
Scholen van morgen

Het optimaliseren van de bouwschil

Jordy Cleijman

24 mei 2019, Versie 5.0

Onderzoeksrapport van afstudeeronderzoek

Rapport geschreven voor de opleiding Bouwkunde

HZ University of Applied Sciences te Middelburg

STRABAG te Antwerpen





Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)

Scholen van morgen

Het optimaliseren van de bouwschil

Gegevens auteur

Naam : J.E.T. (Jordy) Cleijman
Opleiding : HBO Bouwkunde
Studentnr. : 00071059
E-mail school : clei0002@hz.nl
E-mail stage : jordy.cleijman@strabag.com
E-mail privé : jordy.cleijman@zeelandnet.nl
Mobiel : +31 6 34 97 87 69

Handtekening ter akkoord

d.d. 24/05/2019

Gegevens stagebedrijf

Naam : STRABAG
Adres : Noorderlaan 139, B - 2030 Antwerpen
Telefoonnr. : +32 3 540 46 50
E-mail : antwerpen@strabag.com

Gegevens bedrijfsbegeleider

Naam : Mevr. L. (Lindsay) Kolijn – de Silva
Functie : Adviseur Bouwfysica & Duurzaamheid
Telefoonnr. : +32 4 93 09 71 61
E-mail : lindsay.desilva@strabag.com

d.d. 24/05/2019

Gegevens school

Naam : HZ University of Applied Sciences
Adres : Het Groene Woud 1 – 3, 4331 NB Middelburg
Telefoonnr. : 0118 – 489 000
E-mail : avti@hz.nl

Gegevens 1^e docentbegeleider

Naam : Dhr. B. (Bernard) Vercouteren – van de Berge
E-mail : bernard.vercouteren@hz.nl

Gegevens 2^e docentbegeleider

Naam : Dhr. T. (Ton) Altena
E-mail : aaltena@hz.nl

Plaats : Antwerpen
Datum : 24 mei 2019
Cursus : CU13739 Bouwkundig Ingenieur
Versie : 5.0

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport 'De scholen van morgen'. Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van afstuderen aan de opleiding HBO Bouwkunde aan de Hogeschool Zeeland University of Applied Sciences te Middelburg. Dit onderzoek is gedurende een half jaar uitgevoerd in samenwerking met STRABAG Belgium.

Allereerst zou ik STRABAG Belgium willen bedanken voor de mogelijkheid om binnen de afdeling Bouwfysica een afstudeeronderzoek te doen. In het bijzonder zou ik graag mijn stagebegeleidster vanuit het bedrijf, Mevr. Lindsay Kolijn de-Silva, willen bedanken voor de goede begeleiding gedurende deze periode en de nuttige vergaderingen om het onderzoek goed bij te sturen. Daarnaast zou ik graag Dhr. Wim Ceulemans willen bedanken voor het bijwonen van de vergaderingen om zo een andere kijk te creëren op het onderzoek. Tevens wil ik ook de teamleider van Bouwfysica, Dhr. Bart van den Bossche, bedanken voor de mogelijkheid voor het onderzoek. Samen is er een onderwerp uitgekozen dat beide partijen begrepen en die veel informatie bevat. Vanuit dat oogpunt ben ik blij u dit onderzoek te kunnen presenteren.

Tot slot zou ik graag mijn docentbegeleider vanuit school, Dhr. Bernard Vercouteren, willen bedanken voor de besprekingen van de diverse deelrapporten en de algemene begeleiding bij het afstuderen. Ook zou ik graag mijn medestudenten Gerald van den Berghen, Roy Brevet, Gijs Koole en andere willen bedanken voor de ontvangen feedback op verschillende deelrapporten en eindproducten. Zonder deze feedback had het onderzoek niet in deze vorm voor u gelegen.

Ik wens u veel leesplezier toe met dit onderzoeksrapport.

J.E.T. (Jordy) Cleijman



Antwerpen, 24 mei 2019

Samenvatting

In de afgelopen paar jaar heeft STRABAG een reeks schoolgebouwen opgeleverd waar kansen blijven liggen om op een vrij eenvoudige manier een nog betere bouwschil te maken. Een betere bouwschil zorgt ervoor dat er beter gepresteerd wordt op de energieprestatieberekening volgens de normering in België. Daarvoor zullen de meest voorkomende problemen met de bouwschil in een reeks opgeleverde schoolgebouwen geïnventariseerd worden. Vervolgens dienen deze gegevens over de bouwschil te worden geanalyseerd en te worden uitgewerkt tot een overzicht van mogelijke standaardoplossingen. Om deze probleemstelling aan te pakken is de volgende hoofdvraag opgesteld.

“Hoe kan het bouwkundige deel van de Energieprestatie (EPB) van nieuw te ontwerpen schoolgebouwen door STRABAG geoptimaliseerd worden aan de hand van een analyse van reeds opgeleverde schoolgebouwen?”

Allereerst is er een analyserend onderzoek gehouden, hierbij is er van vijftien scholen één uitgebreide analyse gemaakt. Hierin zijn de bouwknopen en de U-waarden van de verschillende scholen te zien. Uit deze analyse kwamen zeven scholen naar voren die de meest opvallende waarden hadden. Dit kwam door een hoog aantal aan bouwknopen of door hoge U-waarden in de wanden, vloeren en/ of daken. Van deze zeven overgebleven scholen zijn de details erbij genomen die het meeste voorkwamen bij de bouwknopen. De details gingen dan voornamelijk over de funderingsaanzetten, venster- en deuraansluitingen en de dakaansluitingen. Deze details zijn per school bekeken en getoetst aan de basisregels van de EPB.

Daarnaast is er een descriptief onderzoek gehouden, hierbij zijn de meest opvallende waarden vastgelegd om zo per type detail na te gaan wat eraan kan worden verbeterd. Om deze detaillering aan te kunnen passen, worden er ambities vastgesteld door STRABAG. Hiervoor is eerst gekeken naar de gemiddelde U-waarden van alle schoolgebouwen. Deze waarden zijn daarna met tien procent gedaald om zo de ambitiewaarden vast te stellen. Aan de hand van dit vastgestelde ambitieniveau zijn de details EPB-aanvaard gemaakt en getoetst in het programma Trisco. Daarnaast zijn ook de U-waarden van de isolatie verbeterd per onderdeel van de bouwschil. Als laatste is er ook op vlak van luchtdichtheid gekeken hoe het ambitieniveau behaald kan worden.

Tot slot kan er antwoord worden gegeven op de eerder gestelde hoofdvraag. Om hier een goed antwoord op te geven zijn er nieuwe EPB-berekeningen gemaakt. Door de bouwknopen EPB-aanvaard te maken wordt er gemiddeld 3% gewonnen op het E-peil. Ook bij het verbeteren van de U-waarden wordt er gemiddeld 3% gewonnen op het E-peil. En door de luchtdichtheid volgens de ambitie toe te passen wordt er gemiddeld 6% gewonnen op het E-peil. Als al deze factoren samen worden geoptimaliseerd kan er tot 10% gewonnen worden op het E-peil.

Om ervoor te zorgen dat het onderzoek valide is, is ervoor gekozen om het onderzoek af te bakenen op vijftien schoolgebouwen die in de afgelopen jaren zijn gerealiseerd. Door reeds opgeleverde projecten te analyseren worden er geen verouderde werkmethoden gehanteerd. Hierdoor kunnen er aan projecten en gegevens dezelfde eisen worden gesteld, als aan de nieuwe producten. Tevens kan er een start worden gemaakt met een eventueel vervolgonderzoek. Hierbij kan gedacht worden aan ander type details om uiteindelijk alle bouwknopen uit een project te halen.

Summary

In the past few years, STRABAG Belgium delivered a lot of school buildings where opportunities remain to create an even better façade. A better façade ensures that there is a better score on the energy performance calculation according to the standards in Belgium. For this, the most common problems with the façade in fifteen school buildings will have to be analyzed and be listed in an overview of possible standard solutions. The following main question has been drawn up to solve this problem.

"How can the structural part of the Energy Performance (EPB) of newly designed school buildings be optimized by STRABAG based on an analysis of already completed school buildings?"

First of all, an analytical study was conducted, during this study there were fifteen school buildings which were compared with each other in terms of U-values and thermal bridges. From this analysis there was a selection of seven schools. These schools stood out because of notable U-values in the structure in the walls, floors and/ or roofs. Also, there were some high values in the thermal bridges in the different details of the buildings. These thermal bridges were mainly the details in the foundation, the window connections and the details of the roof. These details have been tested by the rules of the EPB to compare if they can be made EPB-approved.

Secondly, there has also been a descriptive study in which the most extraordinary values have been reported so these thermal bridges can be changed into details. Before the changes can be made, the ambition had to be written down by STRABAG. Therefore, the values of the analysis have been compared to each other to make a realistic ambition. Based on this ambition the details have been made EPB-approved and were tested in the program Trisco. After that the U-values of the insulation has been approved as well as the airtightness of the building.

Finally, an answer can be given to the main question of this study. To provide a good answer to this study, new EPB-calculations were made. These calculations were from three schools that have been analyzed as well. By making the thermal bridges EPB-accepted, the E-peil improved by 3%. By improving the U-values of the insulation, the E-peil also improved by 3%. And by applying the airtightness in accordance with the ambition, the E-peil improved by 6%. When all these factors are combined they improve by a total of 10%

To make sure this study is valid, it has been decided to focus the research on fifteen school buildings that were made in the last couple of years. By analyzing these recent buildings, the work method didn't change a lot, which means that the requirements of the buildings can be the same. Also, this study can be used as a beginning of a new study. In this study they can do a research for more thermal bridges in the school buildings to make them more sustainable.

Begrippen- en afkortingenlijst

Blowerdoortest	- Dit is een test om de luchtdichtheid van een gebouw te bepalen. In de EPB-regelgeving worden van tevoren eisen gesteld, waaraan een gebouw zou moeten voldoen.
Bouwschil	- De bouwschil wordt gezien als de verzamelnaam voor de wand-, vloer- en dakopbouw. Dit is dus de scheiding tussen de verwarmde verblijfsruimte en de buitenlucht en/ of AOR.
E-Peil	- Het E-peil is een maat voor het energieverbruik van een gebouw.
EPB	- Energieprestatie en Binnenklimaat Vanaf 1 januari 2006 moet in Vlaanderen een aanvraag om te bouwen of verbouwen worden ingediend, die aan de EPB-eisen zal moeten voldoen. De energieprestatie van een gebouw drukt uit hoe een gebouw presteert op vlak van energieverbruik, dat afhangt van verschillende factoren zoals de thermische isolatie, de ventilatieverliezen, het rendement van de verwarmingsinstallatie en de warmwaterproductie, enz. (Kwadraad villaprojecten, z.j.)
EPB-aanvaarde bouwknopen	- Dit zijn koudebruggen die voldoen aan één basisregel van EPB.
K-Peil	- Het K-peil is het totale isolatie-peil of het niveau van thermische isolatie van een gebouw.
Lineaire bouwknopen	- Een lineaire bouwknop is een lijnvormige onderbreking van de isolatielaag oftewel de thermische schil.
Luchtdichtheid	- Dit houdt in dat het gebouw zo gebouwd wordt dat er zo goed als geen lucht in of uit het gebouw kan. (Nederlandse encyclopedie, z.j.)
Niet EPB-aanvaarde bouwknopen	- Volledige koudebruggen die niet voldoen aan de basisregels van de EPB.
R-waarde	- De R-waarde is de warmteweerstand van een materiaallaag en wordt uitgedrukt in m^2K/W . Hoe groter de R, hoe groter de weerstand die de warmtedoorgang ondervindt en hoe beter het materiaal isoleert. (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)
Rafter	- Schoolkantine inclusief keuken.
Thermische onderbreking	- Een thermische onderbreking zorgt ervoor dat de koudebrug niet volledig door kan lopen in de constructie. Mocht er een koudebrug lopen, dan weerhoudt de thermische onderbreking de koude lucht om binnen te komen.
U – waarde	- De U-waarde geeft aan hoe een volledige scheidingsconstructie, zoals een wand of een dak, geïsoleerd is. Laat de wand veel warmte door, dan ligt de U-waarde hoog. Is de wand goed geïsoleerd, dan heeft die een lage U-waarde. (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)
λ - waarde	- De λ dawaarde is de warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal en wordt uitgedrukt in W/K . Hoe hoger de λ dawaarde is, hoe slechter het materiaal isoleert.

Inhoudsopgave

Voorwoord	III
Samenvatting.....	IV
Summary	V
Begrippen- en afkortingenlijst.....	VI
1. Inleiding	1
2. Opzet onderzoek	2
2.1 Bronnen	2
2.2 Methoden.....	2
3. Energieprestatie van België.....	3
4. Resultaten.....	5
4.1 De bestaande energieprestatie	5
4.2 Optimalisatie van de bouwschil	7
4.3 Toepassing in de praktijk.....	10
4.4 Toetsing aan de EPB	17
5. Eindconclusie	19
6. Discussie	20
7. Aanbeveling	21
Bibliografie	22
Figuren-, tabellen- en vergelijkingenlijst	23
Figuren.....	23
Tabellen	23
Vergelijkingen.....	23
Bijlagen	24

1. Inleiding

Binnen STRABAG in België worden er veel schoolgebouwen uitgevoerd en opgeleverd. Deze schoolgebouwen worden gebouwd volgens de normen en regelgevingen die gelden binnen België. Tijdens het realiseren van zo'n project wordt er ook naar het gebouw gekeken met het oog op de bouwfysische kant. Tijdens het uitvoeringsproces zijn er in bijna alle uitgevoerde projecten nog koudebruggen aanwezig. Er is dus voor STRABAG de mogelijkheid om de bouwschil van deze gebouwen te optimaliseren en koudebrugvrij te maken.

Als de bouw of verbouw van schoolgebouwen beter wordt uitgevoerd, hebben deze een langere levensduur en minder verouderingsproblemen. Daarom wordt er een onderzoek opgesteld over vijftien schoolgebouwen die in de laatste jaren gerealiseerd zijn. Deze worden geanalyseerd en bekeken waar deze gebouwen geoptimaliseerd kunnen worden. De verbetermogelijkheden kunnen in de toegepaste isolaties liggen, maar er kan ook gekeken worden naar de diverse koudebruggen en de luchtdichtheid van de gebouwen.

Uit de analyse is gebleken dat er in een reeks opgeleverde schoolgebouwen kansen blijven liggen om op een vrij eenvoudige manier een nog betere bouwschil te maken. Een betere bouwschil zorgt ervoor dat er beter gepresteerd wordt op de energiestatistiekberekening volgens de normering in België.

STRABAG streeft ernaar om een overzicht te krijgen van mogelijke optimalisaties in de bouwschil die gunstig zijn voor de resultaten van de energiestatistiek van gebouwen. Daarvoor zullen de meest voorkomende problemen met de bouwschil in een reeks opgeleverde schoolgebouwen geïnventariseerd moeten worden. Vervolgens dienen deze gegevens over de bouwschil te worden geanalyseerd en te worden uitgewerkt tot een overzicht van mogelijke standaardoplossingen.

Dit onderzoek gebeurt aan de hand van één hoofdvraag. Deze luidt als volgt:

“Hoe kan het bouwkundige deel van de Energiestatistiek (EPB) van nieuw te ontwerpen schoolgebouwen door STRABAG geoptimaliseerd worden aan de hand van een analyse van reeds opgeleverde schoolgebouwen?”

Om deze hoofdvraag te beantwoorden worden er deelvragen opgesteld. De deelvragen die benodigd zijn om de hoofdvraag te beantwoorden, staan hieronder beschreven:

1. Wat is de energiestatistiek van de bestaande schoolgebouwen gerealiseerd door STRABAG?
2. Hoe kan STRABAG de bouwschil optimaliseren zodat er beter gescoord kan worden op de EPB?
3. Hoe kan de optimalisatie van de energiestatistiek in de praktijk worden gerealiseerd?

Het onderzoeksrapport bestaat uit diverse hoofdstukken. Zo wordt er in *Hoofdstuk 2 Opzet onderzoek* kort toegelicht welke bronnen er geraadpleegd zijn en komen de onderzoeksmethoden naar boven die toegepast zijn op de verschillende deelvragen die gesteld zijn. Daarna komen in *Hoofdstuk 3 Energiestatistiek van België* de kernbegrippen aan bod die over het gehele onderzoek van belang zijn. Na de algemene hoofdstukken komt *Hoofdstuk 4 Resultaten* aan bod, hierin worden de resultaten van de deelrapportages neergezet op volgorde van uitvoering. Hierin worden stappen toegelicht die nodig waren om het vervolgonderzoek te kunnen voortzetten. Tot slot zijn er de *Hoofdstukken 5 Eindconclusie*, *6 Discussie* en *7 Aanbeveling*, hierin komt de eindconclusie van alle resultaten met uitwerking waarom het onderzoek valide is en de eventuele discussiepunten met aanbevelingen voor een eventueel vervolgonderzoek.

(Scribbr, z.j.)

2. Opzet onderzoek

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bronnen van het onderzoek aangehaald en verder toegelicht. Hierin wordt ook een link aangegeven tussen de onderzoeksmethoden en de deelvragen zodat het onderzoek zelf beter te begrijpen is. Tevens wordt hier even kort ingegaan op de modellen waarop is getoetst.

2.1 Bronnen

De hoofdbron voor het uitwerken van dit rapport was www.energiesparen.be, via deze site staan alle gegevens voor de energieprestatie van België. Via deze bron kon er achterhaald worden aan welke regel- en wetgeving er moest worden voldaan bij nieuw te bouwen schoolgebouwen. Tevens hingen hier ook een aantal begrippen aan vast die in het volgende *Hoofdstuk 3 Energieprestatie van België*, worden toegelicht.

Tevens is er niet alleen een website gebruikt voor dit onderzoek, maar ook de database van STRABAG zelf is meerdere malen gebruikt voor informatie. Omdat het onderzoek voornamelijk over de vijftien reeds opgeleverde schoolgebouwen ging, werd de informatie uit de database van STRABAG gehaald. Aan de hand van de waarden en informatie die verkrijgbaar was, is er een analyse gemaakt van de scholen. Door te weten hoe STRABAG werkt, kon het onderzoek hier op worden aangepast en worden vergeleken.

2.2 Methoden

In dit hoofdstuk wordt per deelvraag uitgelicht welk soort onderzoeksmethode werd gebruikt voor de aanpak van de deelvraag. Hierbij staat een korte omschrijving van de aanpak en hoe deze wordt toegepast. Daarnaast wordt er eerst kort aangegeven hoe de onderzoeksperiode er uit ziet.

Deelvraag 1

“Wat is de energieprestatie van de bestaande schoolgebouwen gerealiseerd door STRABAG?”

Deze deelvraag is beantwoord aan de hand van een analyserend onderzoek. Hiervoor worden de vijftien schoolgebouwen geanalyseerd en opgelijst in tabelvorm. Aan de hand van het beschrijvende onderzoek in deze deelvraag konden de bestaande waarden van de scholen worden toegelicht. Tevens is hier ook onderzocht hoe de normering en regelgeving in België te werk gaat. Dit is ook aan de hand van het beschrijvend onderzoek vastgelegd.

Deelvraag 2

“Hoe kan STRABAG de bouwschil optimaliseren zodat er beter gescoord kan worden op de EPB?”

Door het analyserend en het beschrijvend onderzoek voort te zetten in deze deelvraag, kon er per de aangegeven zeven schoolgebouwen dieper worden ingegaan op de detaillering. Deze details werden geanalyseerd op problemen en eventuele misstappen. Door deze punten goed te beschrijven kan er beter worden ingegaan op de informatie die nodig is om door te gaan naar de volgende deelvraag.

Deelvraag 3

“Hoe kan de optimalisatie van de energieprestatie in de praktijk worden gerealiseerd?”

