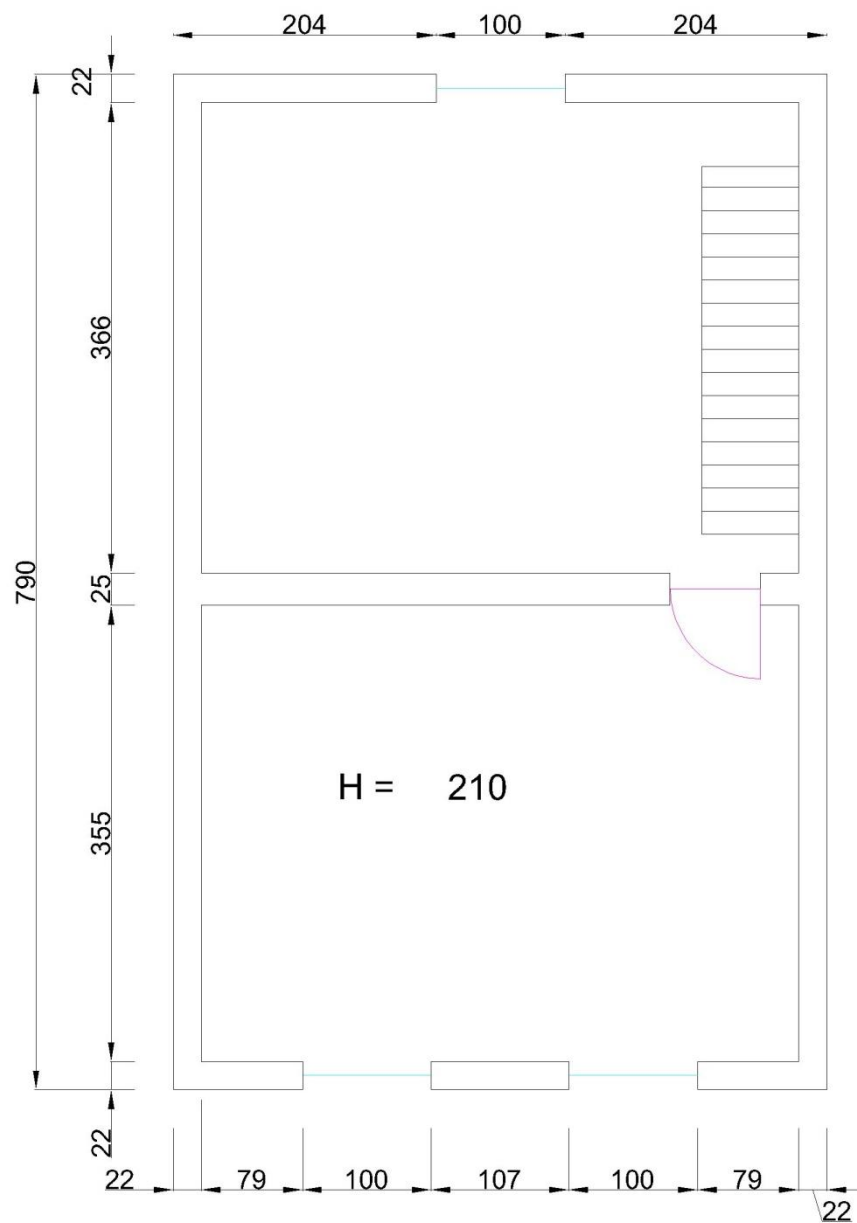
Bijlage 1.	Grondplannen rijhuis 1920	126
Bijlage 2.	Grondplannen rijhuis 1977	129
Bijlage 3.	Technische fiche donkere mangaansteen	131
Bijlage 4.	Technische fiche lichte gevelsteen	132
Bijlage 5.	Technische fiche Argex-korrels	133
Bijlage 6.	Technische gegevens Vitoladens 333-F	134
Bijlage 7.	Technische gegevens LWZ 70 E.....	138
Bijlage 8.	Technische fiche in situ gespoten PUR.....	140
Bijlage 9.	Technische fiche Kingspan Therma TR26.....	141
Bijlage 10.	Technische fiche Kingspan Kooltherm K3	142
Bijlage 11.	Technische fiche Kingspan Kooltherm K17.....	143
Bijlage 12.	Technische fiche Kingspan Kooltherm K5	144
Bijlage 13.	Technische fiche ENERsign® plus.....	145
Bijlage 14.	Technische fiche passiefhuisdeur	149
Bijlagen op CD-rom.....		150

Bijlage 1. Grondplannen rijhuis 1920

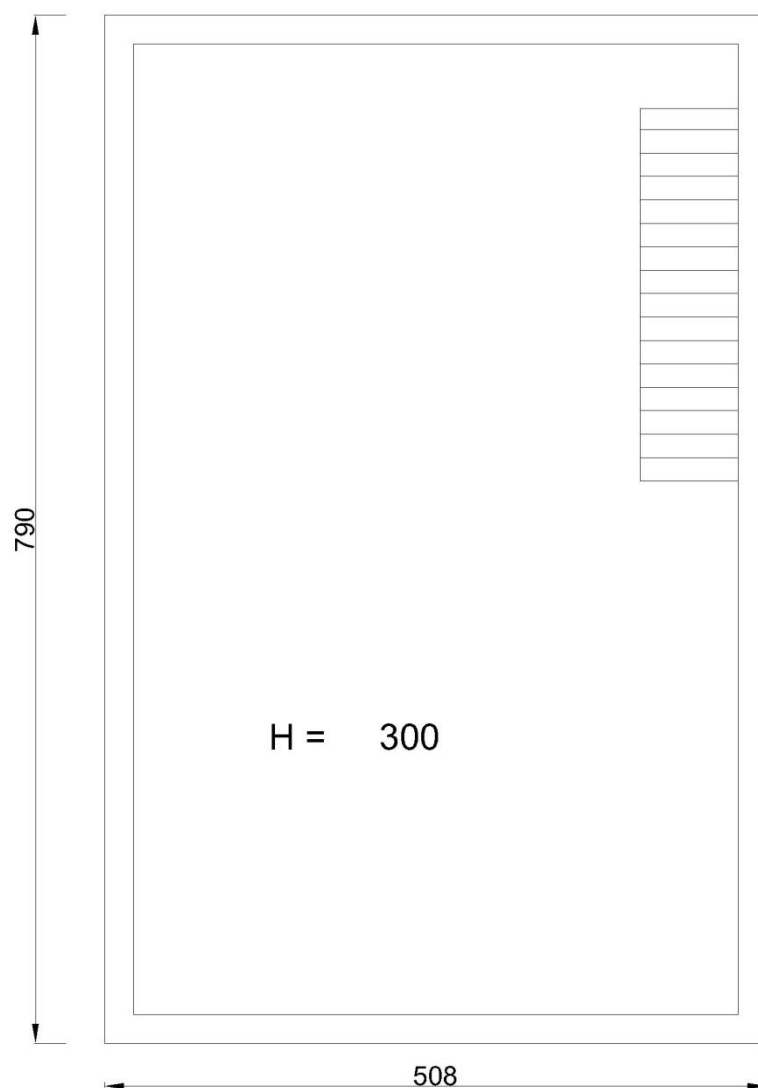
Gelijkvloers



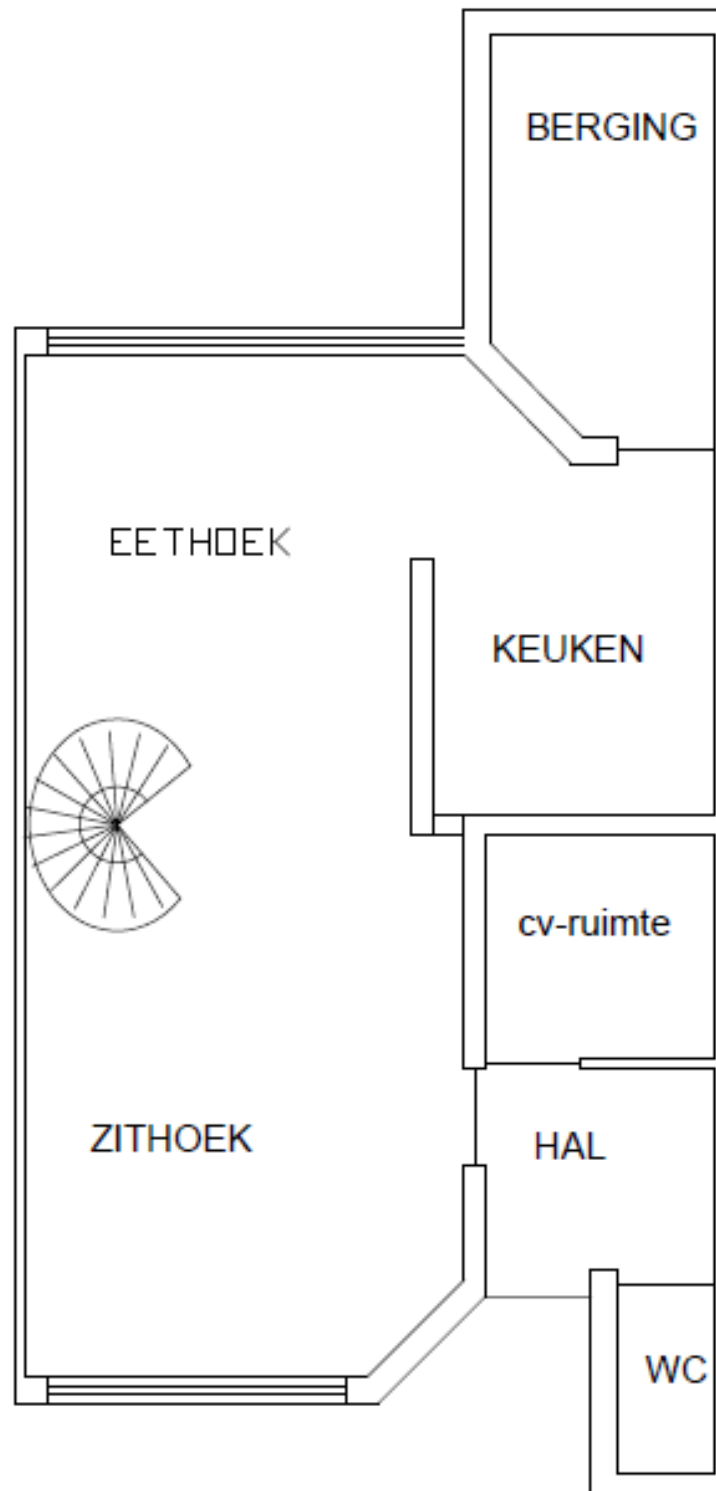
Verdiep 1

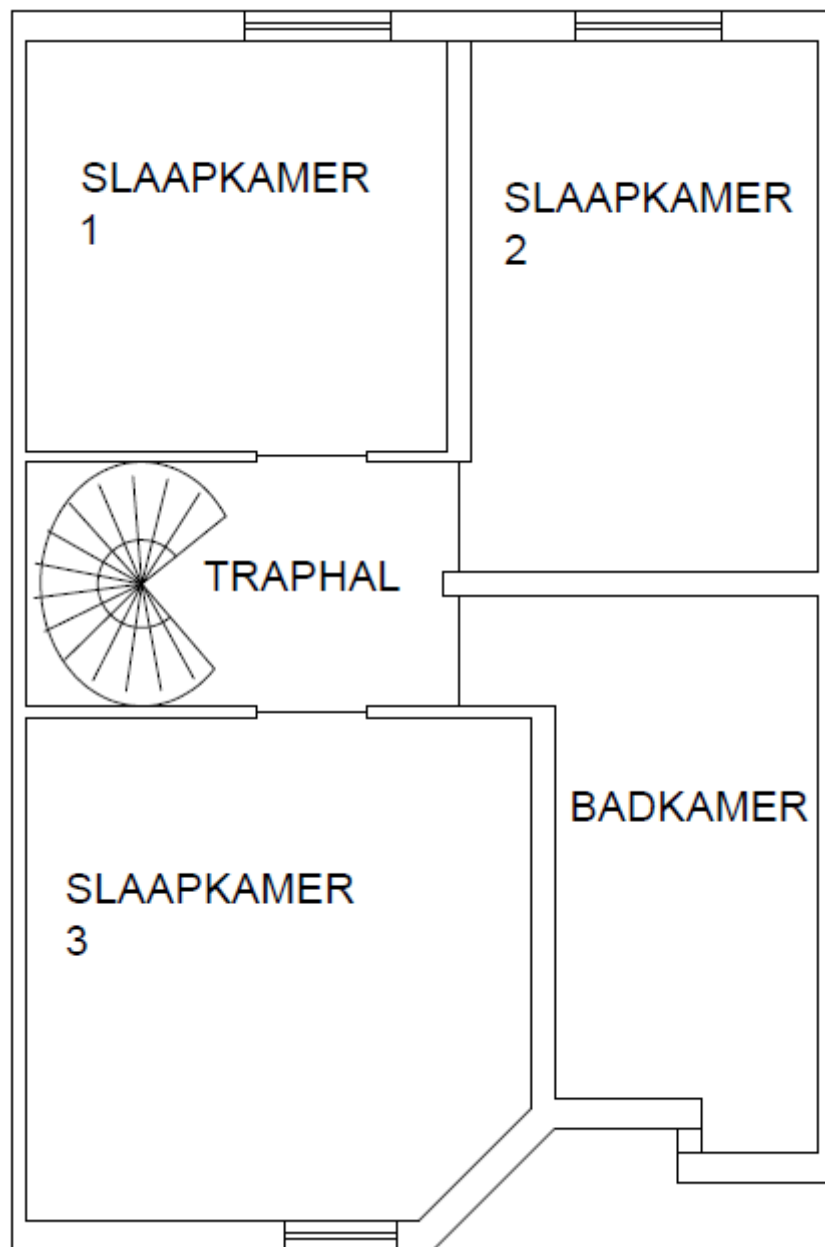


Zolder



Bijlage 2. Grondplannen rijhuis 1977





Bijlage 3. Technische fiche donkere mangaansteen

ZWART MANGAAN

2015-02-08 06:45:44

De grondstoffen worden hoofdzakelijk uit locale, eolische Weichsel-leemlagen gedolven, afzettingen uit de periode van de ijstijden. Dot löss bevat een belangrijke fractie siltig materiaal en is uitermate geschikt voor de productie van handvormgevelstenen. Door gebruik te maken van specifieke zandsorten voor de oppervlaktebezanding wordt de gewenste kleur bekomen.

KLEUR

uniform antraciet

FORMAAT

HANDVORM

M50 189 x 88 x 48 mm

WF 210 x 100 x 50 mm

M65 192 x 90 x 65 mm

DF 210 x 100 x 65 mm

7WF 207 x 70 x 50 mm

Naargelang de bakserie kunnen deze gemiddelde maten licht afwijken.

SPECIFIEKE EIGENSCHAPPEN



NBN EN 771-1 Cat. I - HD

Gemiddelde druksterkte	20 N/mm ²
Maattolerantiecategorie	T2
Maatspreidingscategorie	R1
Vormstabiliteit	0,04 mm/m
Hechtsterkte mortelvoeg (lijmvoeg)	0,15 N/mm ² (0,30 N/mm ²)
Gehalte actieve oplosbare zouten	S2
Brandreactie	Euroklasse A1 (TOC < 0,1%)
Wateropneming	<= 10% (m/md)
Initiële wateropzuiging	<4,5 min
Dampdoorlaatbaarheid	5/10 (EN 1745)
Netto volumieke massa	1850 kg/m ³ (D1)
Bruto volumieke massa	1730 kg/m ³ (D1)
Equivalente warmtegeleidbaarheid	0,60 W/m.K
Vorst/dooi bestandheid	F2
Gevaarlijke stoffen	NPD (Geen prestatie-eisen vastgelegd)

Fabrieken:

Vandersanden Spouwen
Riemsterweg 300
B-3740 SPOUWEN

Vandersanden Lanklaar
Nijverheidslaan 11
B-3650 LANKLAAR

Bijlage 4. Technische fiche lichte gevelsteen

CAYENNE

2015-02-07 23:56:38

De grondstoffen worden hoofdzakelijk uit locale, eolische Weichsel-leemlagen gedolven, afzettingen uit de periode van de ijstijden. Dot löss bevat een belangrijke fractie siltig materiaal en is uitermate geschikt voor de productie van handvormgevelstenen. Door gebruik te maken van specifieke zandsorten voor de oppervlaktebezanding wordt de gewenste kleur bekomen.