Aan de hand van de eerder gebruikte onderzoeksmethode is ook deze deelvraag opgelost door middel van een beschrijvend onderzoek. Hier zijn alle uitkomsten van de voorgaande deelvragen in verwerkt en toegepast. In dit rapport is ook gebruik gemaakt van nieuwe programma's die bekend waren in gebruik. Zo is er een EPB-programma gebruikt en het programma Trisco voor de warmtestroom.

3. Energieprestatie van België

De 'Energieprestatie en Binnenklimaat', ook wel de EPB genoemd, is een energienorm waar alle gebouwen in Vlaanderen, waarvoor een stedenbouwkundige vergunning wordt aangevraagd of een melding van wordt gedaan, aan moeten voldoen. De EPB-eisen hangen af van drie punten:

- De bestemming van het gebouw;
- De aard van de werken;
- De datum van de bouwaanvraag.

De energieprestatieregelgeving legt eisen op voor diverse onderdelen binnen een bouwwerk. Zo zijn er eisen voor de isolatie, installaties, ventilatie en eventuele oververhitting. Voor nieuwbouw zijn er onder meer EPB-eisen voor energieprestatie, uitgedrukt in een maximaal E-peil. Hoe lager het E-peil, hoe energiezuiniger het gebouw is.

E-peil

Het behalen van het E-peil is één van de EPB-eisen voor een nieuw gebouw. Het E-peil hangt af van een aantal punten: de thermische isolatie, de luchtdichtheid, de compactheid, de oriëntatie, de bewuste ventilatieverliezen en de vaste installaties. De eis voor de bouwschil hangt af van een paar factoren die zijn weergegeven in *Tabel 1*. Doordat de E-peil eis steeds strenger wordt, worden er ook strengere eisen gesteld aan de bouwschil. Naast het E-peil wordt er in het EPB dus ook gekeken naar een aantal andere punten voor de bouwschil. Deze staan hieronder verder toegelicht.

Tabel 1 Opbouw energieprestatieregelgeving (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

E-peil			
Energieprestatie			Binnenklimaat
Bouwschil		Installaties	Ventilatie
U- en R-waarden		Installatie-eisen	Oververhitting
K-peil	S-peil	Hernieuwbare energietechnieken	
Netto energiebehoefte voor verwarming			

U-waarden

De U-waarde, ook wel de warmtedoorgangscoefficiënt genoemd, geeft aan hoe goed een volledige scheidingsconstructie, zoals een dak of een wand, geïsoleerd is. De U-waarde van een wand hangt dus af van de dikte en de isolatiewaarde [λ -waarde, λ -waarde] van alle materialen waaruit een constructiedeel opgebouwd is. Hoe hoger deze λ -waarde [uitgedrukt in W/mK] is, hoe minder goed het materiaal isoleert. De U-waarde van een materiaal wordt dus ook uitgedrukt in W/m²K.

Bouwknopen

Een bouwknop kan onderverdeeld worden in een lineaire bouwknop of een puntbouwknop. Deze waarden geven aan hoeveel koudebruggen er zijn tussen verschillende onderdelen. Deze twee verschillende types koudebruggen worden hieronder kort toegelicht.

- Lineaire bouwknopen:

Een lineaire bouwknop is een lijnvormige onderbreking van de isolatielaag, ook wel de thermische schil genoemd. De meeste lineaire bouwknopen zijn niet EPB-aanvaard oftewel koudebruggen, maar in sommige gevallen zijn ze wel EPB-aanvaard. Als een bouwknop wordt aanvaard kan dit gebeuren op twee verschillende manieren die te zien zijn in de onderstaande *Tabel 2*.

Tabel 2 Voorwaarden EPB - aanvaarde bouwknopen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)



- Puntbouwknopen

Een puntbouwknop is een puntvormige doorbreking van de isolatielaag van een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak. Het verschil met de lineaire bouwknop is dat de lineaire bouwknopen twee verschillende lengtes heeft per kant, bij een puntbouwknop zijn die lengtes gelijk aan elkaar.

Tijdens het onderzoek is er gebruik gemaakt van modellen die onderzocht worden. Zo is er gekeken naar vijftien verschillende schoolgebouwen verspreid over België. Deze schoolgebouwen staan centraal tijdens dit onderzoek. Hier worden bekende gegevens uit opgehaald en verwerkt zodat deze geoptimaliseerd kunnen worden.

Literatuuronderzoek

Uit het literatuuronderzoek is gebleken welke gegevens er nodig zijn om de EPB te kunnen optimaliseren. Hieruit bleek dat er gekeken kan worden naar bouwknopen, U-waarden en luchtdichting van een gebouw. Aan de hand van deze informatie kon er verder worden gewerkt aan de drie deelvragen. (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

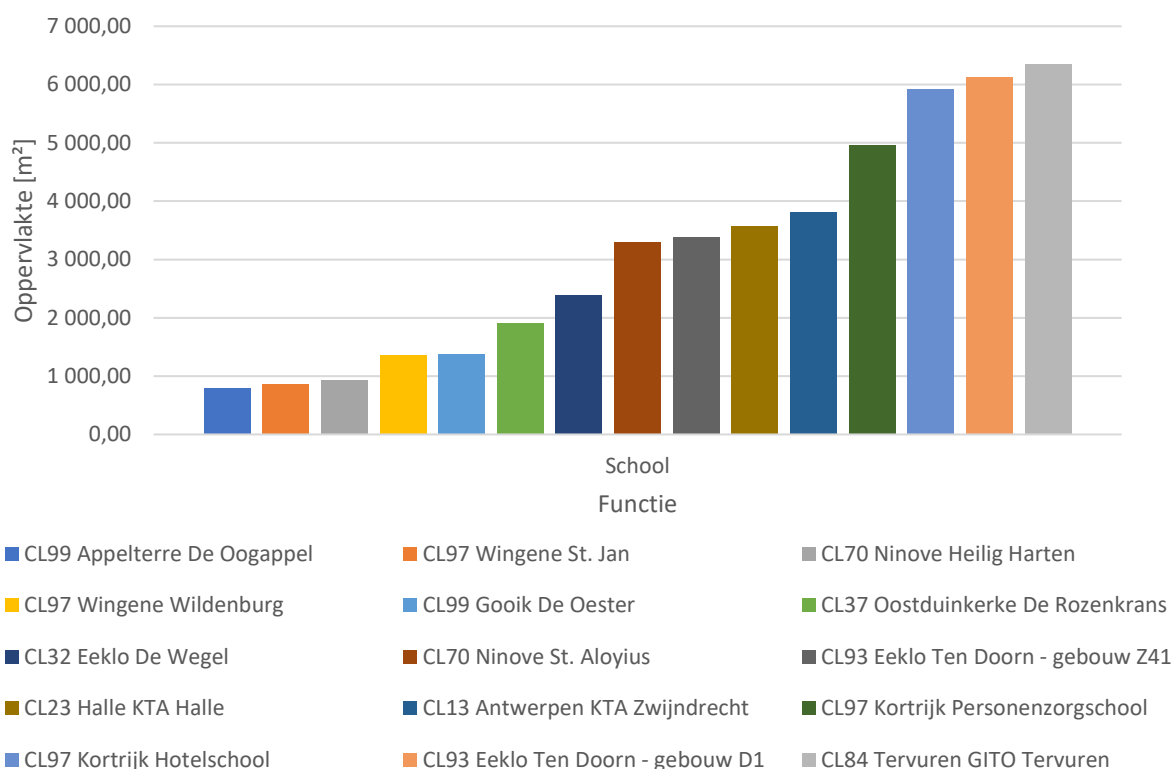
4. Resultaten

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de drie deelvragen die gesteld zijn om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden. Deze worden hieronder kort toegelicht, voor de verdere uitwerking zal binnen dit hoofdstuk verwezen worden naar de bijlagen.

4.1 De bestaande energieprestatie

Om een goed overzicht te krijgen van de bestaande energieprestatie van de reeds opgeleverde schoolgebouwen door STRABAG, is er gekozen om een analyse te maken over vijftien scholen. Deze zijn in overleg bepaald door STRABAG. Het zijn dan ook diverse scholen met diverse technieken verspreid over België. Ook verschillen de scholen veel van oppervlakte zoals te zien is in *Vergelijking 1*.

Vergelijking 1 Oppervlaktes scholen (eigen vergelijking)



Zoals te zien is in *Vergelijking 1* staan de scholen geordend op grootte. Doordat er veel verschil is in oppervlakte zijn de scholen verdeeld in categorieën. Dit om een betere vergelijking te kunnen maken tussen de schoolgebouwen. De categorieën staan hieronder verder toegelicht. (Sanne Verbist, 2019)

Klein (0 – 2.000 m²):

- De Oogappel
- Heilige Harten
- De Oester
- St. Jan
- Wildenburg
- De Rozenkrans

Middel (2.000 – 4.000 m²):

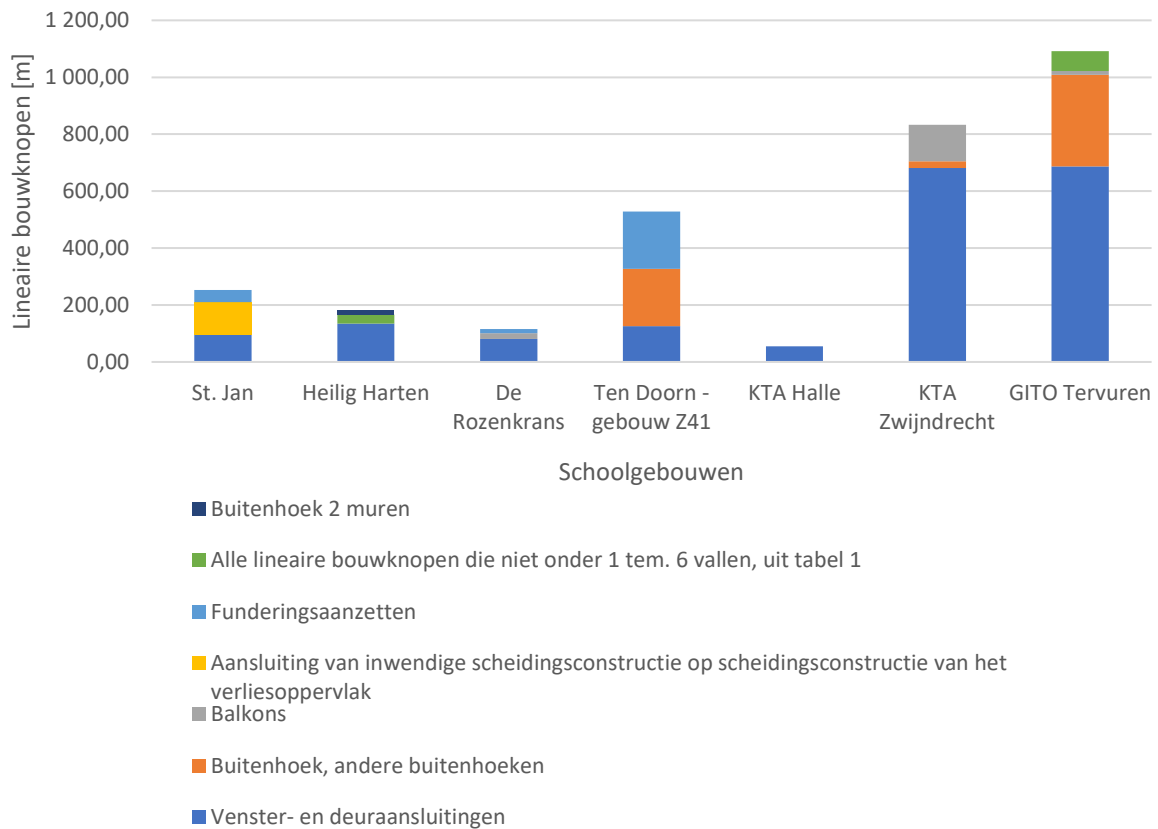
- De Wegel
- Ten Doorn – Gebouw Z41
- KTA Zwijndrecht
- St. Aloyius
- KTA Halle

Groot (4.000 – 7.000 m²):

- Personenzorgschool
- Hotelschool
- Ten Doorn – Gebouw D1
- GITO Tervuren

Door de verdeling te maken in drie verschillende categorieën, kan er een goed onderscheid worden gemaakt en een duidelijke vergelijking tussen de scholen. Zo is er per categorie een vergelijking opgesteld met daarin de diverse soorten bouwknopen en U-waarden per school. De resultaten hiervan zijn te zien in de analysetabel in *Bijlage 02, Deelrapportage 1*. Aan de hand van deze tabel en het rapport is de onderstaande *Vergelijking 2* ontstaan. Hierin staan de zeven scholen met de meest opvallende waarden aan niet EPB-aanvaarde lineaire bouwknopen.

Vergelijking 2 Niet EPB - aanvaarde lineaire bouwknopen van de scholen (eigen vergelijking)



Ook in de bovenstaande vergelijking staan de scholen geordend op grootte. Hier staan dus scholen in die gezien de grootte van het gebouw een relatief hoge waarde aan bouwknopen hebben, maar ook scholen die ondanks een grote oppervlakte toch een zeer lage waarde aan bouwknopen hebben. De volledige uitwerking met verdere toelichting waarom de bouwknopen zo uiteen lopen is te zien in *Bijlage 02, Deelrapportage 1*.

Aan de hand van deze opvallende waarden kon er geconcludeerd worden waar het hoogste aantal bouwknopen zaten. Deze zijn verder onderzocht in de tweede deelrapportage, deze wordt toegelicht in *Hoofdstuk 4.2 Optimalisatie van de bouwschil*.

4.2 Optimalisatie van de bouwschil

Door middel van *Deelrapportage 1* zijn er zeven scholen uit het onderzoek naar voren gekomen met opvallende waarden. Deze scholen worden dus bekeken op detaillering van de bouwknopen en getoetst aan de basisregels en grenswaarden van de EPB. Allereerst zal worden toegelicht wat deze regels precies inhouden alvorens er wordt ingegaan op de detaillering.

Toetsing EPB – aanvaarde bouwknopen

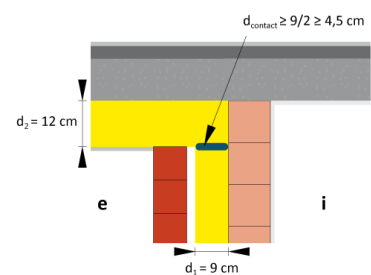
In de EPB zijn er twee verschillende lineaire bouwknopen. Zo zijn er de EPB-aanvaarde bouwknopen, maar ook de niet EPB-aanvaarde bouwknopen. De EPB-aanvaarde bouwknopen worden niet meegenomen in de berekening en gaan dan niet ten koste van het E-peil. Om te bepalen of een detail EPB-aanvaard is, wordt er gekeken naar drie basisregels of naar een grenswaarde. Zodra het detail aan één van deze regels voldoet is het detail goedgekeurd.

Basisregels

De basisregels zijn gebaseerd op het principe van het garanderen van de ‘thermische snede’. Dit betekent dat de isolatielagen van twee aansluitende scheidingsconstructies van het verliesoppervlak steeds continu in elkaar moeten overlopen. De drie basisregels staan hieronder verder toegelicht.

Basisregel 1

Deze basisregel is van toepassing op bouwknopen waar de isolatielagen van de samenkomende scheidingsconstructies rechtstreeks op elkaar kunnen aansluiten, zoals de aansluiting van twee muren of van een hellend dak op een buitenmuur. De minimale contactlengte is afhankelijk van de dikte van de isolatielagen die samenkomen. De contactlengte mag nooit kleiner zijn dan de helft van de kleinste isolatiedikte. Dit is te zien in *Figuur 2*.

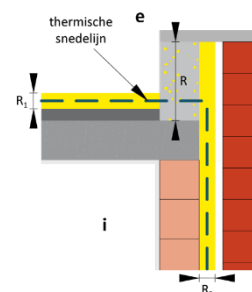


*Figuur 2 Voorbeeld basisregel 1
(Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)*

Bij raam- of deurprofielen met thermische onderbreking wordt niet gewerkt met de algemene formulering van basisregel 1, maar geldt enkel dat de isolatielaag rechtstreeks in contact moet staan met de thermische onderbreking en dit over de volledige breedte van de thermische onderbreking.

Basisregel 2

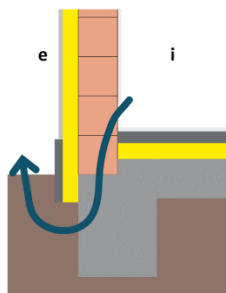
Deze regel is van toepassing op bouwknopen waar de isolatielagen niet rechtstreeks op elkaar aansluiten, maar waar de mogelijkheid bestaat om isolerende delen tussen te voegen. Die isolerende delen nemen plaatselijk de thermisch isolerende functie van de isolatielagen over, waardoor de thermische snede behouden blijft, zoals bij de aansluiting van een plat dak met een buitenmuur. Dit is te zien in *Figuur 3*.



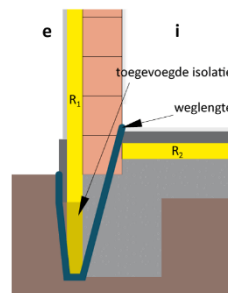
Figuur 3 Voorbeeld basisregel 2 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Basisregel 3

Deze regel is van toepassing op bouwknopen waar de isolatielagen niet rechtstreeks op elkaar aansluiten en het niet mogelijk is om een isolerend deel tussen te voegen. Er blijft dus een verbinding van binnenomgeving naar buitenomgeving. Het detail voldoet aan basisregel 3 als de weg van de bouwknop langer is dan één meter. Dit wordt gemeten zoals te zien is in *Figuur 4*. Mocht deze weg te kort zijn, kan dit nog worden aangepakt zoals te zien is in *Figuur 5*.



*Figuur 4 Voorbeeld basisregel 3
(Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)*



*Figuur 5 Voorbeeld oplossing basisregel 3
(Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)*

Grenswaarde

De Ψ_e , lim-waarde is de grenswaarde van de warmtestroom die door de bouwknop gaat en waarbij de isolatieschil niet onderbroken is. Dit is het warmteverlies dat door de bouwknop gaat ondanks dat alle onderlinge aansluitingen correct zijn uitgevoerd. Wanneer van een bouwknop een Ψ -waarde berekend wordt en deze is kleiner dan de vastgelegde Ψ_e , lim-waarde voor dat bouwknoptype, is de bouwknop EPB-aanvaard. De Ψ_e , lim-waarde is per onderdeel te zien in *Tabel 3*.

Tabel 3 Ψ_e , lim-waarde voor de grenswaarde (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Bouwknoptype	Ψ_e , lim
1a Buitenhoek tussen twee muren	-0,10 W/m. K
1b Andere buitenhoeken	0,00 W/m. K
2 Binnenhoeken	0,15 W/m. K
3 Venster- en deuraansluitingen	0,10 W/m. K
4 Funderingsaanzetten	0,05 W/m. K
5 Balkons en luifels	0,10 W/m. K
6 Aansluitingen van een scheidingsconstructie eenzelfde beschermd volume of tussen twee verschillende beschermde volumes op een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak	0,05 W/m. K
7 Alle knopen die niet vallen onder punt 1 tot en met 6	0,00 W/m. K

Detailering

Voor de verschillende type bouwknopen, is er per school gekeken waar de meeste bouwknopen zich bevinden. Per detail is er een formulier opgesteld met hierin aangevinkt aan welke basisregel deze is getoetst. Tevens zijn de grenswaarden van ieder detail toegevoegd. Ook is er bij elk detail een toelichting gegeven hoe deze al aan de basisregel voldoet of hoe deze zo kan worden aangepast dat het detail alsnog aan de basisregels voldoet. Al deze formulieren zijn terug te vinden in *Bijlage 03, Deelrapportage 2*.

Wat opviel bij de details was dat de meeste problemen bij de venster- en deuraansluitingen en bij de funderingsaanzetten zitten. Deze details kwamen dan ook het vaakst voor. Er zijn verschillende manieren om zo een detail EPB-aanvaard te maken. Deze maatregelen staan ook in *Bijlage 03, Deelrapportage 2* verder toegelicht.