KLEUR

rood met witte nuance

FORMAAT

HANDVORM

M50 191 x 89 x 49 mm

DF 214 x 101 x 65 mm

Naargelang de bakserie kunnen deze gemiddelde maten licht afwijken.

SPECIFIEKE EIGENSCHAPPEN



NBN EN 771-1 Cat. I - HD

Gemiddelde druksterkte	20 N/mm ²
Maattolerantie categorie	T2
Maatspreidings categorie	R1
Vormstabiliteit	0,04 mm/m
Hechtsterkte mortelvoeg (lijmvoeg)	0,15 N/mm ² (0,30 N/mm ²)
Gehalte actieve oplosbare zouten	S2
Brandreactie	Euroklasse A1 (TOC < 0,1%)
Wateropneming	<= 14% (m/md)
Initiële wateropzuiging	<4,5 min
Dampdoorlaatbaarheid	5/10 (EN 1745)
Netto volumieke massa	1740 kg/m ³ (D1)
Bruto volumieke massa	1630 kg/m ³ (D1)
Equivalente warmtegeleidbaarheid	0,60 W/m.K
Vorst/dooi bestandheid	F2
Gevaarlijke stoffen	NPD (Geen prestatie-eisen vastgelegd)

Fabrieken:

Vandersanden Spouwen
Riemsterweg 300
B-3740 SPOUWEN

Vandersanden Lanklaar
Nijverheidslaan 11
B-3650 LANKLAAR

Bijlage 5. Technische fiche Argex-korrels



maal toelaatbare U-waarde (warmtedoorgangscoëfficiënt).

Voor de bepaling van de U-waarde dient men de berekeningsmethode van ISO 13370 te volgen. Hierbij wordt niet alleen de warmteweerstand van de vloer zelf in rekening gebracht, maar ook de λ van de ondergrond, de dikte van de buitenmuur, de randisolatie, de perimeter P en de vloeroppervlakte A.

Praktische U-waarden (ISO 13370)

In dit rekenvoorbeeld gaan we uit van een Argex-thermovloer op een zandgrond met daarop een betonvloer van 12 cm ($\lambda = 1,7 \text{ W/mK}$). Er is gerekend met een dikte van de muur van 30 cm zonder randisolatie.

Als we dan U berekenen in functie van de dikte van de Argexlaag en van P/A, krijgen we volgende tabel:

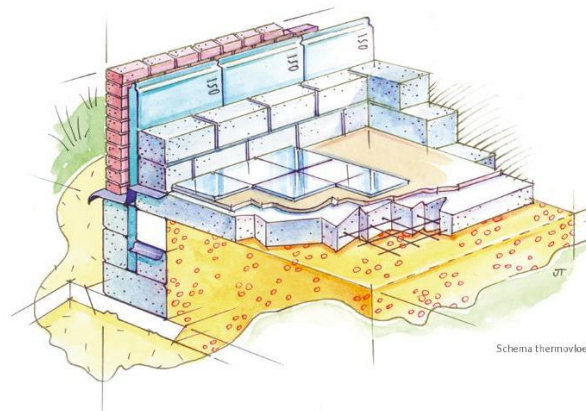
Dikte laag argex 8/16*	cm	15	20	25	30	35	40
Thermische weerstand							
R argex	m ² K/W	1,181	1,575	1,969	2,362	2,756	3,150
Thermische weerstand							
R argex+R beton	m ² K/W	1,238	1,632	2,026	2,419	2,813	3,207
P/A (m)							
0,1		0,183	0,169	0,157	0,147	0,138	0,131
0,2		0,275	0,247	0,224	0,205	0,189	0,175
0,3		0,335	0,294	0,262	0,236	0,214	0,196
0,4		0,376	0,325	0,285	0,255	0,232	0,212
0,5		0,405	0,344	0,303	0,271	0,245	0,223
0,6		0,425	0,363	0,318	0,282	0,254	0,231
0,7		0,444	0,378	0,329	0,291	0,261	0,237
0,8		0,461	0,390	0,338	0,298	0,267	0,242
0,9		0,475	0,400	0,346	0,304	0,272	0,245
1		0,487	0,408	0,352	0,309	0,275	0,249

(*) λ rekenwaarde Argex = 0,127 W/mK

Draagvermogen van een laag losgestorte Argex

Na verdichting (per laag van 0,30 m):

- AR 8/16-340 > 10t/m² of 0,1 N/mm²
- AR 4/10-430 > 15t/m² of 0,15 N/mm²



Nieuwe brochure

Naar aanleiding van de nieuwe isolatiewaarden, brengt Argex een nieuwe documentatiebrochure uit: 'Thermovloeren en lichte/isolerende aanvullingen in gebouwen'. In de nieuwe brochure wordt niet enkel de standaard thermovloer uitgebreid toegelicht, maar is er ook ruimte voorzien voor variaties op het basisprincipe en andere lichte aanvullingsmogelijkheden met Argex. U kan alvast uw exemplaar aanvragen door achteraan deze ArgeXtra de antwoordstrook in te vullen en ons per brief of fax terug te sturen.

Bijlage 6. Technische gegevens Vitoladens 333-F

Vitoladens 333-F (vervolg)

2.2 Technische gegevens

Olieketel, type B en C, voor werking met stookolie DIN 51603-EL-1/EN 590 zwavelarm					
Nom. vermogen met compactblauwbrander					
$T_v/T_R = 50/30\text{ °C}$	kW	tweetraps 12,9 /19,3	modulerend 10,3 - 19,3	tweetraps 16,1 /23,5	modulerend 10,3 - 23,5
$T_v/T_R = 80/60\text{ °C}$	kW	12 /18	9,6 - 18	15 /22	9,6 - 22
Tapwateropwarming	kW	12 /18	9,6 - 18	15 /22	9,6 - 22
Nominaal verbrandingsvermogen	kW	12,5 /18,7	9,8 - 18,7	15,6 /22,9	9,8 - 22,9
CE-markering		CE-0035BM112	CE-0035CO107	CE-0035BM112	CE-0035CO107
DIBt-toelating		Z-43.11-153			
Beschermingstype		IP 20 volgens EN 60529			
Elektr. opgenomen vermogen (incl. circulatiepomp)	W	200 /270	62 - 213	200 /270	62 - 213
Gewicht	kg	170		170	
Inhoud van de warmtewisselaar	l	12		12	
Verwarmingswater debiet bij 200 mbar (20 kPa) restopvoerhoogte	l/h	1060		1060	
Max. debiet (Grenswaarde voor gebruik van een evenwichtsfles.)	l/h	1390		1390	
Nom. circulerend watervolume bij $\Delta T = 20\text{ K}$	l/h	774		774	
Expansievat					
Inhoud	l	12		12	
Voordruk	bar	0,75		0,75	
	kPa	75		75	
Toegel. bedrijfsdruk	bar	3		3	
	MPa	0,3		0,3	
Aansluiting veiligheidsklep (binnendraad)	R	3/4		3/4	
Afmetingen					
Lengte	mm	582		582	
Breedte	mm	600		600	
Hoogte	mm	1625		1625	
Aanzuig- en retourleiding (binnendraad) aan de olieslangen	R	3/4		3/4	
Motortoerental oliepompaandrijving	min ⁻¹	2880		2880	
Pompvermogen Oliepomp	l/h	24		24	
Warmwaterboiler					
Inhoud	liter	130		130	
Toegest. tapwaterbeveiligingsdruk	bar	10		10	
	MPa	1		1	
Tapwater-continuivermogen bij tapwateropwarming van 10 naar 40 °C	kW	18		18	
	Liter/h	516		516	
Vermogensgetal N_L volgens DIN 4708		1,6		1,6	
Max. aftapvolume (gedurende 10 minuten) bij het aangegeven vermogensgetal N_L en tapwateropwarming van 10 naar 45 °C	Liter/min	17,3		17,3	
Rookgaswaarden³					
Temperatuur (bij retourtemp. 30 °C)	°C	34	35	39	40
Temperatuur (bij retourtemp. 60 °C)	°C	67	67	72	72
Massadebiet	kg/h	19,3	28,8	24,5	35,9
Beschikbare trek	Pa	100	100	100	100
	mbar	1,0	1,0	1,0	1,0
Geluidsvermogensniveau (conform EN ISO 9614-2)					
- bij gesloten werking	dB(A)	59	56 - 61	59	56 - 64
- bij open werking	dB(A)	63	58 - 63	63	58 - 66

² Bij 70 °C gemiddelde ketelwatertemperatuur en boilerbevoorradingstemperatuur $T_{sp} = 60\text{ °C}$.