Optimalisatie mogelijkheden

Het optimaliseren van de bouwschil voor STRABAG kan op diverse manieren. Zo kan er geoptimaliseerd worden op vlak van detaillering, de productkeuze en de luchtdichtheid van een gebouw. Deze details kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd en er kunnen verschillende materialen worden toegepast. Dit verschilt per bouwstijl. Voor het optimaliseren van de bouwschil kan er rekening worden gehouden met de onderstaande drie punten:

- De bouwknopen
- De U-waarden
- De luchtdichtheid

Om de bouwschil zo haalbaar mogelijk te optimaliseren is er in samenspraak met STRABAG een ambitieniveau afgesproken. Dit niveau bepaalt welke U-waarden er gehaald willen worden en wat er aan gedaan moet worden om dit niveau ook daadwerkelijk te bereiken. De ambities zijn bepaald aan de hand van de gemiddelde waarden van alle geanalyseerde scholen. Deze waarden zijn per onderdeel apart weergegeven in *Tabel 4*.

Tabel 4 Ambitie diverse onderdelen (eigen tabel)

Onderdeel	Gemiddelde U-waarde [W/m ² . K]	Ambitieniveau [W/m ² . K]
Wanden	0,23	0,20
Vloeren	0,20	0,18
Daken	0,17	0,15
Glas	1,03	± 1,0 (best presterend HR++)
Kozijn + glas	1,49	1,40
Transparante deuren	1,56	1,50
Luchtdichtheid	4,03	V ₅₀ < 2,0 m ³ /h.m ²

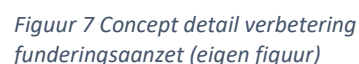
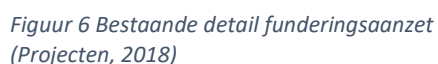
Zoals te zien is in de bovenstaande tabel wordt de ambitie gesteld op ongeveer tien procent verbetering van detaillering/ productkeuze. Doordat de gemiddelde waarden gegenereerd zijn uit vijftien scholen, zullen er ook scholen tussen zitten die al aan het ambitieniveau voldoen. Hoe deze scholen gebouwd zijn zal dus worden doorgetrokken in de toekomst bij de bouw van nieuwe schoolgebouwen. (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Om ervoor te zorgen dat deze ambitiewaarden ook daadwerkelijk worden behaald, is er in het volgende *Hoofdstuk 4.3 Toepassing in de praktijk* beschreven hoe de bouwschil per ambitiepunt kan worden behaald.

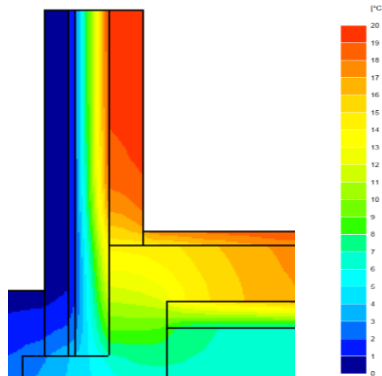
Aan de hand van de ambitie die is vastgesteld in *Deelrapportage 2*, kunnen de bouwknopen, de U-waarden en de luchtdichtheid zodanig worden aangepast dat deze voldoen aan de ambitie die is voorgesteld vanuit STRABAG. In dit hoofdstuk worden dan ook deze drie onderdelen benoemd en verder toegelicht hoe ze dit kunnen verbeteren om het ambitieniveau te behalen. Allereerst zal er gekeken worden naar de optimalisatie van de bouwknopen, daarna naar de U-waarden en tot slot naar de luchtdichting van een gebouw.

Voor het “optimaliseren van de bouwknopen” is er gekeken naar de digitale details die beschikbaar waren van de zeven onderzochte schoolgebouwen. De details worden getoetst aan de hand van de basisregels zoals in het vorige hoofdstuk is omschreven. Aan de hand van die eerder gegeven toelichting zijn de details aangepast en in het programma Trisco geladen om zo de warmtestroom binnen het detail te zien. Hieronder staan een paar voorbeelden van details. De overige detaillering staat omschreven in *Bijlage 04, Deelrapportage 3*.

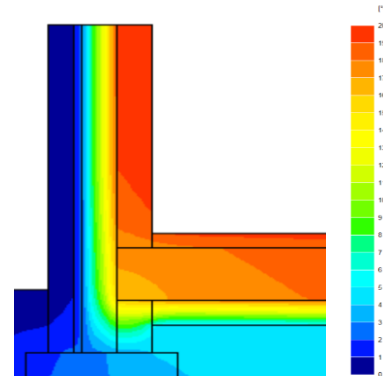
Om de bouwknoop “funderingsaanzetten” te optimaliseren, kan er gebruik worden gemaakt van twee verschillende basisregels. Allereerst kan ervoor gekozen worden om de weg van de minste weerstand toe te passen. Dit houdt in dat de koude lucht een minimale afstand van 1 meter mag overbruggen alvorens het de binnenzijde van het gebouw betreedt. Daarnaast kan er gekozen worden voor een thermische onderbreking in de bouwschil. Op deze manier wordt de thermische snede niet onderbroken. Het toevoegen van een isolerend deel kan zowel boven als onder de vloer worden toegepast. Doordat dit gedeelte ook een dragende functie zal hebben, wordt er gekozen voor een isolerend constructief blok. Dit onderdeel zal een minder goede λ -waarde hebben dan de overige isolerende delen, maar meer dan een dragende constructie. Het verschil van detaillering tussen oud (*Figuur 6*) en nieuw (*Figuur 7*) is goed te zien in de onderstaande figuren.



Hoe de warmtestroom loopt bij een thermische onderbreking als deze onder de vloer geplaatst is, is te zien in *Figuur 9*. Om een duidelijk vergelijking aan te tonen is in *Figuur 8* de oude situatie weergegeven. Het verschil in temperatuur van buiten naar binnen is vanaf 0 graden Celsius tot en met 20 graden Celsius. Hierin is af te lezen dat er geen koudebrug is in de constructie. Tevens is het detail EPB-aanvaard door de thermische onderbreking. In *Bijlage 04, Deelrapportage 3* is ook te zien dat de berekende Psi-waarde van de constructie voldoet aan de Psi max.



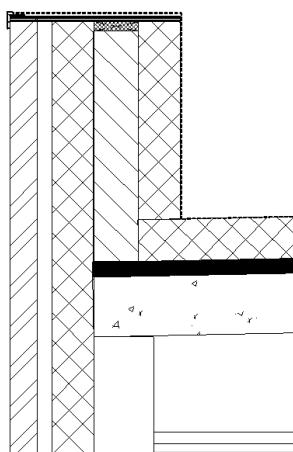
Figuur 8 Warmtestroom bestaande situatie funderingsaanzet (eigen figuur)



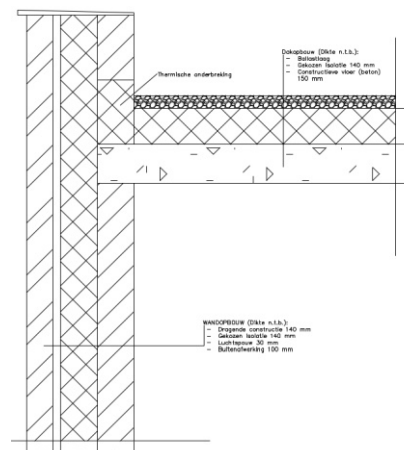
Figuur 9 Voorbeeld warmtestroom in verbeterde funderingsaanzet (eigen figuur)

Dakaansluitingen

Om de bouwknoop “dakaansluitingen” te optimaliseren, kan er eigenlijk gebruik worden gemaakt van maar één basisregel. Dit is het toevoegen van een thermische onderbreking. Doordat bij bijna alle scholen gebruik is gemaakt van een plat dak, wordt ook bij het optimaliseren van de bouwkundige details een plat dak gesimuleerd. Het platte dak kan op diverse manieren worden gerealiseerd, zo kan dit met een betonnen of stalen vloer. Tevens kan de thermische onderbreking ook nog verschillen in materiaal. Er kan net als bij de fundering een isolerende steen worden gekozen, maar er kan ook een houtskeletbouw element worden geplaatst. Het verschil van detaillering tussen oud (*Figuur 10*) en nieuw (*Figuur 11*) is goed te zien in de onderstaande figuren.

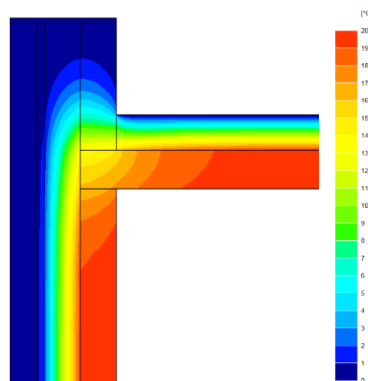


Figuur 10 Bestaande detail dakaansluiting (Projecten, 2018)

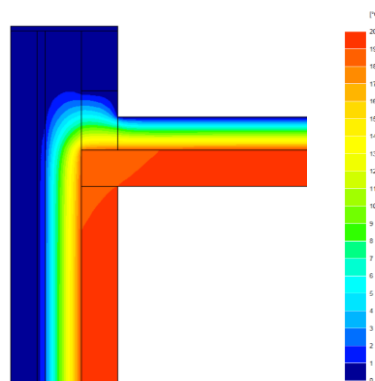


Figuur 11 Concept detail verbetering dakaansluiting (eigen figuur)

In *Figuur 13* is de warmtestroom te zien bij een geoptimaliseerd dakranddetail met een betonvloer en het gebruik van een isoleren constructief deel. Om een duidelijk vergelijking aan te tonen is in *Figuur 12* de oude situatie weergegeven. Het verschil in temperatuur van buiten naar binnen is vanaf 0 graden Celsius tot en met 20 graden Celsius. Hierin is af te lezen dat er geen koudebrug is in de constructie. Tevens is het detail EPB-aanvaard door de thermische onderbreking. In *Bijlage 04, Deelrapportage 3* is ook te zien dat de berekende Psi-waarde van de constructie voldoet aan de Psi max.



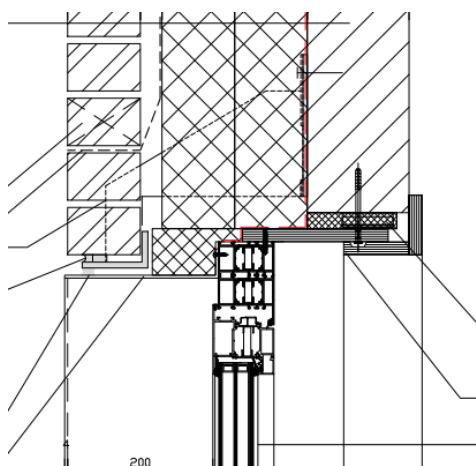
Figuur 12 Warmtestroom bestaande situatie dakaansluiting (eigen figuur)



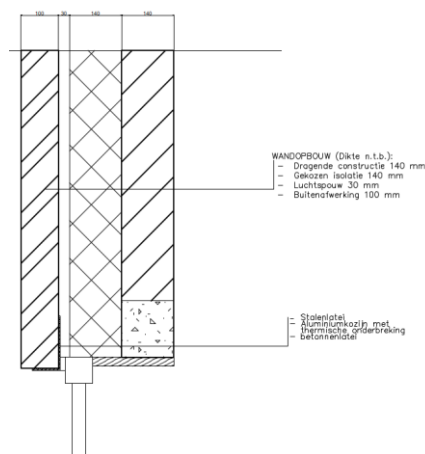
Figuur 13 Voorbeeld warmtestroom in verbeterde dakaansluiting (eigen figuur)

Venster- en deuraansluitingen

Om de bouwknopen “venster- en deuraansluitingen” te optimaliseren, kan alleen basisregel één worden toegepast. Dit komt doordat deze basisregel speciaal is afgestemd op venster- en deuraansluitingen. Bij vensters kunnen er drie mogelijke details ontstaan, zo zijn er de boven-, onder- en zijaansluitingen op de bouwschil. Het verschil van detaillering tussen oud (*Figuur 14*) en nieuw (*Figuur 15*) is goed te zien in de onderstaande figuren.

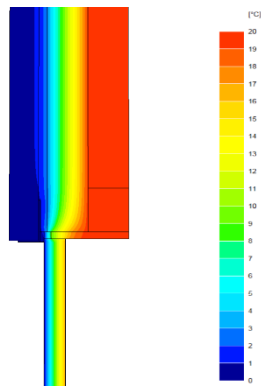


Figuur 14 Bestaande detail vensteraansluiting (Projecten, 2018)

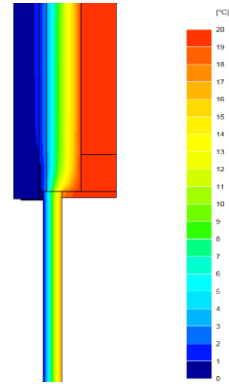


Figuur 15 Concept detail verbetering vensteraansluiting (eigen figuur)

Voor de vensters is hier een voorbeeld gegenereerd, deze zijn te zien in *Figuur 16* en *Figuur 17* op de volgende pagina. Het verschil in temperatuur van buiten naar binnen is vanaf 0 graden Celsius tot en met 20 graden Celsius. Om het detail EPB-aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de wand. In *Bijlage 04, Deelrapportage 3* is ook te zien dat de berekende Psi-waarde van de constructie voldoet aan de Psi max.

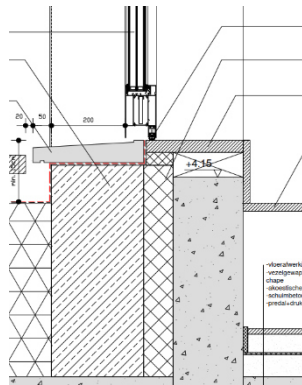


Figuur 16 Warmtestroom bestaande situatie vensteransluiting (eigen figuur)

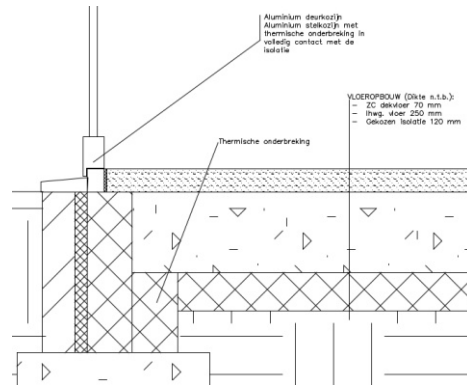


Figuur 17 Voorbeeld warmtestroom in vensteransluiting (eigen figuur)

Dit geldt ook voor een deuraansluiting, alleen is hier de onderdorpel gecompliceerder omdat een dorpel van een deur vaak beloopbaar moet zijn. Voor al deze details geldt de regel dat de thermische onderbreking van het kozijn volledig in contact moet staan met de isolatieschil van de gevel. Door bij sommige details een ander kozijntype te kiezen, kan dit al snel worden gerealiseerd. Het verschil van detaillering tussen oud (Figuur 18) en nieuw (Figuur 19) is goed te zien in de onderstaande figuren.

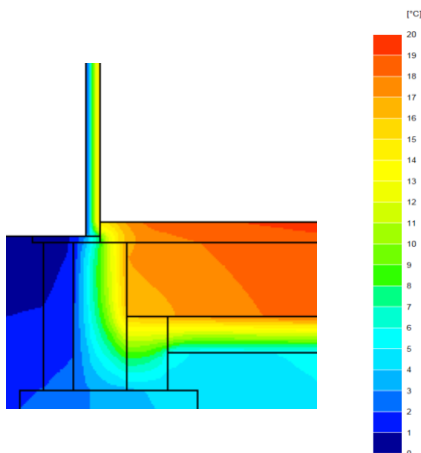


Figuur 18 Bestaande detail deuraansluiting (Projecten, 2018)

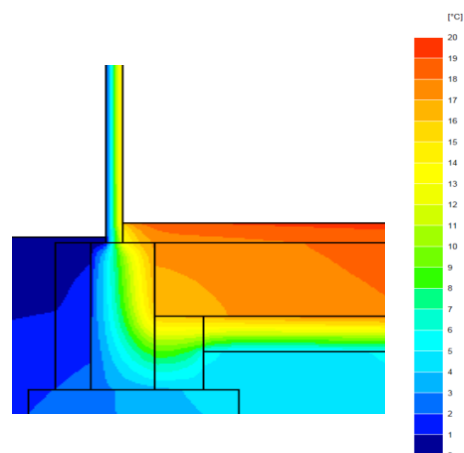


Figuur 19 Concept detail verbetering deuraansluiting (eigen figuur)

Ook voor de deuren is hier een voorbeeld gegenereerd, deze zijn te zien in *Figuur 20* en *Figuur 21*. Het verschil in temperatuur van buiten naar binnen is vanaf 0 graden Celsius tot en met 20 graden Celsius. Om het detail EPB-aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de wand. In *Bijlage 04, Deelrapportage 3* is ook te zien dat de berekende Psi-waarde van de constructie voldoet aan de Psi max.



Figuur 20 Warmtestroom bestaande situatie deuraansluiting (eigen figuur)



Figuur 21 Voorbeeld warmtestroom in deuraansluiting (eigen figuur)

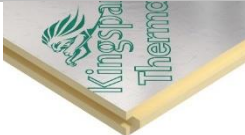
Optimalisatie van de U-waarden en luchtdichting

In dit subhoofdstuk worden de verschillende onderdelen van de bouwschil benoemd, met de daarbij geoptimaliseerde materialen die gebruikt kunnen worden bij het behalen van het ambitieniveau. Bij het optimaliseren van de onderstaande punten komt grotendeels het toegepaste isolatiemateriaal kijken. Dit houdt in dat hier nog in verbeterd kan worden om de U-waarden van de bouwschil zo optimaal mogelijk te krijgen. In *Bijlage 04, Deelrapportage 3* staan de diverse isolatiematerialen die van toepassing kunnen zijn bij wanden, vloeren en daken. Hierin is gekeken naar de lambdawaarden van de verschillende types isolatie, dit zodat de ambitiewaarden goed te behalen vallen.

Wanden

Uit *Deelrapportage 2* is een lijst met drie mogelijke isolatiewaarden voor de wanden weerhouden, die de ambitiewaarden goed zouden behalen. Deze zijn te zien in *Tabel 5*.

Tabel 5 Types wandisolatie (eigen tabel)

Type	Fabrikant	Afbeelding	Lambdawaarden [W/mK]	Richtprijs per m ²
Therma TW50	Kingspan		0,022	€ 60,00
Kooltherm K8	Kingspan		0,020	€ 41,00
Kooltherm K108	Kingspan		0,018	€ 42,00

Zoals te zien is in de bovenstaande tabel is er drie keer gekozen voor een isolatieplaat van Kingspan. Dit komt doordat deze PIR-isolatie een hoogwaardig product is waarmee je met een relatief dunne isolatieplaat een hoge isolatiewaarde kan behalen. Door deze techniek te gebruiken zorgt het er wel voor dat de isolatieplaten een stuk duurder zijn, maar dit scheelt weer in het ontwerp van het gebouw qua ruimte.

Vloeren

Uit *Deelrapportage 2* is een lijst met drie mogelijke isolatiewaarden voor de vloeren weerhouden, die de ambitiewaarden goed zouden behalen. Deze zijn te zien in *Tabel 6*.

Tabel 6 Types vloerisolatie (eigen tabel)

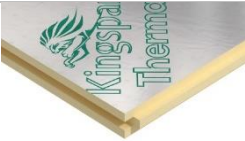
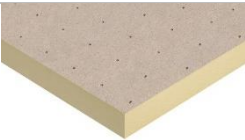
Type	Fabrikant	Afbeelding	Lambdawaarden [W/mK]	Richtprijs per m ²
Therma TF70	Kingspan		0,022	€ 52,00
Kooltherm K3	Kingspan		0,020	€ 41,00
Solidek HL	Kingspan		0,029	€ 18,00

Ook bij de vloeren is te zien dat alle isolatiematerialen van de fabrikant Kingspan zijn, echter zijn hier niet alle isolatiematerialen van PIR. Er zijn twee types van PIR en één van EPS. Het verschil tussen deze twee varianten is duidelijk te zien in de lambdawaarden en in de richtprijs die is aangegeven.

Daken

Uit *Deelrapportage 2* is een lijst met drie mogelijke isolatiewaarden voor de daken weerhouden, die de ambitiewaarden goed zouden behalen. Deze zijn te zien in *Tabel 7*.

Tabel 7 Types dakisolatie (eigen tabel)

Type	Fabrikant	Afbeelding	Lambdawaarden [W/mK]	Richtprijs per m ²
TP 138	Knauf		0,032	€ 17,00
Therma Hellend dak	Kingspan		0,022	€ 55,00
Therma Plat dak	Kingspan		0,025	€ 62,00

Zoals in de bovenstaande tabel te zien is, is er hier gebruik gemaakt van twee fabrikanten. Zo is er voor de PIR-isolatiematerialen de fabrikant Kingspan en voor de glaswol isolatie, de fabrikant Knauf. Net als bij de vloeren is ook bij de daken een groot verschil te zien in de lambdawaarden en de richtprijzen. Tevens is hier een onderscheid gemaakt in platte en hellende daken. Binnen deze categorieën zijn er meer verschillende soorten alleen de lambdawaarden komen overeen met elkaar.

(Kingspan, z.j.) (Knauf, z.j.)

Glas

Het ambitieniveau voor glas was gezet op het best presterende HR++ glas, dit ligt rond de $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. HR glas, ook wel hoog rendementsglas genoemd. De plusjes achter HR staan voor het isolatievermogen van het glas. Hoe meer plusjes, hoe beter het glas isoleert. Het gebruik van dubbelglas houdt in dat er verschillende lagen glas aan elkaar worden gemaakt en tussen deze twee lagen wordt een speciaal edelgas gespoten. Dit om de isolatiewaarde zo hoog mogelijk te maken en de U-waarden zo laag mogelijk te houden. (Te zien op *Figuur 22*) (HR glas, z.j.)



Figuur 22 HR++ glas (HR glas, z.j.)

Het HR++ glas is het beste dubbelglas dat verkrijgbaar is, na dit type wordt er een overgang gemaakt naar het tripleglas dat ook een stuk duurder is. De U-waarden van het HR++ glas liggen tussen de $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ en de $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Deze twee waarden zijn beide onbehandeld dus op het glas kan er ook nog een speciale coating worden aangebracht om de U-waarden nog beter te laten uitkomen. Maar tot nu toe is de U-waarde al behaald door het HR++ glas toe te passen. (Joost de Vree, z.j.)

Luchtdichting

Als luchtdichtheid van een gebouw is een ambitiewaarde van $V_{50} = < 2,0 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ voorop gesteld. De gemiddelde V_{50} waarden van de geanalyseerde scholen ligt op $4,03 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. Binnen het luchtdicht bouwen zijn er verschillende mogelijkheden om een gebouw luchtdicht te bouwen. In *Bijlage 04, Deelrapportage 3* staan een aantal voorbeelden met diverse leveranciers, uit onder andere het Vario-systeem, hoe en op welke manier een gebouw luchtdicht gemaakt kan worden. Er wordt veel gebruik gemaakt van folies en verschillende tapes of soorten kit. Tevens kan er ook een soort luchtdichte verf worden verwerkt zoals te zien is in *Figuur 23*. (Isover, z.j.) (Blowerproof, z.j.) (Soudal, z.j.)



Figuur 23 Voorbeeld luchtdichte verf (Blowerproof, z.j.)

De meting van de luchtdichtheid van een gebouw gebeurt aan de hand van een 'blower-doortest'. Dit houdt in dat alle ramen, buitendeuren en andere wanddoorbrekingen van een gebouw gesloten worden. Daarna wordt er aan de hand van een ventilator een drukverschil van 50 Pascal (Pa) tussen de binnen- en buitenkant van het gebouw gecreëerd. Zo'n ventilator is te zien in *Figuur 24*. Om daarna de waarde van de luchtdichtheid van het gebouw te meten wordt er nagegaan hoe het drukverschil op peil gehouden kan worden.



Figuur 24 Ventilator blower-doortest (Isover, z.j.)

4.4 Toetsing aan de EPB

Om te bepalen of er inderdaad een optimalisatie is bekomen door de verschillende veranderingen van materialen en manier van bouwen wordt er teruggerepen naar de EPB-files. Van drie scholen die reeds onderzocht zijn, zijn de EPB-eindverklaringen ingevuld met de werkelijke situatie van de nieuwbouw. Om een goede vergelijking te maken, worden de bouwschil onderdelen per onderdeel toegevoegd om te kijken op welk vlak de meeste winst te behalen valt. Zo wordt de bestaande situatie eerst vergeleken met de oplossing van de bouwknopen, daarna met de optimalisatie van de U-waarden en tot slot met de optimalisatie van de luchtdichting. Hieronder staan de drie gegeven scholen met de eindverklaring en de veranderde waarden aan de hand van de optimalisaties. Eerst staan de waarden van de optimalisatie apart vermeld zodat duidelijk te zien is op welk vlak de bouwschil het meest is verbeterd, daarna is een duidelijk eindresultaat van alle optimalisaties op gelijst.

De Oogappel

Het project CL99 De Oogappel (te zien in *Figuur 25*) is een nieuwbouwproject te Appelterre uit het jaar 2016 en is ontworpen door een architectenassociatie. De Oogappel is een basisschool met sporthal en heeft een totale omvang van 1.153 m².

Deze school viel in *Deelvraag 1* onder de kleine scholen. Deze school is gekozen om de vergelijking te zien tussen oud en nieuw. Dit omdat er op deze school veel winst te behalen valt in verband met luchtdichting. In *Tabel 8* staan de verschillende optimalisaties per onderwerp beschreven met hierbij de daling in E-peil punten.



Figuur 25 CL99 De Oogappel (Projecten, 2018)

Tabel 8 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Oogappel (eigen tabel)

	E-peil	Percentage verbetering	K-peil	Percentage verbetering
Originele waarden	E 54	100%	K 24	100%
Optimalisatie bouwknopen	E 53	98%	K 23	96%
Optimalisatie U-waarden	E 53	98%	K 23	96%
Optimalisatie luchtdichting	E 51	94%	K 24	100%
Alle optimalisaties samen	E 49	91%	K 22	92%

De Wegel

Het project CL32 De Wegel (te zien in *Figuur 26*) is een nieuwbouwproject te Eeklo uit het jaar 2015 en is ontworpen door THV KROS. De Wegel is een basisschool met in pandige sporthal en heeft een totale omvang van 3.240 m².



Figuur 26 CL32 De Wegel (Projecten, 2018)

Deze school viel in *Deelvraag 1* onder de middelgrote scholen. Deze school is gekozen om de vergelijking te zien tussen oud en nieuw. Dit omdat er op deze school veel winst te behalen valt in verband met de optimalisatie van bouwknopen. In *Tabel 9* staan de verschillende optimalisaties per onderwerp beschreven met hierbij de daling in E-peil punten.

Tabel 9 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Wegel (eigen tabel)

	E-peil	Percentage verbetering	K-peil	Percentage verbetering
Originele waarden	E 63	100%	K 28	100%
Optimalisatie bouwknopen	E 60	95%	K 25	89%
Optimalisatie U-waarden	E 61	97%	K 24	86%
Optimalisatie luchtdichting	E 60	95%	K 28	100%
Alle optimalisaties samen	E 56	89%	K 21	75%

GITO Tervuren

Het project CL84 GITO Tervuren (te zien in *Figuur 27*) is een nieuwbouwproject te Tervuren uit het jaar 2017 en is ontworpen door Stéphane Beel Architecten. Dit gebouw is een school voor middelbaar onderwijs en heeft een totale omvang van 8.099 m². In deze totale oppervlakte zitten drie functies namelijk de schoolfunctie, sportfunctie en refterfunctie.



Figuur 27 CL84 GITO Tervuren (Projecten, 2018)

Deze school viel in *Deelvraag 1* onder de middelgrote scholen. Deze school is gekozen om de vergelijking te zien tussen oud en nieuw.

Dit omdat er op deze school veel winst te behalen valt in verband met de optimalisatie van bouwknopen. In *Tabel 10* staan de verschillende optimalisaties per onderwerp beschreven met hierbij de daling in E-peil punten.

Tabel 10 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, GITO Tervuren (eigen tabel)

	E-peil	Percentage verbetering	K-peil	Percentage verbetering
Originele waarden	E 56	100%	K 25	100%
Optimalisatie bouwknopen	E 55	98%	K 24	96%
Optimalisatie U-waarden	E 53	95%	K 21	84%
Optimalisatie luchtdichting	E 54	96%	K 25	100%
Alle optimalisaties samen	E 50	89%	K 20	80%

5. Eindconclusie

Gedurende het onderzoek is er antwoord gezocht op de hoofdvraag: “Hoe kan het bouwkundige deel van de Energieprestatie (EPB) van nieuw te ontwerpen schoolgebouwen door STRABAG geoptimaliseerd worden aan de hand van een analyse van reeds opgeleverde schoolgebouwen?”

Om deze vraag te beantwoorden is er antwoord gegeven op de eerder genoemde deelvragen.

Allereerst is er een afbakening gemaakt van vijftien schoolgebouwen die gerealiseerd zijn door STRABAG in de afgelopen jaren. De schoolgebouwen zijn geselecteerd op variatie, dit wil zeggen dat de scholen van elkaar verschillen. Het verschil tussen de schoolgebouwen is terug te zien in de grootte van de gebouwen, de functies en de bouwstijl. Van deze vijftien scholen is een uitgebreide analyse gemaakt, hierin zijn de bouwknopen en de U-waarden van de verschillende scholen te zien. Uit deze analyse zijn zeven scholen naar voren gekomen met de meest opvallende waarden. Dit kwam door een hoog aantal aan bouwknopen of door hoge U-waarden in de wanden, vloeren en/ of daken.

Bij deze zeven overgebleven scholen is er onderzoek gedaan naar de manier van bouwen en hoe het mogelijk is dat bij deze scholen meer bouwknopen aanwezig zijn dan bij de andere reeds opgeleverde schoolgebouwen. Hiervoor zijn de details opgezocht die het meeste voorkwamen bij de bouwknopen. De details gingen voornamelijk over de funderingsaanzetten, venster- en deuraansluitingen en de dakaansluitingen. Deze details zijn per school bekeken en getoetst aan de basisregels van de EPB. Dit houdt in dat elk detail naast een drietal eisen zijn gelegd om te toetsen hoe een bouwknop eventueel EPB-aanvaard kan worden gemaakt. Door een detail EPB-aanvaard te maken wordt dit geen bouwknop meer en kost dit ook geen E-peil punten meer in de EPB.

Om deze detaillering aan te kunnen passen worden er ambities vastgesteld die aan de hand van de eerder gemaakte analyse zijn gemaakt. Om de ambitie vanuit STRABAG vast te leggen, is er eerst onderzoek gedaan naar de gemiddelde U-waarden van alle schoolgebouwen. Deze waarden zijn daarna met tien procent gedaald om zo de ambitiewaarden vast te stellen.

Aan de hand van dit vastgestelde ambitieniveau zijn de details EPB-aanvaard gemaakt en getoetst in het programma Trisco. Aan de hand van dit programma is de warmtestroom te zien in een detail. Daarnaast zijn ook de U-waarden van de isolatie verbeterd per onderdeel van de bouwschil. Bij de isolatie is PIR het beste uit het onderzoek gekomen, dit komt doordat het materiaal gebruiksvriendelijk is en een goede lambdawaarde heeft. Als laatste is er ook op vlak van luchtdichtheid onderzoek gedaan naar hoe het ambitieniveau behaald kan worden. Dit kan door luchtdichte folies en tapes toe te passen. Hier zijn verschillende varianten en werkmethodes in die bij allerlei soorten details kunnen worden toegepast.

Tot slot kan er antwoord worden gegeven op de eerder gestelde hoofdvraag. Om hier een goed antwoord op te geven zijn er nieuwe EPB-berekeningen gemaakt. Deze zijn uitgevoerd op drie schoolgebouwen die mee waren genomen in de analyse, waaraan veel verbeterd kon worden. Door de bouwknopen EPB-aanvaard te maken wordt er gemiddeld 3% gewonnen op het E-peil en 6% op het K-peil. Ook bij het verbeteren van de U-waarden wordt er gemiddeld 3% gewonnen op het E-peil en 11% op het K-peil. En door de luchtdichtheid volgens de ambitie toe te passen wordt er gemiddeld 6% gewonnen op het E-peil en 0% op het K-peil. Als al deze factoren samen worden geoptimaliseerd kan er tot 10% gewonnen worden op het E-peil en 18% op het K-peil.

6. Discussie

Om ervoor te zorgen dat het onderzoek valide is, is ervoor gekozen om het onderzoek te focussen op vijftien schoolgebouwen die in de afgelopen jaren zijn gerealiseerd. Door reeds opgeleverde projecten te analyseren worden er geen verouderde werkmethoden gehanteerd. Hierdoor kunnen er aan projecten en gegevens dezelfde eisen worden gesteld, als aan de nieuwe producten.

Vóór het onderzoek was er de gedachte dat de bouwschil makkelijk geoptimaliseerd kon worden. De vraag was alleen hoe. Aan de hand van dit onderzoek is het inderdaad gebleken dat er op veel punten nog veel winst te behalen valt in optimalisatie. Door de resultaten van het onderzoek ook daadwerkelijk toe te passen op eerder gerealiseerde schoolgebouwen werd het duidelijk hoeveel E-peil punten er nog te behalen vallen. Ook kan dit toegepast worden op meerdere schoolgebouwen. Voor dit onderzoek zijn er wegens tijdsgebrek maar drie scholen opnieuw uitgewerkt. Deze kwamen alle drie met een positief resultaat, maar als de resultaten over meerdere scholen bekend zijn, kan er een betere conclusie worden getrokken.

Doordat de analyse van de gebouwen veel tijd in beslag nam, is de focus bij *Deelvraag 3* op de drie meest voorkomende types details gegaan. Dit was gedaan omdat deze de meeste invloed hadden op de EPB. Mocht er meer tijd zijn kan dit worden uitgebreid naar meerdere bouwknoottypes. Als er meerdere bouwknopen worden opgelost, wint STRABAG nog meer E-peil punten en worden de scholen duurzamer. Dit zou eventueel als een vervolg onderzoek kunnen dienen.

7. Aanbeveling

In dit hoofdstuk, worden een paar aanbevelingen genoemd voor STRABAG. Hiermee kan het onderzoek eventueel worden vervolgd of het onderzoek kan toegepast worden waardoor gebreken in het optimaliseren van de bouwschil kunnen worden voorkomen.

Detaillering

Allereerst kan er meer gefocust worden op de detaillering van de venster- en deuraansluitingen, de funderingsaansluitingen en de dakaansluitingen. Zoals te zien is in het onderzoeksrapport wordt alleen door deze drie grote partijen al veel winst gemaakt op het E-peil. Tevens kan dit ook als voorbeeld worden gebruikt om andere details op dezelfde manier toe te passen en EPB-aanvaard te maken.

U-waarden

Ook kan de focus meer op het gebruik van de materialen liggen zoals in het onderzoek is aangetoond als de optimalisatie van de U-waarden. Als er voor de bouwschil een beter type isolatie wordt gekozen in combinatie met de eerder genoemde detaillering worden hier veel E-peil punten gewonnen.

Luchtdichting

Tevens kan er ook meer de nadruk worden gelegd op de luchtdichtheid van een gebouw. In de EPB-berekening is te zien dat deze een grote verandering maakt in het E-peil. Door bij iedere nieuw te bouwen school meer luchtdichte materialen toe te passen wordt een schoolgebouw al snel duurzamer.

Combinatie met installaties

Tot slot kan er ook onderzoek worden gedaan naar duurzamere installaties binnen een gebouw. Doordat medestudent Sanne Verbist over dezelfde schoolgebouwen een onderzoek deed naar duurzaam verwarmen van schoolgebouwen, is er ook een combinatie van het E-peil gevormd om zo aan te tonen dat een combinatie ideaal is. Dit is goed te zien in de onderstaande *Tabel 11*.

Tabel 11 Combinatie verbetering installaties en bouwschil (Sanne Verbist, 2019)

E-peilscores	De Oogappel	De Wegel	GITO Tervuren
Oude score	E 54	E 63	E 56
Score bouwschil	E 49	E 56	E 50
Score installaties	E 33	E 46	E 50
Totaal nieuwe score	E 30	E 38	E 44
Percentage verbetering	44%	40%	21%

Bibliografie

- Blowerproof. (z.j.). *Producten*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van blowerproof.be:
<https://www.blowerproof.be/nl>
- Bollaert, S. (2015). Nieuwbouw Zorgcampus. *Verpleegsterschool*. STRABAG, Genk. Opgeroepen op februari 5, 2019, van
https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=24AAA50DAFFD63B8C12580880066021E&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Grobet, T. (2014). Masterplan vol vernieuwingen. *GO! School*. STRABAG, Ninove. Opgeroepen op februari 5, 2019, van
https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=C278EFFBFC40FE09C12580880065FD48&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Het Vlaams Energieagentschap. (z.j.). *EPB - aanvaarde bouwknopen*. Opgeroepen op april 04, 2019, van [energiesparen.be](https://www.energiesparen.be): <https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/gebouw/bouwknopen/epb-aanvaarde-bouwknopen>
- HR glas. (z.j.). Opgeroepen op mei 1, 2019, van hoogrendementsglas-info.be:
www.hoogrendementsglas-info.be/wat-is-hr-glas.html
- Isover (Red.). (z.j.). *Luchtdicht bouwen*. Opgeroepen op april 30, 2019, van Isover:
<https://iedereenben.be/documenten/Luchtdicht-bouwen.pdf>
- Joost de Vree. (z.j.). *dubbelglas*. Opgeroepen op mei 1, 2019, van joostdevree.nl:
<http://www.joostdevree.nl/shtmls/dubbelglas.shtml>
- Kingspan. (z.j.). *Isolatie assortiment*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van kinspan.com:
<https://www.kingspan.com/blx/nl-be/producten/isolatie>
- Knauf. (z.j.). *Glaswol*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van [knauf.be](http://www.knauf.be): <https://www.knauf.be/nl>
- Kwadraad villaprojecten. (z.j.). *Definitie EPB*. Opgeroepen op April 03, 2019, van [encyclo.nl](http://www.encyclo.nl):
<http://www.encyclo.nl/lokaal/10375>
- Nederlandse encyclopedie. (z.j.). *begrip*. Opgeroepen op april 25, 2019, van [encyclo.nl](http://www.encyclo.nl):
<https://www.encyclo.nl/begrip/>
- Projecten*. (2018). Opgeroepen op april 02, 2019, van [scholenvanmorgen.be](http://www.scholenvanmorgen.be):
<https://www.scholenvanmorgen.be/projecten>
- Sanne Verbist. (2019). *Kiezen voor een duurzame school*. Antwerpen.
- Scribbr. (z.j.). *Scriptie structuur*. Opgeroepen op april 29, 2019, van [scribbr.nl](http://www.scribbr.nl):
<https://www.scribbr.nl/category/scriptie-structuur/>
- Soudal. (z.j.). *Producten*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van [soudalluchtdicht.be](http://www.soudalluchtdicht.be):
<http://www.soudalluchtdicht.be/>
- Vlaams Energieagentschap. (z.j.). *Bouwen en verbouwen*. Opgeroepen op februari 21, 2019, van [energiesparen.be](https://www.energiesparen.be): <https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen>