Het warmwater-vermogensgetal NL verandert met de boilerbevoorradingstemperatuur T_{sp} .

Richtwaarden: $T_{sp} = 60\text{ °C} \rightarrow 1,0 \times NL$ $T_{sp} = 55\text{ °C} \rightarrow 0,75 \times NL$ $T_{sp} = 50\text{ °C} \rightarrow 0,55 \times NL$ $T_{sp} = 45\text{ °C} \rightarrow 0,3 \times NL$.

³ Rekenwaarden voor de dimensionering van de rookgasinstallatie volgens EN 13384.

Rookgastemperaturen als gemeten brutowaarden bij 20 °C verbrandingsluchttemperatuur.

De rookgasstemperatuur bij een retourtemperatuur van 30 °C is bepalend voor de dimensionering van de rookgasinstallatie.

De rookgasstemperatuur bij een retourtemperatuur van 60 °C is voor de bepaling van het gebruik van rookgasleidingen bij maximaal toegestane bedrijfstemperaturen.

Vitoladens 333-F (vervolg)

Olieketel, type B en C, voor werking met stookolie DIN 51603-EL-1/EN 590 zwavelarm					
Nom. vermogen met compactblauwbrander					
$T_v/T_R = 50/30 \text{ °C}$	kW	tweetraps 12,9 /19,3	modulerend 10,3 - 19,3	tweetraps 16,1 /23,5	modulerend 10,3 - 23,5
$T_v/T_R = 80/60 \text{ °C}$	kW	12 /18	9,6 - 18	15 /22	9,6 - 22
Tapwateropwarming	kW	12 /18	9,6 - 18	15 /22	9,6 - 22
Normrendement bij $T_v/T_R = 50/30 \text{ °C}$	%	tot 98 (H_v)/104 (H_i)			
Maximale condenswaterhoeveelheid volgens DWA-A 251	l/h	2,6		3,2	
Condenswateraansluiting Slanglule	Ø mm	20 - 24		20 - 24	
Rookgasaansluiting	Ø mm	80		80	
Luchttoevoeraansluiting	Ø mm	125		125	

Rookgas-/luchttoevoeraansluiting

In combinatie met een coaxiale adapter Ø 80/125 mm naar Ø 60/100 mm (toebehoren) is ook het rookgassysteem Ø 60/100 mm inzetbaar.

Aanwijzing

De aangegeven aansluitmaten moeten apart als toebehoren besteld worden.

2

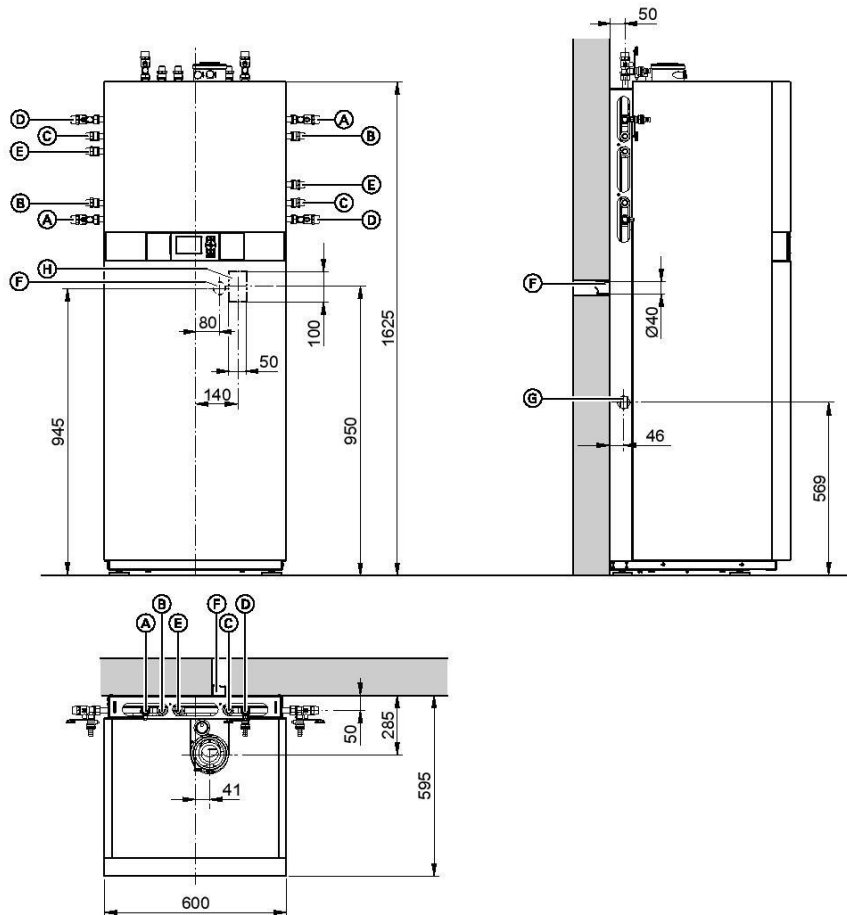
5818 425 B/II

VITOLADENS 300-W/VITOLADENS 333-F

VIESSMANN 11

Vitoladens 333-F (vervolg)

2



- (A) Verwarmingaanvoer R ¼
- (B) Warm water R ½
- (C) Koud water R ½
- (D) Verwarmingretour R ¼

- (E) Circulatie R ½ (afzonderlijk toebehoren)
- (F) Afvoer condenswater naar achteren in de wand
- (G) Afvoer condenswater naar de zijkant
- (H) Bereik voor elektrische leidingen

Aanwijzingen bij de aansluitsets

In de afmetingen zijn als voorbeeld armaturen voor opbouwmontage naar boven en links/rechts weergegeven.

Maten bij de aparte aansluitsets zie planningsaanwijzingen.

Bij gebruik van de aansluitset met voormontageconsole voor opbouwinstallatie naar beneden moet een afstand tot de wand ≥ 70 mm worden gerespecteerd.

Alle hoogtematen hebben een tolerantie van +15 mm door de stelpoten.

Toerentalgeregelde CV-pomp in de Vitoladens 333-F

De geïntegreerde circulatiepomp is een uiterst efficiënte circulatiepomp (volgens energie label A) met meer dan 50 % gereduceerd stroomverbruik ten opzichte van gewone pompen.

Zijdelingse afstand voor servicewerkzaamheden

Voor servicewerkzaamheden aan de brander moet de als toebehoren geleverde reinigingsset worden gebruikt. Met de daarin zittende branderhouder is een optimale servicepositie van de brander mogelijk. Dan adviseren wij een afstand aan de zijkant van 300 mm (links of rechts) naast de Vitoladens 333-F.

Vitoladens 333-F (vervolg)

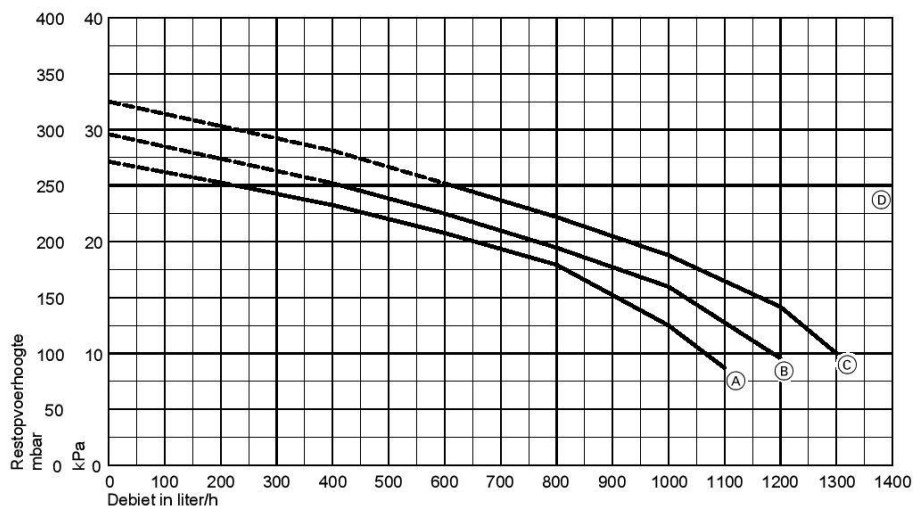
Het pomptoeental en daarmee het pompvermogen wordt afhankelijk van de buitentemperatuur en schakeltijden voor stookwerking of verlaagde werking geregeld. De regeling verzendt via een interne gegevens-BUS de actuele toerentalgegevens naar de circulatiepomp. Een individuele aanpassing van het min. en max. toerental alsook het toerental in een gereduceerde werking aan de bestaande verwarmingsinstallatie kan aan de hand van de coderingen aan de regeling uitgevoerd worden.

Het min. pompvermogen wordt op codeeradres "E7" ingesteld. Het max. pompvermogen wordt op codeeradres "E6" ingesteld. De instellingen van de coderingen zijn door ketelspecifieke parameters begrensd. Bij gebruik van een evenwichtsflap kan het toerental door CA31 worden ingesteld.

Circulatiepomp UPM-15

Nominale spanning	V~	230
Opgenomen vermogen	W max.	70
	min.	6
	in toestand bij levering	37

Restopvoerhoogten van de ingebouwde circulatiepomp



Ⓓ Bovengrens werkbereik

Karakteristiek	Pompvermogen circulatiepomp	Instelling codeeradr. "E6"
(A)	50 %	E6.050
(B)	60 %	E6.060
(C)	70 %	E6.070

5818.425 B/fi

VITOLADENS 300-W/VITOLADENS 333-F

VIESSMANN 13

STIEBEL ELTRON

PRODUCTDATABLAD

LWZ 70 E

Efficiënte oplossing voor verluchttingsproblemen.

Het centraal ventilatietoestel LWZ 70 E is speciaal ontwikkeld voor de aan- en afvoer van frisse en gebruikte lucht in woningen. Dankzij een kruis-tegenstroom-warmtewisselaar kan tot 90 % van de warmte uit de afgevoerde lucht teruggewonnen worden. Dit is dus energie die bij klassieke ventilatiesystemen onherroepelijk verloren zou gaan. De LWZ 70 E haalt zijn energie-efficiëntie ook uit het feit dat hij gebruik maakt van ventilatoren met een spaarzaam constant debiet met geïntegreerde regeling. Met een afstandsbediening (noodzakelijk toebehoren) wordt het luchtdebiet in drie standen geregeld. De eenvoudig te vervangen filters reinigen de aan- en afvoerlucht en garanderen zo voortdurend een hoge luchtkwaliteit. Door zijn uiterst compacte bouwvorm vindt de LWZ 70 E op elegante wijze plaats in een hangende keukenkast.



Voorbeeld LWZ 70 E

De belangrijkste kenmerken

- Optimale oplossing voor kleine woningen
- Ventilator met constant debiet en hoog rendement
- Centraal gefilterde aan- en afvoerlucht voor optimale luchtkwaliteit (comfort)
- Eenvoudig onderhoud
- Continue afvoer van schadelijk stoffen uit de woonomgeving
- Hoge warmterecuperatiegraad, tot 90 %
- Eenvoudige, logische bediening



Type	
Type	LWZ 70 E
Bestelnr.	233851
Hoogte	600 mm
Breedte	560 mm
Diepte	290 mm
Lucht volumestroom	50-180 m ³ /h
Technische gegevens	
Rendement WTW luchtzijdig tot	90 %
Luchtaansluitdiameter	125 mm
Gewicht	25 kg
Nominale spanning	230 V
Filterklasse	G3
Geluidsniveau (EN 12102)	46 dB(A)
Stroomverbruik met voorverwarmingsregister	
Stroomverbruik zonder voorverwarmingsregister	1,48 A
Verbruik met voorverwarmingsregister	
Verbruik zonder voorverwarmingsregister	136 W



PUR na-isolatie

Thermische na-isolatie voor spouwmuren, kruipkelders, zoldervloeren en zoldermuren, onderkant daken

Het na-isoleren van een bestaande woning is vandaag meer dan ooit een must. Een goede na-isolatie resulteert immers in aanzienlijke energieprestatieverbeteringen van de woning en genereert bijgevolg lagere energiekosten.

Gespoten polyurethaan of PUR vormt dankzij de goede isolatiewaarde een ideale oplossing.

+ Voordelen

- > PUR heeft **laagste warmtegeleidingscoëfficiënt**
- > **Naadloze** isolatielaag: 100% naadloos geheel
- > Blijvende **besparing** op de **energiekosten**
- > **Verhoogd comfort** in de woning
- > **Geen koudebruggen**
- > **Waterafstotend** en **dampdoorlatend**

Bij spouwmuren:

- > **Geen beschadiging** van stenen door kleine boorgaten

Erkend
installateur **ATG**
voordeliger voor uw premies

Bespaar
tot **50%**
op je energiefactuur



Thermisch isoleren
Isolatiewaarden

$\lambda = 0,033\text{W/mK}$

PUR spouwmuur & kruipkelder
4 cm R-waarde = 1,21 m²K/W
5 cm R-waarde = 1,52 m²K/W
9 cm R-waarde = 2,73 m²K/W

$\lambda = 0,025\text{W/mK}$

PUR vloeren, dak, zolder
1,6 m²K/W
2,0 m²K/W
3,6 m²K/W

Voor productinformatie over na-isolatie surf naar

www.isola.be/gespoten-pur



www.isola.be

Kingspan **Therma™** TR26 Platdak Plaat



Omschrijving

De **Kingspan Therma™** TR26 Platdak Plaat is een PIR-hardschuim isolatieplaat met vezelvrije kern, aan twee zijden voorzien van een alu-meerlagen complex en voldoet aan de strenge brandveiligheidseisen zoals gesteld door Factory Mutual (FM approval).

Toepassing

De plaat past u toe op platte daken onder zowel mechanisch bevestigde als losliggend geballaste dakbedekkingssystemen. (verwerkingsvoorschriften op aanvraag)

Standaard afmeting

De **Kingspan Therma™** TR26 Platdak Plaat is standaard verkrijgbaar in de afmetingen: 2400 x 1200 mm met rechte kanten*.

* Voor afwijkende afmetingen en randafwerkingen kunt u contact opnemen met onze klantenservice.

Technische gegevens

Eigenschap	Waarde
Euro brandklasse (NBN EN 13501-1)	E (naakt product)
Begaanbaarheid	Klasse C
Densiteit	min. 30 kg/m ³
Druksterkte bij 10% vervorming (NBN EN 826)	≥ 150 kPa (dikte ≤ 80 mm) ≥ 120 kPa (dikte > 80 mm)
Gesloten cellen	min. 90%
Temperatuurbestendigheid	Korte duur: max. 200°C < 1 uur
PIR	Lange duur: -50°C tot +110°C

Thermische eigenschappen

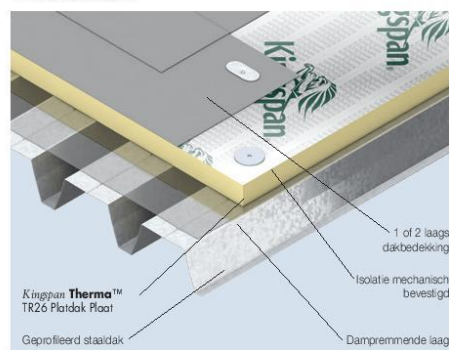
Warmtegeleidingscoëfficiënt

λ_D -waarde (W/m·K) (NBN EN 13165)
0,023

Warmteweerstand

Isolatie-dikte (mm)	R _D -waarde (m ² ·K/W)
30	1,30
40	1,70
50	2,15
60	2,60
70	3,00
80	3,45
92	4,00
100	4,30
105	4,55
120	5,20
140	6,05
160	6,95

Voorbeeld detail

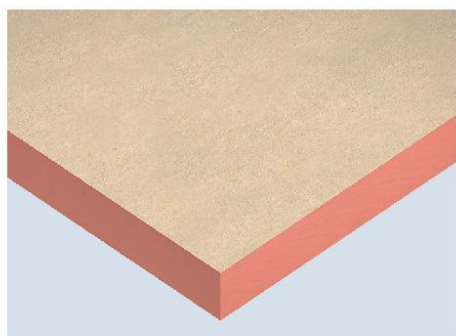


Certificering

Alle producten in het **Kingspan Therma™** platdak assortiment worden geproduceerd onder de hoogst mogelijke kwaliteitseisen en zijn voorzien van CE-markering. De **Kingspan Therma™** TR26 Platdak Plaat heeft eveneens ATG, DUBOkeur en FM approval.