Figuren-, tabellen- en vergelijkingenlijst

Figuren

Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)	II
Figuur 2 Voorbeeld basisregel 1 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	7
Figuur 3 Voorbeeld basisregel 2 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	7
Figuur 4 Voorbeeld basisregel 3 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	8
Figuur 5 Voorbeeld oplossing basisregel 3 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	8
Figuur 6 Bestaande detail funderingsaanzet (Projecten, 2018)	10
Figuur 7 Concept detail verbetering funderingsaanzet (eigen figuur)	10
Figuur 8 Warmtestroom bestaande situatie funderingsaanzet (eigen figuur)	11
Figuur 9 Voorbeeld warmtestroom in verbeterde funderingsaanzet (eigen figuur)	11
Figuur 10 Bestaande detail dakaansluiting (Projecten, 2018)	11
Figuur 11 Concept detail verbetering dakaansluiting (eigen figuur)	11
Figuur 12 Warmtestroom bestaande situatie dakaansluiting (eigen figuur)	12
Figuur 13 Voorbeeld warmtestroom in verbeterde dakaansluiting (eigen figuur)	12
Figuur 14 Bestaande detail vensteraansluiting (Projecten, 2018)	12
Figuur 15 Concept detail verbetering vensteraansluiting (eigen figuur)	12
Figuur 16 Warmtestroom bestaande situatie vensteraansluiting (eigen figuur)	13
Figuur 17 Voorbeeld warmtestroom in vensteraansluiting (eigen figuur)	13
Figuur 18 Bestaande detail deuraansluiting (Projecten, 2018)	13
Figuur 19 Concept detail verbetering deuraansluiting (eigen figuur)	13
Figuur 20 Warmtestroom bestaande situatie deuraansluiting (eigen figuur)	13
Figuur 21 Voorbeeld warmtestroom in deuraansluiting (eigen figuur)	13
Figuur 22 HR++ glas (HR glas, z.j.)	16
Figuur 23 Voorbeeld luchtdichte verf (Blowerproof, z.j.)	16
Figuur 24 Ventilator blower-doortest (Isover, z.j.)	16
Figuur 25 CL99 De Oogappel (Projecten, 2018)	17
Figuur 26 CL32 De Wegel (Projecten, 2018)	18
Figuur 27 CL84 GITO Tervuren (Projecten, 2018)	18

Tabellen

Tabel 1 Opbouw energieprestatieregelgeving (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	3
Tabel 2 Voorwaarden EPB - aanvaarde bouwknopen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	4
Tabel 3 Ψ_e , lim-waarde voor de grenswaarde (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	8
Tabel 4 Ambitie diverse onderdelen (eigen tabel)	9
Tabel 5 Types wandisolatie (eigen tabel)	14
Tabel 6 Types vloerisolatie (eigen tabel)	15
Tabel 7 Types dakisolatie (eigen tabel)	15
Tabel 8 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Oogappel (eigen tabel)	17
Tabel 9 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Wegel (eigen tabel)	18
Tabel 10 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, GITO Tervuren (eigen tabel)	18
Tabel 11 Combinatie verbetering installaties en bouwschil (Sanne Verbist, 2019)	21

Vergelijkingen

Vergelijking 1 Oppervlaktes scholen (eigen vergelijking)	5
Vergelijking 2 Niet EPB - aanvaarde lineaire bouwknopen van de scholen (eigen vergelijking)	6

Bijlagen

Bijlage 01: CU13739_ER_Versiebeheer_jcleijman_20190524

Bijlage 02: CU13739_DR 1_Bestaande energieprestatie_jcleijman_20190508

Bijlage 03: CU13739_DR 2_Optimaliseren bouwschil_jcleijman_20190508

Bijlage 04: CU13739_DR 3_Toepassing optimalisatie in praktijk_jcleijman_20190521

Bijlage 05: CU13739_FB_Peerreview_jcleijman_20190523

Bijlage 01

Versiebeheer

Bijlage 01: CU13739_ER_Versiebeheer_jcleijman_20190524

Versie nr.	Gepubliceerde datum	Naam	Datum ontvangen	Functie	Criteria
Versie 1.0	16-05-2019	3 ^e partij	17-05-2019	-	Spellingscontrole + lay-out technische
Versie 2.0	17-05-2019	Bernard Vercouteren	20-05-2019	Docent	Opbouw lay-out
Versie 3.0	21-05-2019	Lindsay Kolijn-de Silva	22-05-2019	Stagebegeleider	Spelling, opbouw rapport en inhoud controleren
Versie 4.0	22-05-2019	Gerald van den Berghen	23-05-2019	Student	Opbouw rapport, spelling
		Roy Brevet	23-05-2019	Student	Opbouw rapport, spelling
Versie 5.0	24-05-2019				

Bijlage 02

Deelrapport 1: Bestaande energieprestatie

Scholen van morgen

Deelrapportage bestaande energieprestatie

Jordy Cleijman

8 mei 2019, Versie 5.0

Rapport geschreven voor de opleiding Bouwkunde

HZ University of Applied Sciences te Middelburg

STRABAG te Antwerpen





Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)

Scholen van morgen

Deelrapportage bestaande energieprestatie



Middelburg, Hogeschool Zeeland University of Applied Sciences

8 mei 2019, Versie 5.0

'Bouwkundig Ingenieur'

Semester 2, leerjaar 4

Geschreven door:

Jordy Cleijman 00071059

Onder begeleiding van:

1^e Dhr. B. Vercouterer, Docent Bouwkunde

2^e Dhr. T. Altena, Docent Bouwkunde

Mevr. L. Kolijn-de Silva, Adviseur
Bouwfysica & Duurzaamheid

Begrippen- en afkortingenlijst

Afstandhouders	- De afstandhouders in een venster zijn de delen die tussen het glas en het venster zitten. Om zo de koudebrug te verminderen/onderbreken.
AOR	- Aangrenzende onverwarmde ruimte.
AVR	- Aangrenzende verwarmde ruimte.
BEN	- Bijna – energieneutraal Dit wil zeggen dat de gebouwen weinig energie gebruiken voor verwarming, warm water, ventilatie en koeling. De energie die gebruikt wordt, wordt dan gehaald uit groene energiebronnen.
Blowerdoortest	- Dit is een test om de luchtdichtheid van een gebouw te bepalen. In de EPB – regelgeving worden van tevoren eisen gesteld, waaraan een gebouw zou moeten voldoen.
Bouwschil	- De bouwschil wordt gezien als de verzamelnaam voor de wand-, vloer- en dakopbouw. Dit is dus de scheiding tussen de verwarmde verblijfsruimte en de buitenlucht en/ of AOR.
E – Peil	- Het E-peil is een maat voor het energieverbruik van een gebouw.
Energetische renovatie	- Dit is een renovatie waarbij: Minstens 75% van de bestaande en nieuwe scheidingsconstructies die het beschermd volume omhullen en die grenzen aan de buitenomgeving, worden geïsoleerd.
EPB	- Energieprestatie en Binnenklimaat Vanaf 1 januari 2006 moet in Vlaanderen een aanvraag om te bouwen of verbouwen worden ingediend, die aan de EPB-eisen zal moeten voldoen. De energieprestatie van een gebouw drukt uit hoe een gebouw presteert op vlak van energieverbruik, dat afhangt van verschillende factoren zoals de thermische isolatie, de ventilatieverliezen, het rendement van de verwarmingsinstallatie en de warmwaterproductie, enz. (KWADRAAD VILLAPROJECTEN, Z.J.)
EPB – aanvaarde bouwknopen	- Dit zijn koudebruggen die voldoen aan één basisregel van EPB.
K – Peil	- Het K-peil is het totale isolatie-peil of het niveau van thermische isolatie van een gebouw.
Lichte gevels	- Gordijn- of vliesgevels.
Niet EPB- aanvaarde bouwknopen	- Volledige koudebruggen die niet voldoen aan de EPB.
Opake deuren	- Niet transparante deuren.
Rafter	- Schoolkantine inclusief keuken.
S – Peil	- Vervanger van het K-peil.
Stedenbouwkundige vergunning	- Deze is te vergelijken met een Nederlandse omgevingsvergunning, deze dient te worden verleend voordat het gebouw gebouwd mag worden.
Transparante deuren	- Beglaasde deuren.
Vensters met glas	- Kozijnen met glas.

Inhoudsopgave

Begrippen- en afkortingenlijst.....	III
1. Inleiding	1
2. Wat is de energieprestatie van de bestaande schoolgebouwen gerealiseerd door STRABAG? 2	
2.1 Wat is de energieprestatie van België?	2
2.2 Wat zijn de EPB-eisen voor schoolgebouwen?	7
2.3 Welke typerende energetische aspecten hebben de schoolgebouwen?	10
2.4 Welke problemen met de bouwschil zijn de meest voorkomende bij de reeds opgeleverde schoolgebouwen?.....	15
3. Deelconclusie.....	26
Bibliografie	27
Tabellen-, figuren- en vergelijkingenlijst	28
Tabellen	28
Figuren.....	28
Vergelijkingen.....	28
Bijlage	29

1. Inleiding

In de recent opgeleverde schoolgebouwen, gerealiseerd door STRABAG, is gebleken dat er verbetermogelijkheden liggen op het gebied van het optimaliseren van de bouwschil. Met de bouwschil worden onder andere de bouwkundige constructies van de schoolgebouwen bedoeld zoals de wand-, vloer- en dakopbouw, maar ook de eventuele koudebruggen. Om te bepalen wat er geoptimaliseerd kan worden, wordt er in dit deelonderzoek een analyse gemaakt van de reeds opgeleverde schoolgebouwen.

Om de verzamelde informatie tot een eenheid te vormen zullen de gegevens in een analysetabel worden verwerkt. Dit wordt gedaan omdat er dan beter geanalyseerd kan worden waar de verbeterpunten zitten in de bouwschil van de schoolgebouwen. Aan alle scholen worden dezelfde EPB-eisen gesteld, hierdoor kunnen de scholen ook met elkaar worden vergeleken. Zo kan de school met de 'beste' waardes per onderdeel worden gefilterd. Uit deze analyse kan per onderdeel een conclusie worden getrokken waar de meeste verbeterpunten liggen per school. Zo kan er verder onderzocht worden waarom de EPB-eisen in de ene school wel gehaald worden en in de andere school misschien niet.

2. Wat is de energieprestatie van de bestaande schoolgebouwen gerealiseerd door STRABAG?

Om te bepalen wat de eisen zijn voor de schoolgebouwen in België, wordt er eerst gekeken waar de energieprestatie aan moet voldoen. In dit hoofdstuk wordt eerst een onderverdeling gemaakt om te bepalen wat de energieprestatie van België is en daarna de eisen zijn die gelden voor de schoolgebouwen.

2.1 Wat is de energieprestatie van België?

De 'Energieprestatie en Binnenklimaat' ook wel de EPB genoemd, is een energienorm waar alle gebouwen in Vlaanderen, waarvoor een stedenbouwkundige vergunning wordt aangevraagd of een melding van wordt gedaan, aan moeten voldoen. De EPB-eisen hangen af van drie punten:

- De bestemming van het gebouw;
- De aard van de werken;
- De datum van de bouwaanvraag.

Bij meerdere gebruiksfuncties binnen een bouwproject, wordt een dossier opgesplitst om de eisen per onderdeel te kunnen bepalen. De EPB-eisen die gesteld worden aan de gebouwen worden steeds strenger, dit heeft te maken met de Europese regelgeving met betrekking tot de CO₂ uitstoot. Tegen het jaar 2021 streeft Vlaanderen ervoor om alle gebouwen bijna-energie neutraal (BEN) op te leveren.

De energieprestatieregelgeving legt eisen op voor diverse onderdelen binnen een bouwwerk. Zo zijn er eisen voor de isolatie, installaties, ventilatie en eventuele oververhitting. Deze vormen staan in *Tabel 1* schematisch weergegeven.

Tabel 1 Opbouw energieprestatieregelgeving (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

E-peil			
Energieprestatie			Binnenklimaat
Gebouwschil		Installaties	Ventilatie
U- en R-waarden		Installatie-eisen	Oververhitting
K-peil	S-peil	Hernieuwbare energietechnieken	
Netto energiebehoefte voor verwarming			

Voor nieuwbouw zijn er onder meer EPB-eisen voor energieprestatie, uitgedrukt in een maximaal E-peil. Hoe lager het E-peil, hoe energiezuiniger het gebouw is. Afhankelijk van de bestemming van het gebouw, de aard van de werken en de datum van de bouwaanvraag, kunnen er EPB-eisen zijn voor:

- Thermische isolatie (S-peil, K-peil, U-waarden en R-waarden);
- Binnenklimaat (Ventilatie, oververhitting);
- Technische installaties.

De bovenstaande onderdelen worden verder in deze deelrapportage toegelicht.

E-peil

Het behalen van het E-peil is één van de EPB-eisen voor een nieuw gebouw of bij een ingrijpende energetische renovatie. Het E-peil hangt af van een aantal punten: de thermische isolatie, de luchtdichtheid, de compactheid, de oriëntatie, de bewuste ventilatieverliezen en de vaste installaties. Tevens hangt het E-peil niet af van de losse toestellen of gebruikersgedrag.

De eis aan het E-peil wordt per jaar strenger, zo is de eis van E100 in 2009 naar E40 in 2019 gegaan in tien jaar tijd. In de onderstaande tabellen staan de vergelijkingen van de E-peileis voor de bestemming wonen en niet-residentieel. Onder het hoofdstuk niet-residentieel worden bestemmingen zoals: onderwijs, kantoor en sporthal onderverdeeld. De waardes die in *Tabel 2 en Tabel 3* zijn weergegeven, zijn over de laatste vier jaren genomen zodat er een beeld ontstaat over de ontwikkeling van de waardes. Hier is ook een onderscheid gemaakt tussen nieuwbouw en ingrijpende energetische renovatie. De waardes die in het rood staan weergegeven zijn de waardes die veranderd zijn over de jaren heen.

Tabel 2 Vergelijking E-peil, wonen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Aard van het werk	Jaren	Bestemming Wonen
Nieuwbouw (of gelijkwaardig)	2018	E40
	2019	E40
	2020	E35
	2021	E30
Ingrijpende energetische renovatie	2018	E90
	2019	E90
	2020	E70
	2021	E70

Tabel 3 Vergelijking E-peil, niet-residentieel (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Aard van het werk	Jaren	Bestemming Niet-residentieel	
Nieuwbouw (of gelijkwaardig)	2018 - 2020	Onderwijs	E55
		Sporthal, sportzaal	E50
		Kantoor	E55
		Gemeenschappelijk	E55
	2021	Onderwijs	E55
		Sporthal, sportzaal	E50
		Kantoor	E50
		Gemeenschappelijk	E50
Ingrijpende energetische renovatie	2018 - 2020	Onderwijs	E90
		Sporthal, sportzaal	E85
		Kantoor	E90
		Gemeenschappelijk	E90
	2021	Onderwijs	E90
		Sporthal, sportzaal	E50
		Kantoor	E90
		Gemeenschappelijk	E90

Gebouwschil

U- en R-waarden

De U-waarde, ook wel de warmtedoorgangscoefficiënt genoemd, geeft aan hoe goed een volledige scheidingsconstructie, zoals een dak of een wand, geïsoleerd is. Wanneer bijvoorbeeld de wand veel warmte doorlaat, ligt de U-waarde hoog. Is deze wand goed geïsoleerd en laat deze weinig tot geen warmte door, dan heeft deze een lage U-waarde. De U-waarde van een wand hangt dus af van de dikte en de isolatiewaarde [λ -waarde, λ -waarde] van alle materialen waaruit een constructiedeel opgebouwd is. Hoe hoger deze λ -waarde [uitgedrukt in W/mK] is, hoe minder goed het materiaal isoleert. De U-waarde van een materiaal wordt uitgedrukt in W/m^2K .

De R-waarde geeft de warmteweerstand van een materiaal laag weer. Deze waarde geeft aan hoe goed of minder goed een materiaal warmte tegenhoudt. Hoe hoger de R-waarde is, hoe meer warmte het materiaal tegenhoudt en hoe beter het materiaal isoleert. De R-waarde wordt uitgedrukt in m^2K/W .

K-peil

Het K-peil geeft de globale warmte-isolatie van een gebouw weer. De waarde van het K-peil hangt dus af van het warmteverlies van een gebouw via de buitenmuren, het dak, de vloeren en de ramen. Als het gebouw goed geïsoleerd is, ligt de waarde van het K-peil dus lager en is deze waarde ook beter. Het K-peil geldt alleen nog voor nieuwbouw, niet voor renovaties. Voor bouwaanvragen vanaf 2018 geldt het K-peil alleen nog voor nieuw te bouwen industriegebouwen. Voor woongebouwen wordt het K-peil vervangen door het S-peil.

S-peil

Het S-peil ook wel het schilpeil genoemd, geeft de energie-efficiëntie van een gebouwschil weer. Het S-peil vat alle energetische kwaliteiten van de schil (de winsten en de verliezen) samen tot één getal. De waarde geeft weer hoe goed een bouwschil bestand is tegen de koude en warme dagen van het jaar. Ook geeft de waarde weer of het gebouw een efficiënte vorm heeft. Het S-peil is een waarde die geldt voor een wooneenheid, dus voor een appartement en niet voor een appartementsgebouw. Hoe minder energie nodig is om de temperatuur van de wooneenheid op peil te houden, hoe efficiënter de vorm van het gebouw. Hoe lager de waarde van het S-peil, hoe energie-efficiënter het gebouw is.



Figuur 2 (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Ondanks dat het S-peil het K-peil gaat vervangen, zitten hier toch nog verschillen in. Deze verschillen zijn aangegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Vergelijking K-peil en S-peil (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

K-peil	S-peil
Gemiddelde U-waarde + bouwknopen	Gemiddelde U-waarde + bouwknopen Zonnepwinsten Ventilatieverliezen: alleen effect luchtdichtheid
Op niveau van het gebouw	Op niveau van de eenheid
Compactheid	Vorm-efficiëntie
Verliezen buitenomgeving en AOR	Verliezen buitenomgeving, AOR en AVR

Netto energiebehoefte voor verwarming

De netto-energiebehoefte voor verwarming, ook wel de warmtevraag genoemd, geeft aan hoeveel energie er nodig is om de temperatuur in een gebouw op het gewenste peil te houden. Dit hangt af van een paar punten:

- De hoeveelheid energie die verloren gaat in het gebouw;
- De hoeveelheid energie die verloren gaat door ventilatie;
- De warmtewinsten door invallende zonnestralen;
- De capaciteit van het gebouw om warmte op te slaan.

De energiebehoefte wordt weergegeven in kiloWattuur per vierkante meter bruikbare vloeroppervlakte [kWh/m²]. De eis op de netto-energiebehoefte is vanaf 31 december 2017 niet meer geldig.

Installaties

Installatie-eisen

Binnen de EPB-regelgeving zijn er ook installatie-eisen gesteld aan bouwwerken. Dit houdt in dat er eisen aan de installaties voor verwarming, sanitair warm water, koeling, ventilatie en verlichting worden gesteld. Maar ook voor het plaatsen van energieverbruiksmeters bij grote installaties. Om de toepassing van de eis te laten gelden op renovatiewerken zijn er diverse punten waaraan moet worden voldaan. Deze staan omschreven in *Tabel 5*.

Tabel 5 Eisen renovatiewerken installaties (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Renovatiewerken aan installaties	Installatie-eisen van toepassing?
- Installaties worden nieuw geplaatst, vernieuwd of vervangen. - Verplaatsen of uitbreiden van een bestaande installatie.	Ja
- Installaties waaraan geen werkzaamheden worden uitgevoerd. - Tijdelijk demonteren en opnieuw plaatsen van dezelfde installatie op exact dezelfde plaats. - Enkel de sanitaire uitrustingen worden vervangen en niet de leidingen of de warmteopwekker.	Nee

Hernieuwbare energie

Hernieuwbare energie is de energie die uit natuurlijke bron ontstaat. Deze bronnen zijn onuitputtelijk zoals wind, zon, water en aardwarmte. Het aandeel hernieuwbare energie wordt als een minimale primaire energiehoeveelheid [kWh] per eenheid bruto vloeroppervlakte [m²] en per jaar uitgedrukt.