- CE-markering
- ATG Productgoedkeuring met Certificatie
- ATG Technische Goedkeuring met Certificatie
- DUBOkeur

Productdetails



Omschrijving

De *Kingspan Kooltherm*® K3 Vloerplaat is een resol hardschuim isolatieplaat met vezelvrije kern, aan twee zijden voorzien van een glasvlies cachering.

Toepassing

De *Kingspan Kooltherm*® K3 Vloerplaat kunt u door de hoge isolatiewaarde uitstekend toepassen als vloerisolatie. De plaat is ook uitstekend te verwerken in combinatie met vloerverwarmingssystemen.

Standaard afmeting

De *Kingspan Kooltherm*® K3 Vloerplaat is standaard verkrijgbaar met rechte kanten in de afmeting 1200 x 600 mm.

Voor afwijkende afmetingen en randafwerkingen kunt u contact opnemen met onze klantenservice.

Technische gegevens

Eigenschap	Waarde
Densiteit	ca. 35 kg/m ³
Druksterkte bij 10% vervorming (NBN EN 826)	≥ 100 kPa
Dimensionele stabiliteit 48 uur, 70°C en 90% RV (lengte en breedte)	≤ 1,5%
Dimensionele stabiliteit 48 uur, -20°C / +70°C (lengte en breedte)	≤ 1,5%
Diffusie weerstandsgetal (μ)	35
Gesloten cellen	min. 90%

Thermische eigenschappen

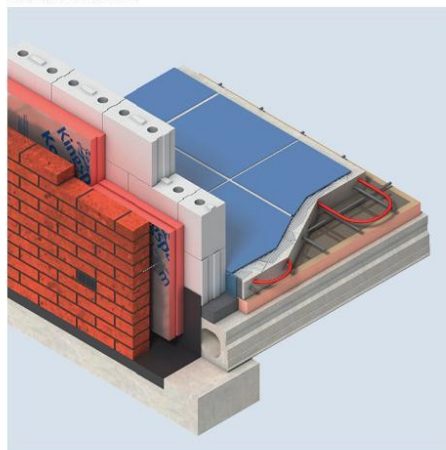
Warmtegeleidingscoëfficiënt

Isolatie dikte (mm)	λ _D -waarde (W/m·K) (NBN EN 13166)
< 45	0,021
45 - 120	0,020
> 120	0,021

Warmteweerstand

Isolatie dikte (mm)	R _D -waarde (m ² ·K/W)
20	0,95
30	1,40
40	1,90
50	2,50
60	3,00
70	3,50
80	4,00
90	4,50
100	5,00
120	6,00
140	6,65
159	7,55

Voorbeeld detail



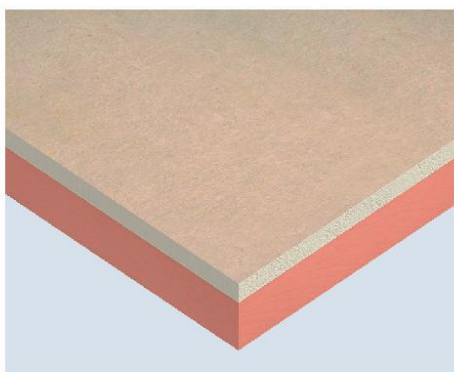
Certificering

Alle producten in het Kingspan assortiment worden geproduceerd onder de hoogst mogelijke kwaliteitseisen en zijn voorzien van CE-markering. De *Kingspan Kooltherm*® K3 Vloerplaat heeft eveneens ATG en DUBOkeur.

- CE-markering
- ATG Technische Productgoedkeuring met Certificatie*
- DUBOkeur

* voor ATG gerelateerde productinformatie, zie www.butgb.be

Productdetails



Omschrijving

De **Kingspan Kooltherm® K17 Binnenislatie Element** is een resol hardschuim isolatieplaat met vezelvrije kern, aan één zijde voorzien van een glasvlies cachering en aan de andere zijde een gesloten aluminium folie met daarop een 12,5 mm dikke gipskartonplaat (AK).

Toepassing

De **Kingspan Kooltherm® K17 Binnenislatie Element** kunt u door de hoge isolatiewaarde uitstekend toepassen bij het renoveren van wanden en daken.

Standaard afmeting

De **Kingspan Kooltherm® K17 Binnenislatie Element** is standaard verkrijgbaar in de afmeting 2600 x 1200 mm.

Voor afwijkende afmetingen en randafwerkingen kunt u contact opnemen met onze klantenservice.

Technische gegevens

Eigenschap	Waarde
Euro brandklasse (NBN EN 13501-1)	B-s1, d0 (naakt product)
Densiteit	ca. 35 kg/m ³
Druksterkte bij 10% vervorming (NBN EN 826)	≥ 100 kPa
Dimensionele stabiliteit 48 uur, 70°C en 90% RV (lengte en breedte)	≤ 1,5%
Dimensionele stabiliteit 48 uur, -20°C / +70°C (lengte en breedte)	≤ 1,5%
Diffusie weerstandsgetal (μ)	583
Gesloten cellen	min. 90%

Thermische eigenschappen

Warmtegeleidingscoëfficiënt

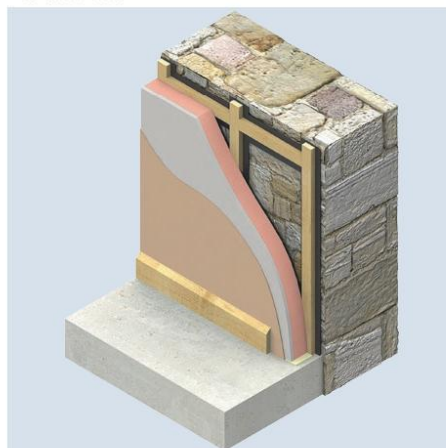
Isolatie-dikte (mm)	λ _D -waarde (W/m·K) Kooltherm® (NBN EN 13166)	λ _D -waarde (W/m·K) (gipskartonplaat)
< 45	0,021	0,250
45 - 120	0,020	0,250

Warmteweerstand

Productdikte* (mm)	R _D -waarde isolatie (m ² ·K/W)	R _D -waarde gipskartonplaat (m ² ·K/W)
50 / 12,5	2,50	0,05
60 / 12,5	3,00	0,05
70 / 12,5	3,50	0,05
80 / 12,5	4,00	0,05
90 / 12,5	4,50	0,05
100 / 12,5	5,00	0,05
110 / 12,5	5,50	0,05
120 / 12,5	6,00	0,05

* Productdikte = isolatiedikte + 12,5 mm gipskartonplaat

Voorbeeld detail

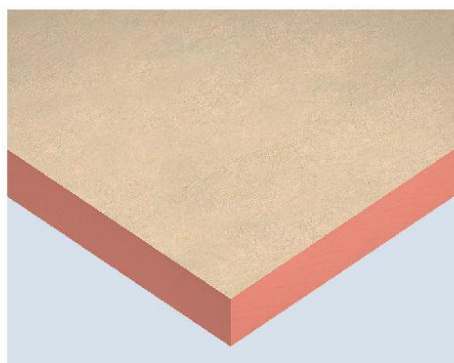


Certificering

Alle producten in het Kingspan assortiment worden geproduceerd onder de hoogst mogelijke kwaliteitseisen en zijn voorzien van CE-markering.

- CE-markering

Productdetails



Omschrijving

De *Kingspan Kooltherm® K5* Buitengevelplaat is een resol hardschuim isolatieplaat met vezelvrije kern, aan twee zijden voorzien van een wit geïmpregneerd glasvlies.

Toepassing

De *Kingspan Kooltherm® K5* Buitengevelplaat is door de hoge isolatiewaarde zeer geschikt als buitengevelisolatie.

Standaard afmeting

De *Kingspan Kooltherm® K5* Buitengevelplaat is standaard verkrijgbaar met rechte kanten in de afmeting 1200 x 400 mm.

Technische gegevens

Eigenschap	Waarde
Euro brandklasse (NBN EN 13501-1)	B-s1, d0 (in applicatie)
Densiteit	ca. 35 kg/m ³
Druksterkte bij 10% vervorming (NBN EN 826)	≥ 100 kPa
Dimensionele stabiliteit 48 uur, 70°C en 90% RV (lengte en breedte)	≤ 1,5%
Dimensionele stabiliteit 48 uur, -20°C / +70°C (lengte en breedte)	≤ 1,5%
Diffusie weerstandsgetal (μ)	35
Gesloten cellen	min. 90%

Thermische eigenschappen

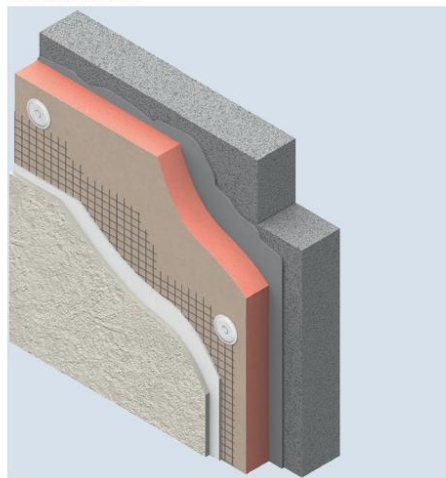
Warmtegeleidingscoëfficiënt

Isolatie-dikte (mm)	λ _D -waarde (W/m·K) (NBN EN 13166)
< 45	0,021
45-120	0,020
> 120	0,021

Warmteweerstand

Isolatie-dikte (mm)	R _D -waarde (m ² ·K/W)
20	0,95
30	1,40
40	1,90
50	2,50
60	3,00
70	3,50
80	4,00
90	4,50
100	5,00
120	6,00
140	6,65
160	7,60
180	8,55
200	9,50

Voorbeeld detail



Certificering

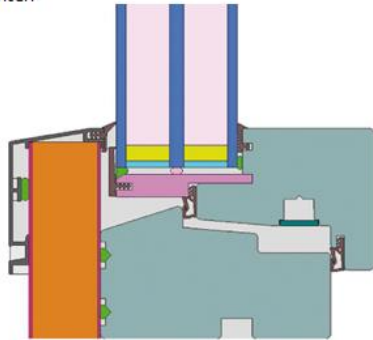
Alle producten in het *Kingspan* assortiment worden geproduceerd onder de hoogst mogelijke kwaliteitseisen en zijn voorzien van CE-markering. De *Kingspan Kooltherm® K5* Buitengevelplaat heeft eveneens ATG en EPD.

- CE-markering
- ATG Technische Productgoedkeuring met Certificatie*
- EPD

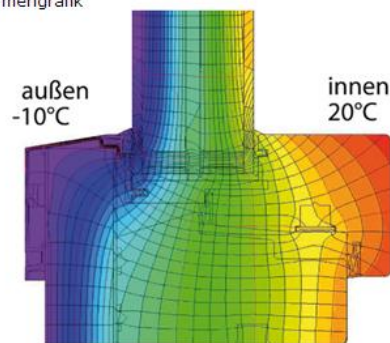
* voor ATG gerelateerde productinformatie, zie www.butgb.be

Bijlage 13. Technische fiche ENERsign® plus

Schnitt unten



Isothermengrafik



Zertifiziertes Warmfenster ENERsign® plus

Geprüfte Werte für sichere Ergebnisse bei der Fensterberechnung

Fensterkennwerte

	U _f -Wert W/m ² K	Breite mm	PSI _g W/mK	f _{RSI=0,25} (-)
Abstandhalter			chromatec ultra pu	
Unten	0,61	94	0,027	0,74
Seitlich/Oben	0,61	94	0,028	

Fensterleistungswerte

Normprüfgröße 1.260 x 1.480 mm			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> U_{window} 0,62 </div>
U-Wert Glas	0,53	W/m ² K	
g-Wert Glas	51%		
Lichttransmission	71%		
mittlerer PSI _g	0,028	W/m ² K	

phA
advanced
component

phB
basic
component

phC
certifiable
component

not suitable
for Passive
Houses

Bei Fenster-Elementen mit anderer Verglasung oder Formaten außerhalb der Normgrößen müssen separate Berechnungen erstellt werden.

Warmglas Typ	Skizze	Scheibe außen	SZR	Scheibe mitte	SZR	Scheibe innen	Gesamtstärke	U-Wert Glas EN 673	g-Wert Glas EN 410	Lichttransmission	Schall-dämmmaß
WG1		4 mm Float 2.N33	18 mm Argon	5 mm Float	18 mm Argon	4 mm Float 5.N33	49 mm	0,53 W/(m ² K)	51 %	71 %	34 dB

Zertifikat

Zertifizierte Passivhaus Komponente
für kühl-gemäßigtes Klima, gültig bis 31.12.2014

Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
64283 Darmstadt
GERMANY

Kategorie: **Fensterrahmen**
Hersteller: **Pazen Fenster+Technik GmbH**
54516 Wittlich, GERMANY
Produkt: **ENERSign plus DK CTU**

Folgende Behaglichkeitskriterien wurden für die Zuerkennung des Zertifikates geprüft:

Mit $U_g = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und bei einem Fenstermaß von $1,23 \text{ m} * 1,48 \text{ m}$ ergibt sich:

$$U_w = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Einschließlich der Einbauwärmebrücken erfüllt das Fenster folgende Bedingung, vorausgesetzt der Einbau erfolgt wie im Datenblatt angegeben bzw. thermisch gleich- oder höherwertig.

$$U_{w,\text{eingebaut}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Folgende Kennwerte wurden ermittelt:

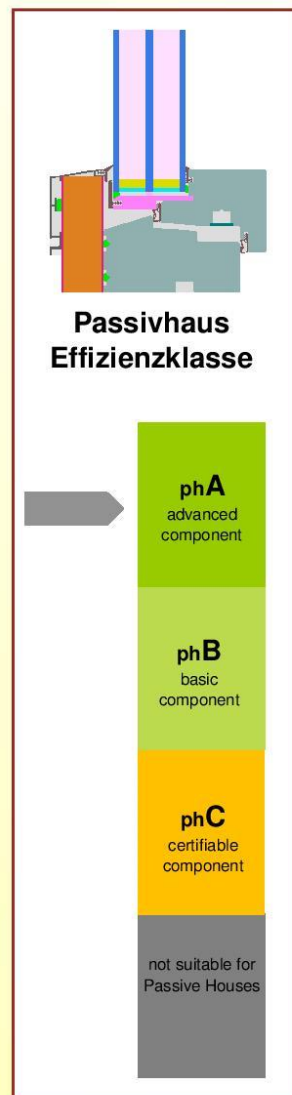
	U_f -Wert [W/(m ² K)]	Breite [mm]	ψ_g [W/(mK)]	$f_{Rsi=0,25}$ [-]
Abstandhalter			Chromatech Ultra PU*	
Unten	0,61	94	0,027	0,74
Seitlich/oben	0,61	94	0,028	

*Thermisch weniger hochwertige Abstandhalter, insbesondere solche aus Aluminium, führen zu höheren Wärmeverlusten am Glasrand und zu geringeren Temperaturfaktoren.

Weitere Informationen siehe Datenblatt

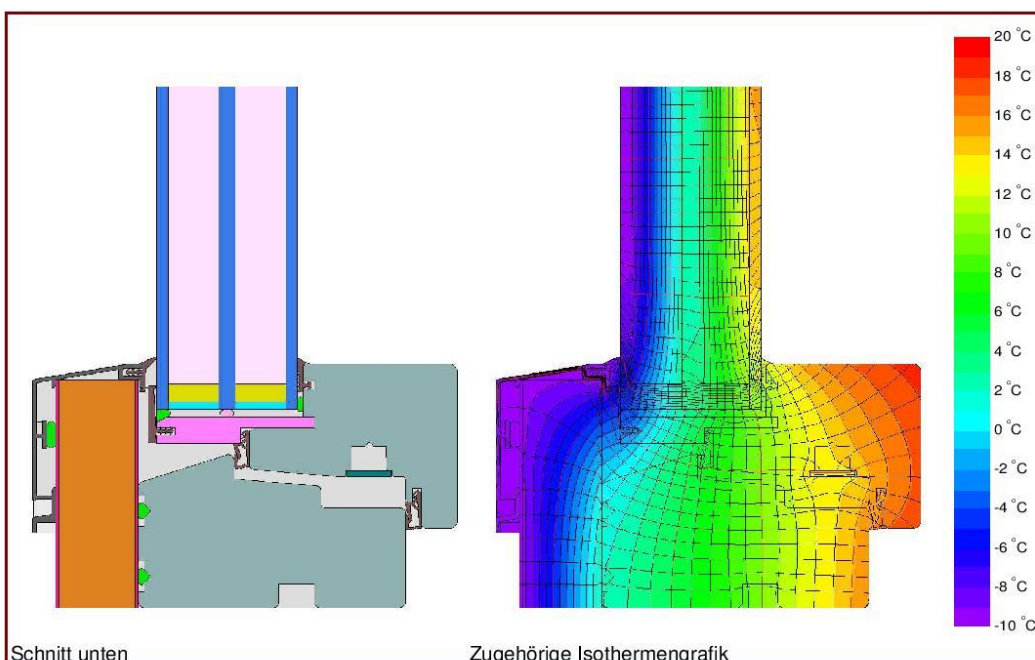
www.passiv.de

0646wi03



Datenblatt Pazen Fenster+Technik GmbH, ENERsign plus DK CTU

Hersteller Pazen Fenster+Technik GmbH
 Dr. Oetker Straße 28, 54516 Wittlich, GERMANY
 Tel.: + 49 (0)6571 95398 0
 E-Mail: info@enersign.com, www.enersign.com