Sinds 2014 verplicht de EPB om een minimum aandeel van de benodigde energie van gebouwen te halen uit hernieuwbare bronnen. Aan deze eis kan op vier manieren worden voldaan:

- Minimaal 15 kWh aan hernieuwbare energie produceren in het geval van een woongebouw en minimaal 20 kWh bij een niet-residentieel gebouw, per m² bruto vloeroppervlakte. Dit kan aan de hand van:
 - o Zonnepanelen;
 - o Zonneboiler;
 - o Warmtepomp en warmtepompboiler;
 - o Ketel, kachel of warmtekrachtkoppeling (WKK) op biobrandstof;
 - o Stadverwarming of -koeling.

- De totale energievraag voor ruimteverwarming dekken door:
 - o Warmtepomp;
 - o Ketel, kachel of WKK op biobrandstof;
 - o Stadverwarming of -koeling met een aandeel hernieuwbare energie van 100%.
- Een zonneboiler installeren ter grootte van minstens 2,5% van het bruto vloeroppervlakte.
- Participatie in een project voor productie van hernieuwbare energie.

Voor deze hernieuwbare energiebronnen gelden voorwaarden waar ze aan moeten voldoen. Zo moet een systeem een goed rendement hebben, wanneer het systeem niet genoeg hernieuwbare energie produceert aan de hand van zijn capaciteiten voldoet deze niet. Bovenstaande maatregelen gelden sinds 2017 ook voor ingrijpende energetische renovatieprojecten.

Wanneer geen van de bovenstaande systemen zijn toegepast of er wordt niet voldaan aan de voorwaarden, wordt het maximaal E-peil strenger gesteld met 10%. Als dit strengere E-peil niet behaald wordt, zal er een geldboete in rekening gebracht worden.

Binnenklimaat

Ventilatie

De B uit EPB staat voor 'Binnenklimaat'. De EPB-regelgeving verplicht om het energieverbruik van gebouwen te beperken, maar ook om minimaal te ventileren. In een goed geïsoleerd en luchtdicht afgewerkt gebouw, is een ventilatiesysteem nodig om voldoende verse lucht binnen te brengen en vervuilde, vochtige lucht af te voeren:

- Gezonde luchtkwaliteit;
- Afvoer van vervuilde, vochtige lucht: ventileren voert de vochtige lucht af, zodat de kans op geuren en allergieën vermindert. Condensatie en schimmelvorming op muren wordt zo vermeden.

Voor het ventileren van een gebouw bestaan er twee vormen van ventilatie:

- Basis-ventilatie
 - o De vorm van basis-ventilatie is sinds 2006 verplicht. Dit type ventilatie ook wel de hygiënische ventilatie genoemd, is een constant (24 op 24 uur) minimaal en gecontroleerd ventilatiesysteem. In dit ventilatiesysteem wordt een balans gevonden voor het voldoende ventileren van een gebouw en het overmatig ventileren. In een goed geïsoleerd en luchtdicht gebouw mag een minimale en zo gecontroleerd mogelijk ventilatiesysteem niet ontbreken. Om energieverlies door ventilatie te beperken, mag er niet al te veel worden geventileerd.
- Intensieve ventilatie
 - o Het intensief ventileren van een gebouw is een extremere variant op de basis-ventilatie. Dit type ventilatie zorgt ervoor dat een grote hoeveelheid lucht ververst wordt op een korte termijn. Dit type wordt pas bij een gebouw toegepast als de basis-ventilatie te kort komt. Hier kan bijvoorbeeld gedacht worden aan zeer warme ruimtes of bij chemische producten.

Oververhitting

Wanneer de temperatuur buiten erg oploopt kan de binnentemperatuur in goed geïsoleerde, luchtdichte gebouwen sterk stijgen. Als het moeilijk is om de warmte af te voeren, kan oververhitting ontstaan. Tijdens het ontwerpen van een gebouw kan rekening worden gehouden met een aantal punten om zo oververhitting te voorkomen.

Zo kan er gekeken worden naar de onderstaande punten:

- De oriëntatie van de raampartijen;
- Het beperken van de hoeveelheid beglazing;
- Een lage zontoetredingsfactor (g-waarde) van de beglazing;
- Een effectieve zonnewering;
- Eventueel toepassen van luifels in het ontwerp;
- Gebruik maken van een 'zware' bouwwijze (de thermische massa opdrijven);
- Het gebouw voorzien van een goed ventilatiesysteem.

2.2 Wat zijn de EPB-eisen voor schoolgebouwen?

Dit onderzoek wordt gespecificeerd op schoolgebouwen, hier gelden andere eisen voor dan woongebouwen. Doordat schoolgebouwen worden gezien als niet-residentieel worden de eisen hiervan gehanteerd. Hier kan een onderscheid gemaakt worden in nieuwbouw (of gelijkwaardig), ingrijpende energetische renovatie en renovatie.

Nieuwbouw

Voor nieuwbouw (of gelijkwaardig) worden de volgende vijf punten als eisen beschouwd:

- Thermische isolatie: Maximale U-waarden (te zien in *Tabel 6*)
- Energieprestatie: Maximaal E-peil (te zien in *Tabel 7*)
- Binnenklimaat: Minimale ventilatievoorzieningen (te zien in *Tabel 8*)
- Hernieuwbare energie: ≥ 20 kWh/m² per jaar
- Geen installatie-eisen

Tabel 6 Nieuwbouw, maximale U-waarden (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

1	Scheidingsconstructies die het beschermd volume omhullen	$U_{\max}$ [W/m ² K]
1.1	Transparante scheidingsconstructies	1.5 en $U_{g, \max} = 1.1$
1.2	Opake scheidingsconstructies	0.24
1.2.1	Daken en plafonds	
1.2.2	Muren niet in contact met de grond	
1.2.3	Muren in contact met de grond	
1.2.4	Verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met kruipruimte of kelder	
1.2.5	Vloeren in contact met de buitenomgeving	
1.2.6	Andere vloeren	
1.3	Deuren en poorten	2.0
1.4	Gordijngewels	2.0 en $U_{g, \max} = 1.1$
1.5	Glasbouwstenen	2.0
1.6	Transparante scheidingsconstructies andere dan glas	2.0 en $U_{tp, \max} = 1.4$

Tabel 7 Maximaal E-peil, Vergelijking Nieuwbouw en IER (eigen tabel)

Functie	E-peileis [-] Nieuwbouw	E-peileis [-] IER
Onderwijs	55	90
Bijeenkomst hoge bezetting	65	100
Bijeenkomst lage bezetting	65	100
Bijeenkomst cafetaria/refter	60	100
Keuken	55	95
Sport: sporthal, sportzaal	50	85
Technische ruimten	45	70
Gemeenschappelijk	55	90
Andere	80	120
Onbekend	80	-

Tabel 8 Nieuwbouw, minimale ventilatievoorziening (eigen tabel)

Ruimte	Ventilatie-eis
Leef en omgevingsruimte	Volledig ventilatiesysteem installeren
Gemeenschappelijke deel (traphal)	Geen ventilatie-eis

Ingrijpende energetische renovatie (IER)

Voor ingrijpende energetische renovatie (IER) worden er de volgende vijf punten als eisen beschouwd:

- Thermische isolatie: Maximale U-waarden (te zien in Tabel 9)
- Energieprestatie: Maximaal E-peil (te zien in Tabel 7)
- Binnenklimaat: Minimale ventilatievoorzieningen (te zien in Tabel 10)
- Hernieuwbare energie: ≥ 15 kWh/m² per jaar
- Geen installatie-eisen

Tabel 9 IER, maximale U-waarden (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

4	Na-isoleren van bestaande scheidingsconstructies die het beschermd volume omhullen	U _{max} [W/m ² K]
4.1	Opake constructies	
4.1.1	Bestaande daken en plafonds met na-isolatie	0.24
4.1.2	Bestaande muren met na-isolatie aan buitenzijde constructie	
4.1.3	Bestaande spouwmuren met navulling	0.55
4.1.4	Bestaande muren met na-isolatie aan binnenzijde constructie	0.24
4.1.5	Bestaande vloeren met na-isolatie	

Tabel 10 IER, minimale ventilatievoorzieningen (eigen tabel)

Ruimte	Ventilatie-eis
Leef en omgevingsruimte	Toe- en afvoervoorzieningen
Gemeenschappelijke deel (traphal)	Geen ventilatie-eis

Renovatie

Voor renovatie worden er de volgende vier punten als eisen beschouwd:

- Thermische isolatie: Maximale U-waarden (te zien in eerdergenoemde *Tabel 9*)
- Geen Energieprestatie-eisen
- Binnenklimaat: Minimale ventilatievoorzieningen (te zien in *Tabel 11*)
- Geen hernieuwbare energie
- Installaties: Minimale installatie-eisen (te zien in *Tabel 12*)

Tabel 11 Renovatie, minimale ventilatievoorzieningen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Ruimte	Ventilatie-eis
Nieuwe 'natte' ruimtes (badkamer, wc, keuken)	Afvoervoorzieningen en een doorstroomopening plaatsen
Nieuwe 'droge' ruimtes (slaapkamer, leefruimte)	Toevoervoorzieningen en een doorstroomopening plaatsen
Verbouwde 'droge' ruimtes	Zorgen voor toevoervoorzieningen waar ramen worden vervangen of toegevoegd

Tabel 12 Renovatie, minimale installatie-eis (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Installatie	Minimale eis
Verwarming	
Ketels	De ketels hebben een minimaal rendement van 84%
Elektrische warmtepompen	De waarde van de ontstentenis bedraagt: - 1,25 voor warmtepompen met lucht - 2 voor alle andere types
Elektrische verwarming	De installatie heeft een maximaal vermogen. Het afgifte vermogen bedraagt maximaal 15W/m ²
Sanitair warm water	
Elektrische boilers en doorstromers	De toestellen hebben een maximaal vermogen. Het maximaal vermogen wordt bepaald in functie van de oppervlakte van het gebouw
Circulatieleidingen en combilus	Circulatieleidingen en combilusleidingen moeten verplicht worden geïsoleerd.
Koeling	
IJswatersystemen	De installatie heeft een minimaal rendement. Het installatierendement van de installatie hangt af van de eigenschappen van de koelmachine, de isolatie van de leidingen en de regeling van de installatie.
Verlichting	
Vaste verlichtingstoestellen	Per ruimte geldt een maximaal equivalent specifiek geïnstalleerd vermogen. Dat maximaal vermogen is afhankelijk van het type ruimte.

(VLAAMS ENERGIEAGENTSCHAP, Z.J.)

(VLAAMSE OVERHEID, Z.J.)

2.3 Welke typerende energetische aspecten hebben de schoolgebouwen?

Voor het vaststellen van de diverse aspecten van de toegewezen schoolgebouwen worden er parameters vastgesteld. Deze parameters moeten voldoen aan de eisen die gesteld worden door het bedrijf. Aan de hand van deze parameters wordt een tabel ingevuld met de verschillende waardes die al bekend zijn. Aan de hand van deze analysetabel die is toegevoegd onder *Bijlage 02*, wordt een uiteindelijke conclusie gemaakt om zo te zien waar de verbeterpunten liggen voor het optimaliseren van de bouwschil.

De verschillende parameters die toegepast zijn om de vijftien scholen te vergelijken staan in het onderstaande subhoofdstuk omschreven en verder toegelicht. (STRABAG Belgium, Diverse data)

Toelichting parameters analysetabel

De analysetabel is onderverdeeld in verschillende hoofdstukken, zo zijn er algemene onderdelen, maar ook nog oppervlakte, bouwknopen, bouwschil en beglazing. Binnen deze hoofdstukken zijn er verschillende punten waar op gelet wordt. Deze punten zijn aan de hand van de gegevens binnen STRABAG ingevuld. Deze staan hieronder verder toegelicht als extra beschrijving voor de analysetabel.

Algemeen

Allereerst is er gekeken naar de verschillende scholen en iedere functie die aanwezig is in het gebouw. De scholen liggen op diverse locaties verspreid over België, dit is te zien in *Bijlage 03*. Verder zijn er diverse functies aanwezig zoals school, sport, werkplaats en refter.

Per functie is aangegeven of het nieuwbouw is of een renovatie/ aanbouw. Daarnaast staat er ook weergegeven of één van de functies in een extern gebouw geplaatst is. Hiervoor gelden dan in sommige gevallen andere waardes. Tevens zijn voor iedere functie en iedere school de waardes van het E-peil en K-peil weergegeven (te lezen in hoofdstuk 2.1), de waardes die rood weergegeven zijn, overschrijden de EPB-eisen en voldoen dus niet. In *Figuur 3* is een voorbeeld te zien hoe deze onderdelen zijn ingevuld.

Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Extern / ander gebouw	E-peil [.]	K-peil [.]	Nieuwbouw	Anders
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport	X	E58	37	X	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School		E56	25	X	

Figuur 3 Voorbeeld weergave analysetabel, algemeen (eigen figuur)

Oppervlakte

Per functie van iedere school is er een bepaald aantal m² opgegeven in het EPB-verslag om zo te berekenen wat het uiteindelijke E-peil is van het schoolgebouw. In *Figuur 4* staan de punten waaraan de functies zijn gekoppeld.

				Oppervlakte [m ²]					
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	School	Sport	Refter	Werkplaats	Sport + keuken + Mediatheek	Santair
CL70	Ninove	St. Aloyus	Sport		972,15				
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	6 344,40					

Figuur 4 Voorbeeld weergave analysetabel, oppervlakte (eigen figuur)

Bouwknopen

De bouwknopen zijn onderverdeeld in lineaire bouwknopen of puntbouwknopen. Deze waarden geven aan hoeveel 'koudebruggen' er zijn tussen verschillende onderdelen. Zoals hieronder in *Figuur 5* te zien is, zijn er verschillende types constructie waarin bouwknopen en koudebruggen voorkomen.

				Lineaire bouwknopen										Puntbouwknopen	
				EPB - aanvaard		EPB - Niet aanvaard									
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Venster- en deuransluitingen [m]	Funderingsaanzetten [m]	Venster- en deuransluitingen [m]	Buitenhoek, andere buitenhoeken [m]	Balkons [m]	Aansluiting van inwendige scheidingsconstructie op het verliesoppervlak [m]	Funderingsaanzetten [m]	Alle lineaire bouwknopen die niet onder 1 item 6 vallen, uit tabel 1 [m]	Buitenhoek 2 muren [m]	Onderbreken isolatielaag door andere dan metaal [m]	Onderbreken isolatielaag voor metaal [m]	Bouwknopen
CL70	Ninove	St. Aloyus	Sport			240,00				20,00	50,00				B
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School			687,49	321,61	13,31			68,96			12,40	B

Figuur 5 Voorbeeld weergave analysetabel, bouwknopen (eigen figuur)

Lineaire bouwknopen:

Een lineaire bouwknop houdt in dat de bouwknop in twee richtingen verschillende afmetingen heeft, de ene afmeting is in dit geval dan veel groter dan de andere afmeting. Een lineaire bouwknop kan ontstaan door de volgende drie situaties:

- Twee scheidingsconstructies van het verliesoppervlak komen samen;
- Een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak komt samen met een andere scheidingsconstructie;
- De isolatielaag wordt lijnvormig onderbroken door een materiaal met een hogere warmtegeleidbaarheid.

De meeste bouwknopen zijn niet EPB-aanvaard oftewel koudebruggen, maar in sommige gevallen is het wel EPB-aanvaard. Als een bouwknop wordt aanvaard kan dit gebeuren op twee verschillende manieren die te zien zijn in de onderstaande *Tabel 13*.

Tabel 13 Voorwaarde EPB-aanvaarde bouwknopen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)



Puntbouwknopen:

Een puntbouwknop is een puntvormige doorbreking van de isolatielaag van een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak. Het verschil met de lineaire bouwknop is dat de lineaire bouwknopen twee verschillende lengtes heeft per kant, bij een puntbouwknop is dat gelijk.

In de EPB-regelgeving worden er drie verschillende opties gegeven voor het inrekenen van de invloed van bouwknopen, dit is te zien in de onderstaande *Tabel 14*. Bij de opties zitten toeslagen gemoeid, hoe zwaarder de optie hoe zwaarder de toeslag.

Tabel 14 Opties bouwknopen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)



Bouwschil

De bouwschil is opgedeeld in drie verschillende onderdelen: de wandopbouw, vloeropbouw en dakopbouw. Voor deze drie onderdelen zijn per school en functie het aantal types van de onderdelen weergegeven. Doordat er verschillende types zijn, zijn er ook verschillende waardes die erbij horen. Om deze reden is er per onderdeel de maximale -, de hoogste -, de laagste - en de gemiddelde U-waarden [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$] weergegeven. Als de U-waarde wordt overschreden is deze met rood aangegeven. De opzet van de verschillende onderdelen is te zien in *Figuur 6*.

Wandopbouw						Vloeropbouw						Dakopbouw					
Aantal types wandopbouw [a.t.]	Maximale U-waarde [W/m ² ·K]	Hoogste U-waarde [W/m ² ·K]	Laagste U-waarde [W/m ² ·K]	Gemiddelde U-waarde [W/m ² ·K]		Aantal types vloeropbouw [a.t.]	Maximale U-waarde [W/m ² ·K]	Hoogste U-waarde [W/m ² ·K]	Laagste U-waarde [W/m ² ·K]	Gemiddelde U-waarde [W/m ² ·K]		Type dak	Aantal types dakopbouw [a.t.]	Maximale U-waarde [W/m ² ·K]	Hoogste U-waarde [W/m ² ·K]	Laagste U-waarde [W/m ² ·K]	Gemiddelde U-waarde [W/m ² ·K]
1	0,32	0,23	0,23	0,23		1	0,35	0,23	0,23	0,23		Plat dak	2	0,27	0,25	0,21	0,23
3	0,32	0,24	0,15	0,20		3	0,35	0,34	0,15	0,24		Plat dak	2	0,27	0,20	0,17	0,18

Figuur 6 Voorbeeld weergave analysetabel, bouwschil (eigen figuur)

Luchtdichtheid:

De luchtdichtheid van een gebouw wordt gemeten door een blowerdoortest. Deze blowerdoortest is niet bij iedere school gebeurd waardoor niet voor iedere school/ functie de gegevens bekend zijn. De waardes die bekend zijn, zijn weergegeven in de kolom N_{50} [$1/\text{h}$] of V_{50} [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$].

N_{50} - Staat voor de gemiddelde waarde van het aantal volumewissels per uur bij een drukteverschil van -50 Pa (onderdruk) en +50 Pa (overdruk).

V_{50} - Staat voor de gemiddelde waarde van het gemeten lekdebiëet per vierkante meter verliesoppervlakte van de buitenschil bij -50 Pa (onderdruk) en +50 Pa (overdruk).

Hoe dit is weergegeven in de analyse tabel is weergegeven in *Figuur 7*.

				Luchtdichtheid	
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	N_{50} [$1/\text{h}$]	V_{50} [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$]
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport		
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	1,33	3,82

Figuur 7 Voorbeeld weergave analysetabel, luchtdichtheid (eigen figuur)

Beglazing

Het onderdeel beglazing is onderverdeeld in vier verschillende categorieën. Deze categorieën zijn opgesteld aan de hand van de transmissieverslagen van STRABAG. Hierdoor kan er een goede vergelijking worden gemaakt tussen de verschillende onderdelen. De vier onderdelen zijn: Opake deuren en poorten, vensters met glas, lichte gevels en transparante deuren en poorten. Deze worden hieronder verder toegelicht.

Opake deuren en poorten:

Opake deuren en poorten zijn dichte panelen. Dit houdt in dat ze ondoorzichtig zijn en geen zonnestraling doorlaten. Hiervoor is per gevelaanzicht het aantal oppervlakte [m²] aangegeven. Ook staat er het aantal m² voor daken bij, dit zijn voornamelijk dakluiken of rookluiken. Per functie is ook de maximale -, hoogste -, laagste – en gemiddelde U-waarde weergegeven. Dit is te zien in *Figuur 8*.