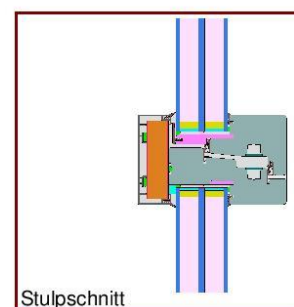


Beschreibung

Holz-Aluminium Integralrahmen (Fichte/Tanne 0,11 W/(mK)) mit Dämmung aus XPS (0,028 W/(mK)). Das Glas wird durch ENERcell (0,06 W/(m²K)) getragen. Abstandhalter: Chromatech Ultra mit PU Sekundärdichtung. Glasstärke: 50 mm (4/18/6/18/4), Glaseinstand: 17,5 mm.

Rahmenkennwerte

	U_f-Wert [W/(m²K)]	Breite [mm]	ψ_g [W/(mK)]	f_{Rsi=0,25} [-]
Abstandhalter	Chromatech Ultra PU*			
Unten	0,61	94	0,027	0,74
Seitlich/oben	0,61	94	0,028	
Stulp	0,69	94	0,027	0,73



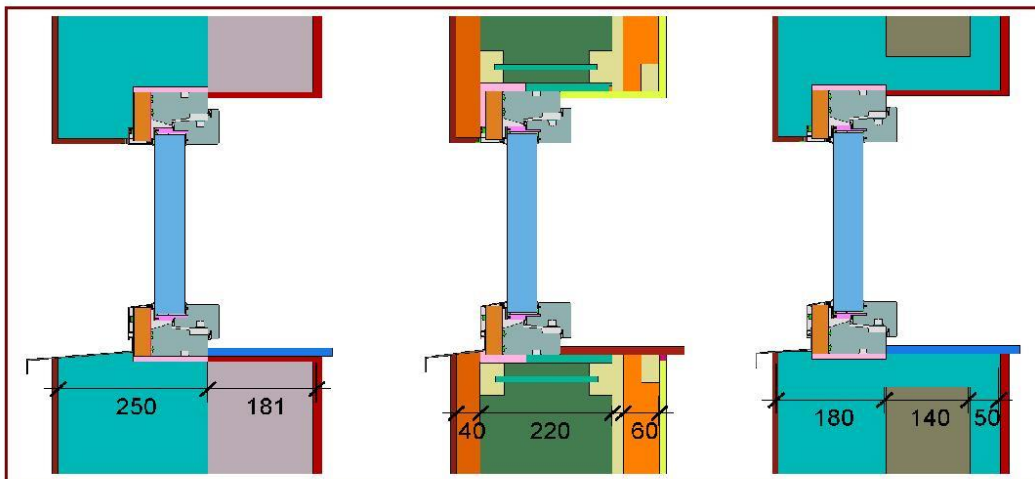
* schlechtere Abstandhalter führen zu höheren Wärmeverlusten und tieferen Glasrandtemperaturen

www.passiv.de

Passivhaus Institut Seite 1/2

Datenblatt Pazen Fenster+Technik GmbH, ENERSign plus DK CTU

Einbausituationen



Einbau-Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ_{Einbau} in Passivhaus geeignete Außenwände

Position		Massivwand mit WDVS	Holz wand	Beton- schalungs- stein
unten	[W/(mK)]	0,010	0,024	0,008
seitlich/oben	[W/(mK)]	-0,002	0,017	0,000
$U_{W,\text{eingebaut}}$	[W/(m ² K)]	0,75	0,80	0,75

Erläuterungen

Die Fenster-U-Werte wurden für die Prüffenstergröße von 1,23 m * 1,48 m bei $U_g = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ berechnet. Werden höherwertige Verglasungen eingesetzt, verbessern sich die Fenster-U-Werte wie folgt:

Glas-U-Wert	U_g [W/(m ² K)]	0,64	0,58	0,52
Fenster-U-Wert	U_w [W/(m ² K)]	0,70	0,66	0,62

Transparente Bauteile werden abhängig von den Wärmeverlusten durch den opaken Teil in Effizienzklassen eingestuft. In diese Wärmeverluste gehen die Rahmen-U-Werte, die Rahmenbreiten, die Glasrand- Ψ -Werte und die Glasrandlängen ein. Zertifikate für arktische Klimate gelten auch in kalten, Zertifikate für kalte auch in kühl-gemäßigten Regionen. Ein ausführlicher Bericht über die im Rahmen der Zertifizierung durchgeführten Berechnungen ist beim Hersteller erhältlich. Weitere Informationen zur Zertifizierung sind unter www.passiv.de und www.passipedia.de verfügbar.

Passivhaustür

Frostkorken

Nachweis

Zertifikat

gültig bis 31.12.2008

**Passivhaus
geeignete
Komponente:** **Haustür**

Hersteller: **OPTIWIN GmbH**

Produktname: **Frostkorken**

Folgende Kriterien wurden für die Zuerkennung des Zertifikates geprüft:

Wärmeverluste der eingebauten Haustür:

Die Tür (Prüfgröße: 1,10 m * 2,20 m) erreicht im eingebauten Zustand einen U-Wert von

$U_{D, eingebaut} \leq 0,73 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

wenn die in der Anlage dokumentierten Einbaudetails der Haustür in Passivhaus designete Wandaufbauten (Wärmedämmverbundsystem, Holzbaufassade und Betonschalungsstein) eingehalten werden. Der angegebene U-Wert enthält die Einbau-Wärmebrücken. Ohne Einbau beträgt der U-Wert 0,72 W/(m²K).

Luftdichtheit:

Auch bei niedrigen Außentemperaturen und unter Sonneneinstrahlung (Prüfklima d und e nach EN 1121) wurde die Luftdichtheitsklasse 3 (bezogen auf die Fugenlänge) nach DIN EN 12207 erreicht:


$Q_{100} \leq 1,2 \text{ m}^3/(\text{hm}) \leq 2,25 \text{ m}^3/(\text{hm})$ bei 100 Pa

Der angegebene Wert wird aufgrund der vorliegenden Messergebnisse erreicht unter den nachfolgend angegebenen Randbedingungen: 1.) Laborbedingungen. 2.) Prüfklima d: Innen 23 °C, 30 % r.F., außen -15 °C. 3.) Prüfklima e: Innen 20-30 °C, außen 50-60 °C durch Strahlung. 4.) Prüfklima c: Innen 23 °C, 30 % r.F., außen 3 °C, 85 % r.F.

Passivhaus spezifische Auflagen:


Die Werte U_D und $U_{D, eingebaut}$ beziehen sich auf eine Tür ohne Verglasung.

Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden:



**Passivhaus
Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt**

**PASSIV
HAUS
geeignete
KOMPONENTE
Dr. Wolfgang Feist**



Haustür:

$U_D = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$Q_{100 \text{ Pa}} \leq 1,2 \text{ m}^3/(\text{hm})$

OPTIWIN
DER FENSTERPAKT

Bijlagen op CD-rom

1. Berekening bouwknopen
2. EPB-bestanden
3. Glaser-berekeningen
4. PHPP-bestanden

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Toepassing van verschillende Europese renovatiecriteria op rijwoningen in Vlaanderen

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,

Claes, Ann

Schoenaerts, Inez

Datum: **30/05/2015**