				Opake deuren en poorten								
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Noord Venster opp. [m ²]	Oost Venster opp. [m ²]	Zuid Venster opp. [m ²]	West Venster opp. [m ²]	Daken Venster opp. [m ²]	Maximale U-waarde [W/m ² .K]	Hoogste U-waarde [W/m ² .K]	Laagste U-waarde [W/m ² .K]	Gemiddelde U-waarde [W/m ² .K]
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport					1,00	2,20	0,26	0,26	0,26
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	5,60		5,60	2,76	2,88	2,20	2,20	1,03	1,53

Figuur 8 Voorbeeld weergave analysetabel, opake deuren en poorten (eigen figuur)

Vensters met glas:

De vensters met glas zijn het aantal raamelementen die in een gebouw zitten, ook deze zijn weer per geveldeel verdeeld per m². De dakelementen die hierbij zijn toegevoegd zijn dakramen of lichtstraten. Doordat het venster (kozijn) een andere U-waarde heeft dan het glas zijn deze twee waarden apart weergegeven met ook hier de maximale -, hoogste -, laagste – en gemiddelde U-waarde. De U-waarden van het venster zijn inbegrepen met eventuele afstandhouders. Deze worden verder toegelicht in het subhoofdstuk afstandhouders. De verschillende U-waarden zijn te zien in *Figuur 9*.

				Vensters met glas											
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Noord Venster opp. [m²]	Oost Venster opp. [m²]	Zuid Venster opp. [m²]	West Venster opp. [m²]	Daken Venster opp. [m²]	Maximale U-waarde Glas [W/m²·K]	Hoogste U-waarde Glas [W/m²·K]	Laagste U-waarde Glas [W/m²·K]	Gemiddelde U-waarde Glas [W/m²·K]	Hoogste U-waarde Venster [W/m²·K]	Laagste U-waarde Venster [W/m²·K]	Gemiddelde U-waarde Venster [W/m²·K]
CL70	Ninove	St Aloyius	Sport	176,87	150,76	100,00	128,00		1,30	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	54,60	53,66	26,52	36,10	1,00	1,30	1,23	1,00	1,01	1,59	1,45	1,59

Figuur 9 Voorbeeld weergave analysetabel, venster met glas (eigen figuur)

Lichte gevels:

De lichtegevels ook wel gordijnggevels genoemd, zijn grote panelen met glas (vliesgevels). Ook deze zijn per oriëntatie apart neergezet. Bij dit onderdeel komen dezelfde punten kijken als bij de vensters met glas. Hierdoor wordt er ook de maximale -, hoogste -, laagste – en gemiddelde U-waarde van zowel het glas als voor het venster weergegeven. Dit is te zien in *Figuur 10*.

				Lichtegevels												
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Noord Venster opp. [m²]	Oost Venster opp. [m²]	Zuid Venster opp. [m²]	West Venster opp. [m²]	Daken Venster opp. [m²]	Maximale U-waarde Glas [W/m²·K]	Hoogste U-waarde Glas [W/m²·K]	Laagste U-waarde Glas [W/m²·K]	Gemiddelde U-waarde Glas [W/m²·K]	Maximale U-waarde Venster [W/m²·K]	Hoogste U-waarde Venster [W/m²·K]	Laagste U-waarde Venster [W/m²·K]	Gemiddelde U-waarde Venster [W/m²·K]
CL70	Ninove	St. Aloyuis	Sport													
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	121,36	53,57	75,43	193,97		1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	3,00	1,25	1,57

Figuur 10 Voorbeeld weergave analysetabel, lichtegevels (eigen figuur)

Transparante deuren en poorten:

Transparante deuren en poorten, de naam geeft al aan dat dit de deuren en poorten zijn met een deel glas of volledig doorzichtig zijn. Voor deuren en poorten geldt maar één waarde voor het totale onderdeel, om deze reden is er ook maar één maximale -, hoogste -, laagste - en gemiddelde U-waarde te zien in *Figuur 11*.

				Transparante deuren en poorten								
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Noord Venster opp. [m²]	Oost Venster opp. [m²]	Zuid Venster opp. [m²]	West Venster opp. [m²]	Daken Venster opp. [m²]	Maximale U-waarde [W/m².K]	Hoogste U-waarde [W/m².K]	Laagste U-waarde [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde [W/m².K]
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport		5,58	20,92	11,20		2,20	1,30	1,30	1,30
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	5,47	4,60	4,60	13,77		2,20	2,02	1,35	1,46

Figuur 11 Voorbeeld weergave analysetabel, transparante deuren en poorten (eigen figuur)

Afstandhouders:

Rondom de beglazing of de vulpanelen zitten afstandhouders. De beglazing en het venster hebben een verschillende U-waarde. Om via de afstandhouders geen koudebrug te creëren bestaan er ook geïsoleerde afstandhouders. Bij de gemiddelde U-waarden van de vensters en beglazing is de U-waarde van de afstandhouders al meegenomen. In *Tabel 15* is te zien met welke standaard waarden wordt gerekend. Zoals te zien is verschilt dit niet alleen als de afstandhouder geïsoleerd is, maar ook van welk materiaal het venster is gemaakt.

Tabel 15 Standaard Psi-waarde afstandhouders (Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Profiel	Meervoudige beglazing			
	Beglazing zonder coating		Beglazing met coating	
	Gewone afstandhouders Ψ_g -waarden [W/mK]	Isolerende afstandhouders Ψ_g -waarden [W/mK]	Gewone afstandhouders Ψ_g -waarden [W/mK]	Isolerende afstandhouders Ψ_g -waarden [W/mK]
Hout of PVC	0,06	0,05	0,08	0,06
Metaal met thermische onderbreking	0,08	0,06	0,11	0,08
Metaal zonder thermische onderbreking	0,02	0,01	0,05	0,04

2.4 Welke problemen met de bouwschil zijn de meest voorkomende bij de reeds opgeleverde schoolgebouwen?

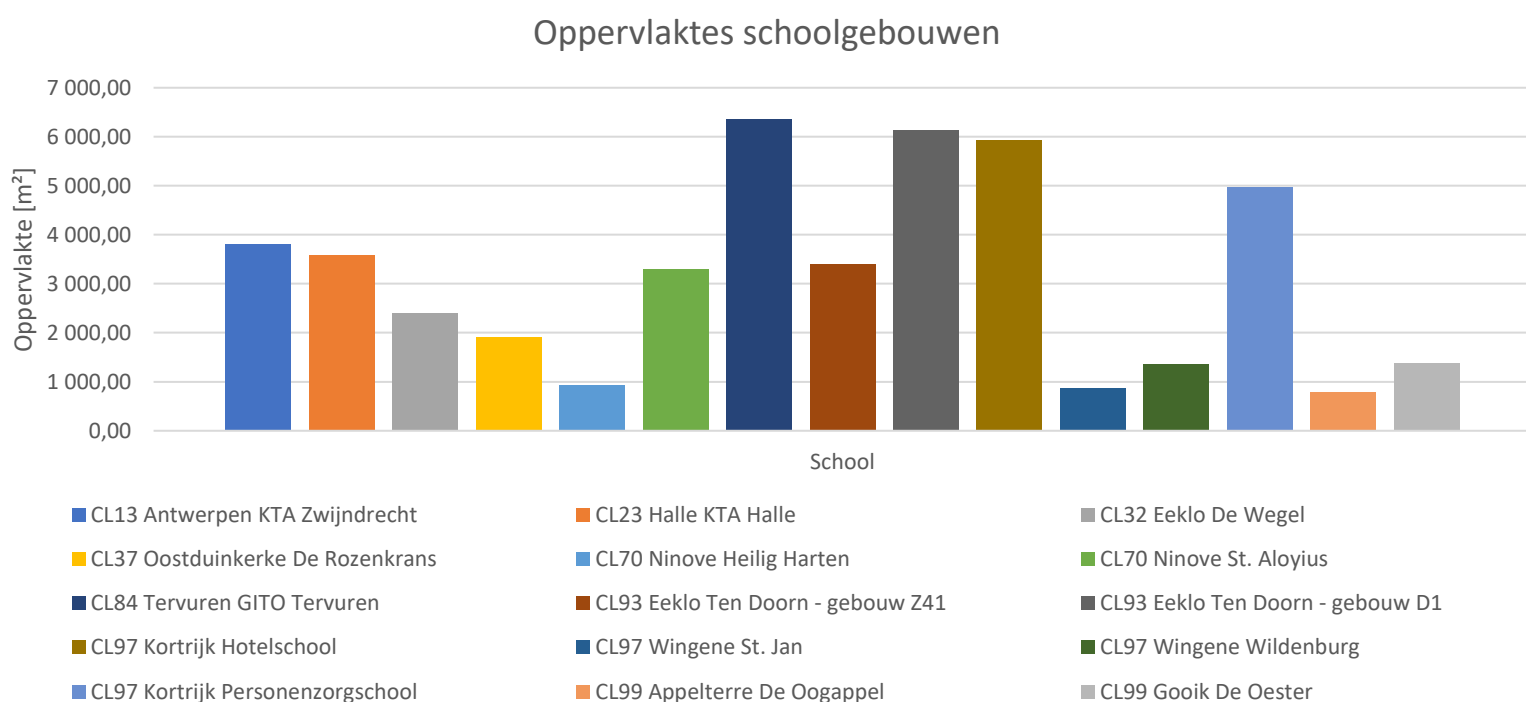
Om de juiste conclusie te kunnen trekken uit de gegevens van de gebouwen wordt hierin gekeken naar de verschillende bouwknopen die er zijn en de diverse U-waarden die zijn aangetroffen per functie. Voor de bouwknopen is er een vergelijking opgesteld met de niet EPB-aanvaarde lineaire bouwknopen. De scholen waar ook puntbouwknopen aanwezig zijn, zijn aangegeven met een * achter de schoolnaam. Tevens zijn er ook scholen aanwezig met EPB-aanvaarde bouwknopen, maar deze zijn door middel van een andere oplossing binnen het gebouw goedgekeurd.

Ook zijn de U-waarden van de bouwschil en vensters en deuren vergeleken. Hier is gekeken naar de laagste en maximale waarden. Door de laagste U-waarde weer te geven, kan er gekeken worden waarom hier de U-waarde zo laag liggen en of de U-waarde niet te dicht tegen de maximale waarde ligt. Als dit wel het geval is, zijn er mogelijkheden om deze waarden te laten dalen.

School

De oppervlakte van de functie “school” liggen ver uit elkaar zoals te zien is in *Vergelijking 1*. Doordat de waarden die uit de EPB zijn gehaald zo ver uit elkaar liggen worden de scholen verdeeld in drie categorieën: klein (0 - 2.000m²), middel (2.000 - 4.000m²) en groot (4.000 - 7.000m²).

Vergelijking 1 Oppervlakte functie school (eigen vergelijking)



(SANNE VERBIST, 2019)

Klein (0 – 2.000 m²):

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| - De Rozenkrans | - Wildenburg (+ Verbouwing) |
| - De Oester (+ polyvalente ruimte) | - St. Jan |
| - Heilige Harten | - De Oogappel |

Middel (2.000 – 4.000 m²):

- KTA Zwijndrecht
- Ten Doorn – Gebouw Z41
- De Wegel
- KTA Halle
- St. Aloyus

Groot (4.000 – 7.000 m²):

- GITO Tervuren
- Hotelschool
- Ten Doorn – Gebouw D1
- Personenzorgschool

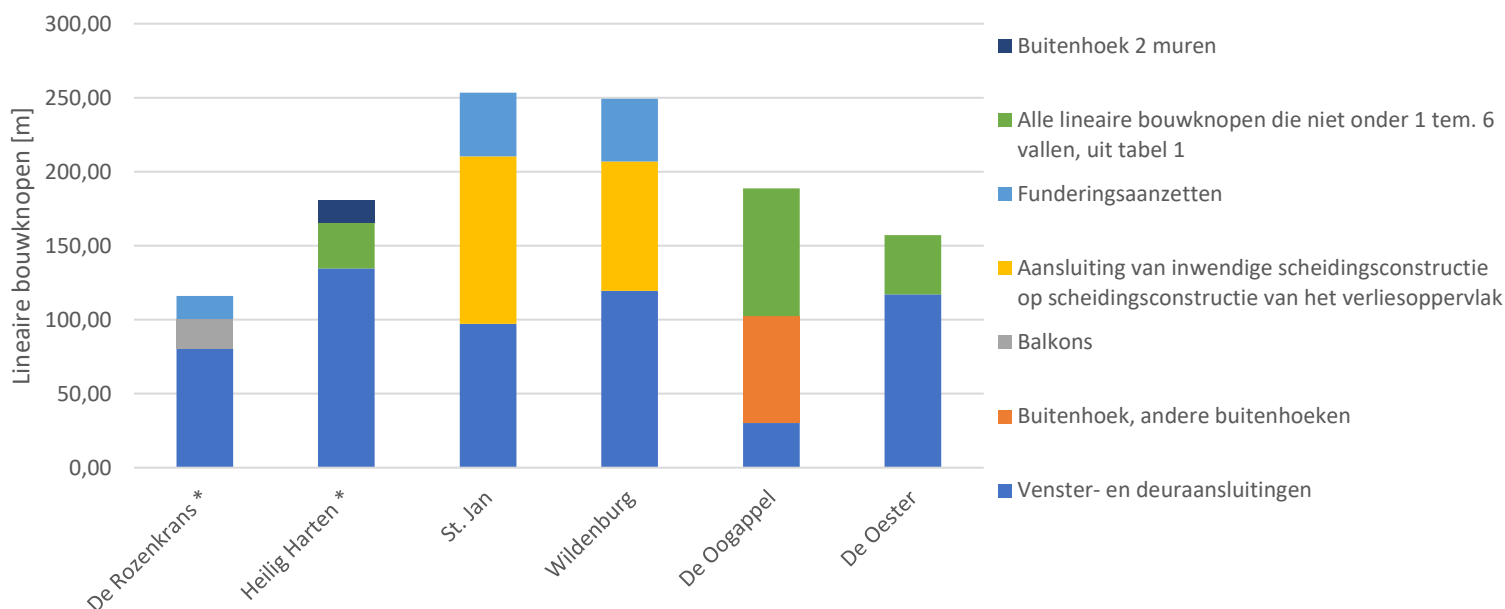
Kleine schoolgebouwen:

Bouwknope:

In *Vergelijking 2* zijn per school de lineaire bouwknope inzichtelijk gemaakt voor de gebruiksfunctie school. Hieruit valt al snel af te leiden dat de school St. Jan in Wingene het meeste aantal meters aan lineaire bouwknope heeft. Ook valt op dat bij iedere school een bouwknope is van venster- en deuraansluitingen.

Vergelijking 2 Overzicht bouwknope van de kleine scholen (eigen vergelijking)

Kleine scholen - EPB - Niet aanvaarde lineaire bouwknope



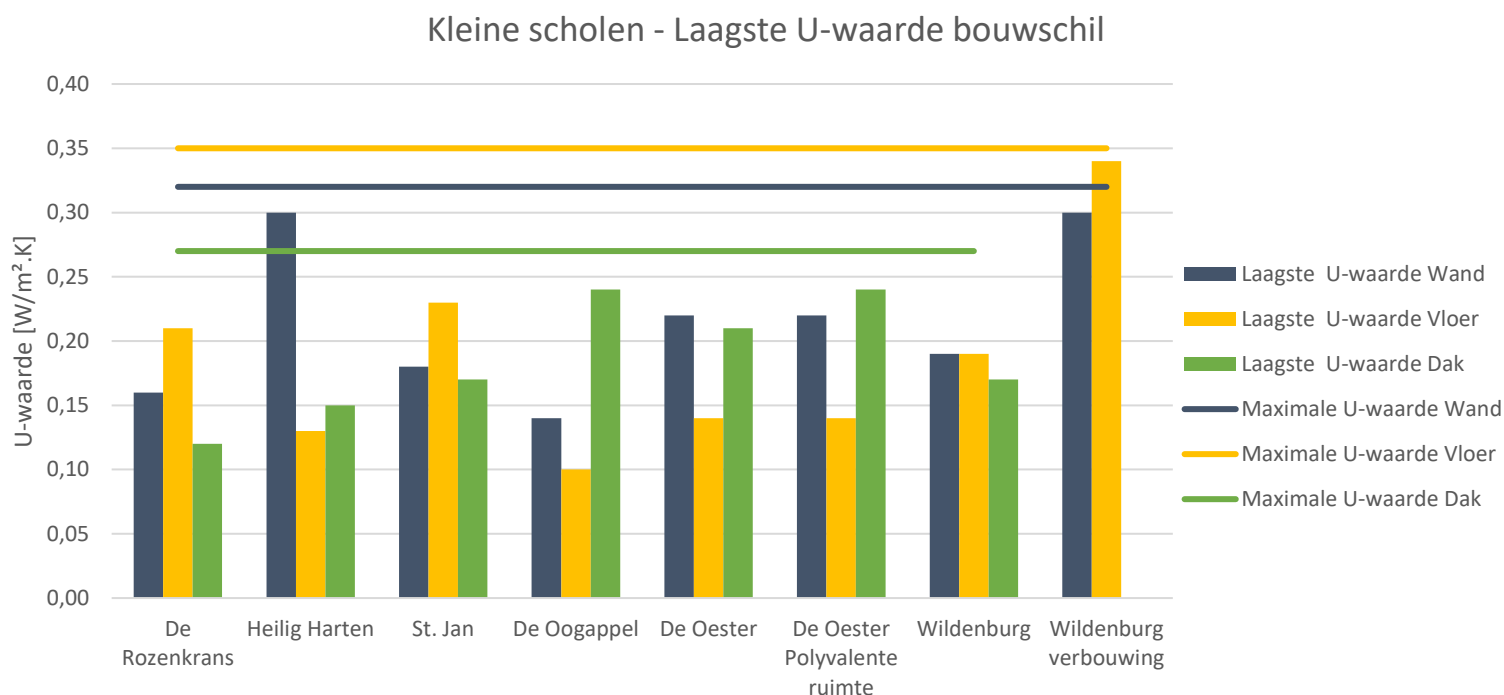
Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken. Zo zijn de onderstaande punten een paar gegevens die opvallen:

- De Rozenkrans is de grootste school in deze categorie, maar heeft wel het kleinste aantal bouwknope in het gebouw.
- Het St. Jan is één van de kleinste scholen in deze categorie, maar heeft juist het grootste aantal bouwknope in het gebouw.
- De Wildenburg heeft ongeveer dezelfde oppervlakte als de Oester, maar heeft meer meters aan bouwknope.
- Wat ook opvalt is dat de Heilige Harten, de Wildenburg en de Oester een groot aantal aan venster- en deuraansluiting heeft als bouwknope.

U-waarden:

De vergelijkingen staan op pagina 17 weergegeven met bij elke vergelijking de eventuele toelichting. De U-waarden van de bouwschil staan weergegeven in *Vergelijking 3* en de U-waarden van de vensters en deuren staan weergegeven in *Vergelijking 4*.

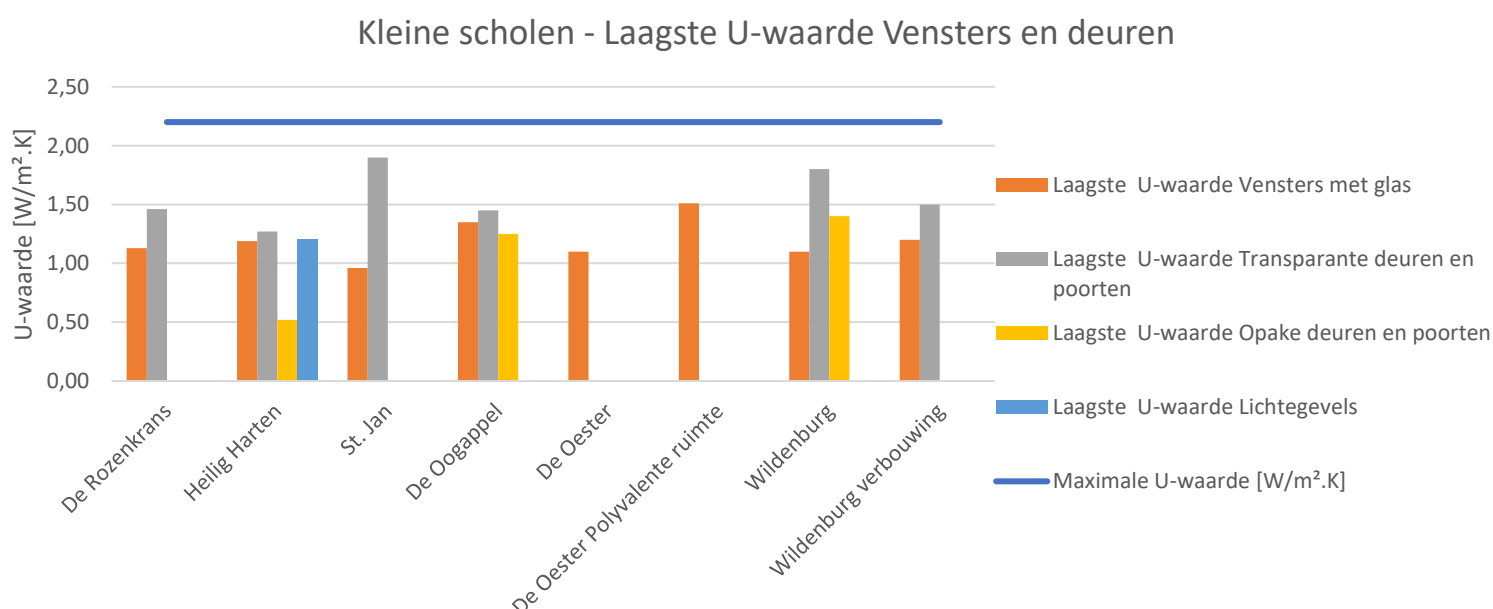
Vergelijking 3 Overzicht U-waarde bouwschil van de kleine scholen (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- Zoals te zien is in de vergelijking vallen alle laagste U-waarden binnen de maximale eis.
- Toch valt het op dat de U-waarden van Wildenburg verbouwing heel dicht tegen de maximale eis zitten.
- Tevens zitten de waarden voor het dak bij de Oogappel en de Oester dicht bij de eis. Net als de waarde van de wand voor de Heilige Harten.

Vergelijking 4 Overzicht U-waarde vensters en deuren van de kleine scholen (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- Alle waarden van de vensters en deuren zitten onder de maximale U-waarde.
- De waarden die het dichtst bij de maximale U-waarde komen zijn de transparante deuren.

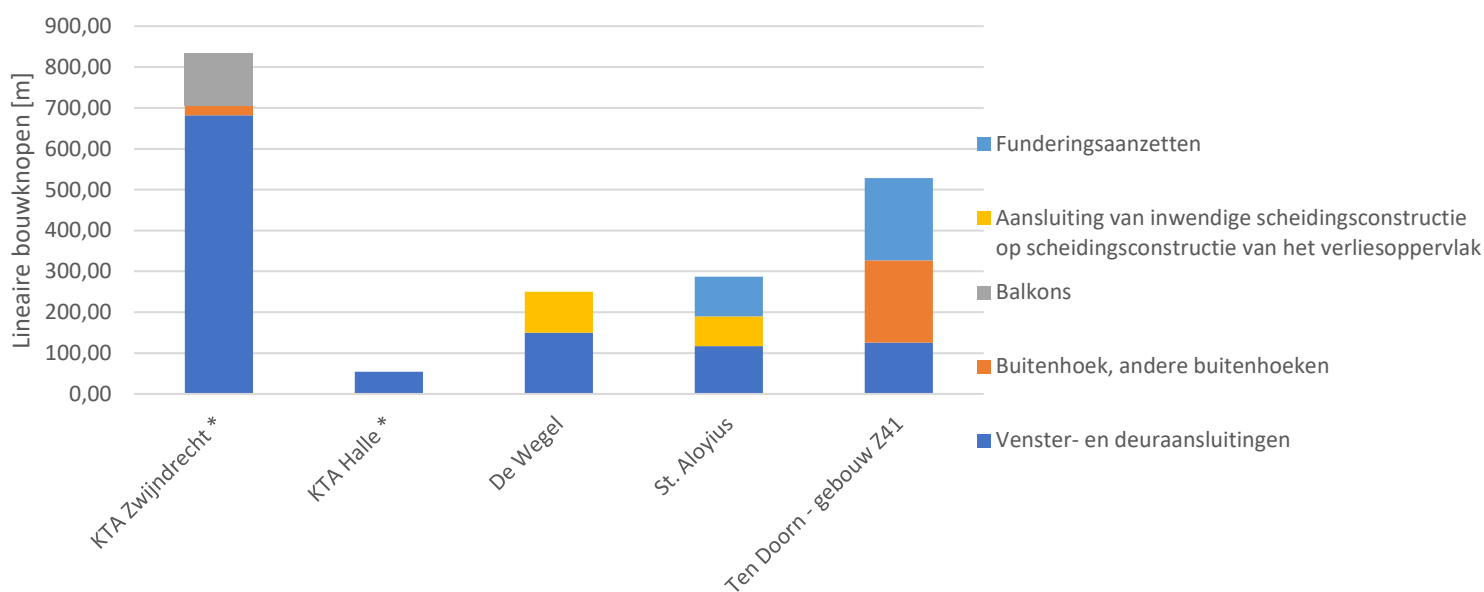
Middelgrote schoolgebouwen:

Bouwknopen:

Zoals te zien is in *Vergelijking 5* staan alle lineaire bouwknopen per school opgeteld voor de functie “school”. Hieruit valt al snel af te leiden dat de KTA Zwijndrecht het meeste aantal meters aan lineaire bouwknopen heeft. Tevens valt op dat ook hier bij iedere school een bouwknop is van venster- en deuraansluitingen.

Vergelijking 5 Overzicht bouwknopen van de middelgrote scholen (eigen vergelijking)

Middelgrote scholen - EPB - Niet aanvaarde lineaire bouwknopen



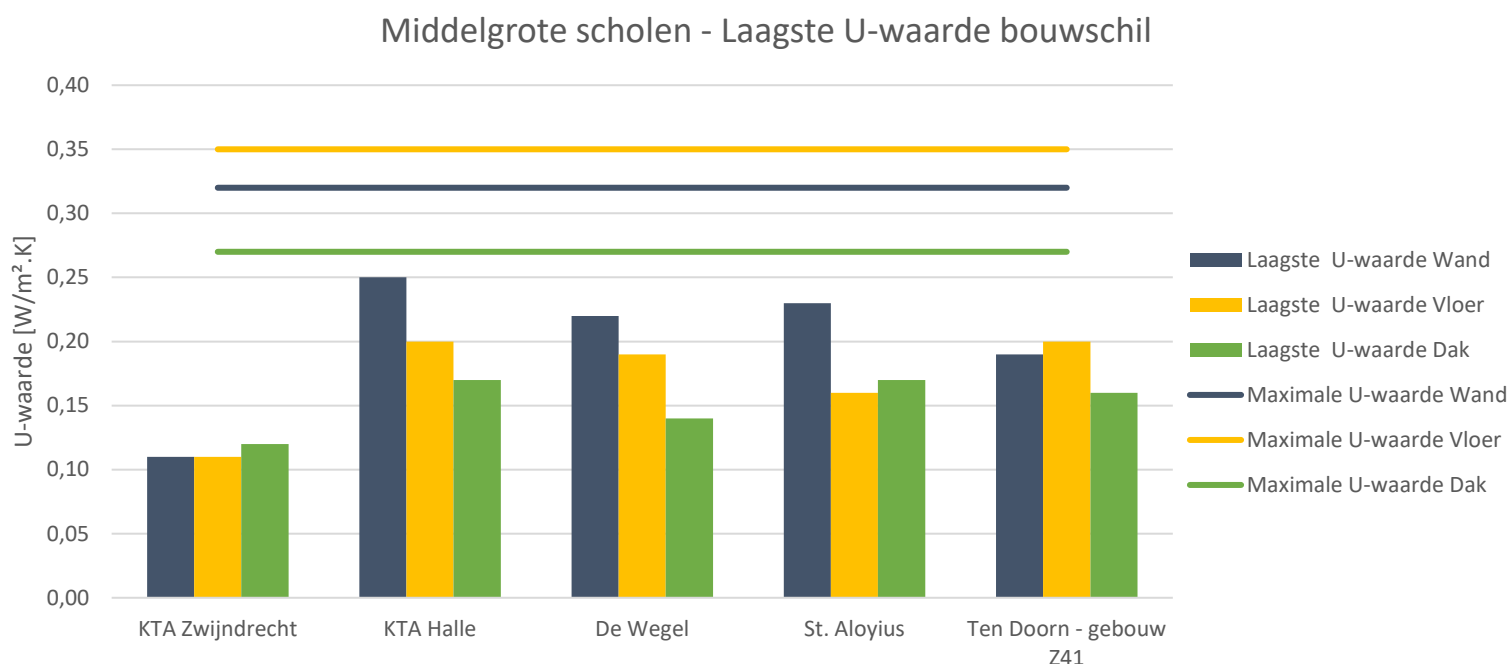
Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken. Zo zijn de onderstaande punten een paar gegevens die opvallen:

- De KTA Zwijndrecht is de grootste school in deze categorie met ook het grootste aantal bouwknopen. Tevens valt hier op dat er een enorm aantal aan venster- en deuraansluitingen zijn als bouwknop.
- De KTA Halle is de op een na grootste school in deze categorie, maar heeft het kleinste aantal bouwknopen.
- Het St. Aloyius heeft ongeveer dezelfde oppervlakte als Ten Doorn – gebouw Z41, maar zoals te zien is heeft het St. Aloyius ongeveer de helft minder aan bouwknopen.

U-waarden:

De vergelijkingen staan op pagina 19 weergegeven met bij elke vergelijking de eventuele toelichting. De U-waarden van de bouwschil staan weergegeven in *Vergelijking 6* en de U-waarden van de vensters en deuren staan weergegeven in *Vergelijking 7*.

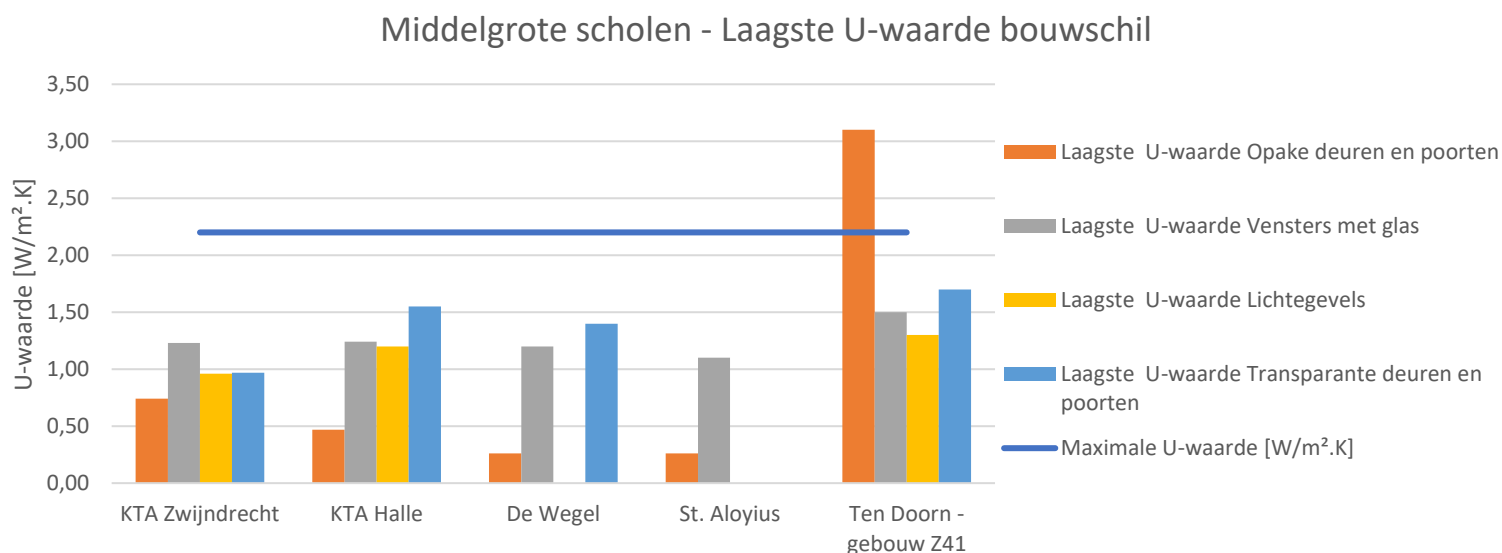
Vergelijking 6 Overzicht U-waarde bouwschil van de middel scholen (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- Alle U-waarden liggen ver onder de maximaal behaalbare U-waarde.
- Bij de KTA Zwijndrecht liggen de waardes extreem lager dan bij de andere scholen. Dit doordat het een passief gebouwde school is.
- De hoogste U-waarden die worden gehaald zitten bij de wanden.

Vergelijking 7 Overzicht U-waarde vensters en deuren van de middel scholen (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

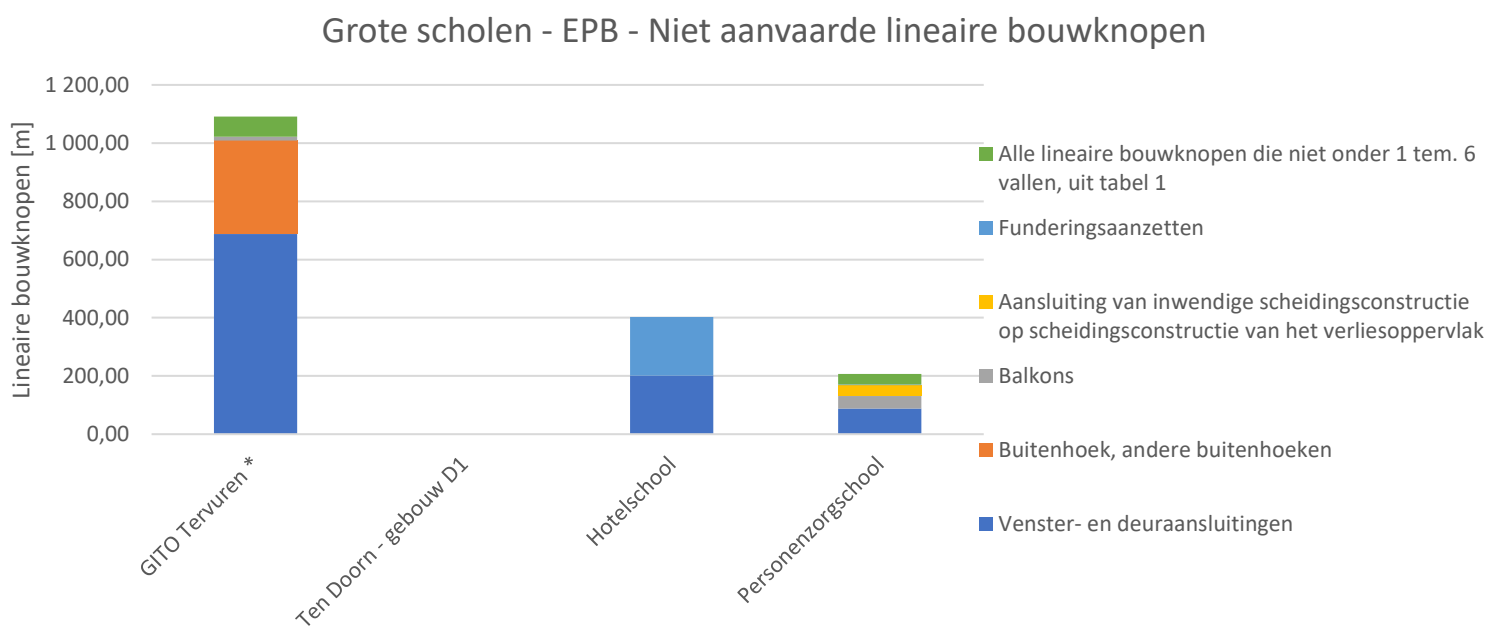
- Alle U-waarden liggen ver onder de maximale U-waarde, behalve de opake deuren en poorten van Ten Doorn – gebouw Z41.
- Het verschil tussen de U-waarden van de opake deuren en poorten van Ten Doorn – gebouw Z41 en De Wegel of St. Aloyius.

Grote schoolgebouwen:

Bouwknopen:

Zoals te zien is in *Vergelijking 8* staan alle lineaire bouwknopen per school opgeteld voor de functie school. Hieruit valt al snel af te leiden dat de GITO Tervuren het meeste aantal meters aan lineaire bouwknopen heeft. Ook valt op dat het gebouw Ten Doorn – D1 geen lineaire bouwknopen heeft.

Vergelijking 8 Overzicht bouwknopen van de grote scholen (eigen vergelijking)



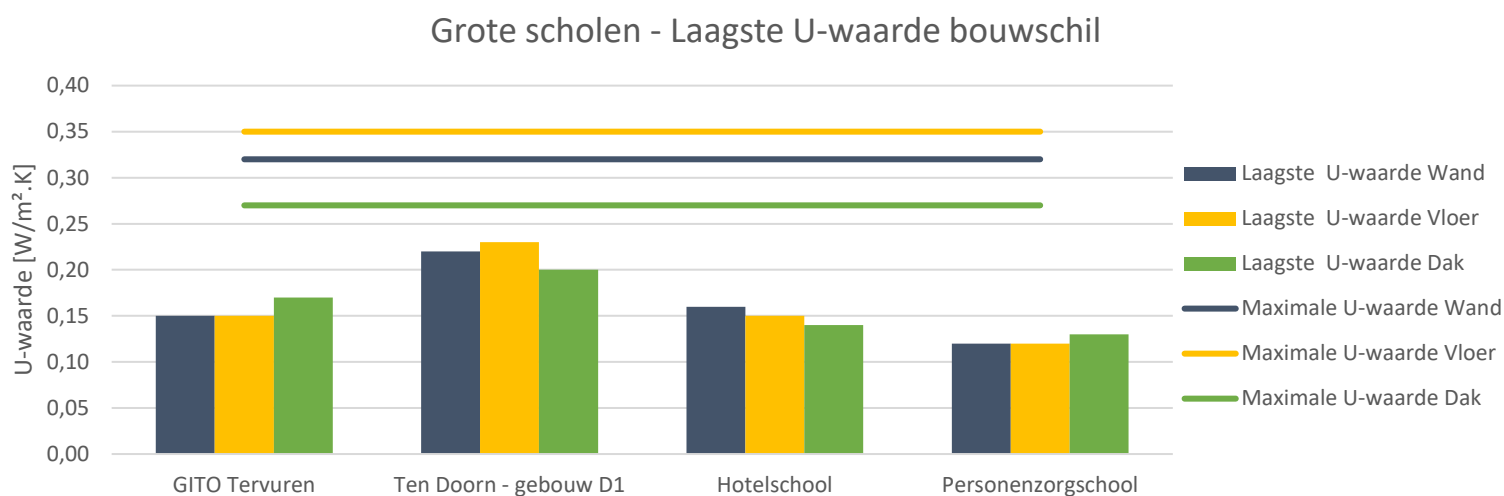
Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken. Zo zijn de onderstaande punten een paar gegevens die opvallen:

- Veel verschil in oppervlakte zit er tussen de GITO Tervuren en de Hotelschool niet, maar zoals te zien is in de vergelijking zit er wel een groot verschil in de bouwknopen.
- Ten Doorn – gebouw D1 heeft geen meters aan bouwknopen. Dit komt waarschijnlijk doordat het een renovatieproject is.
- Doordat de gebouwen van oppervlakte niet ver uit elkaar liggen is het verrassend dat de GITO Tervuren meer dan het dubbele aan bouwknopen heeft dan de Hotelschool.
- Ook hier weer veel meters aan venster- en deuraansluiting als bouwknop bij de GITO Tervuren.

U-waarden:

De vergelijkingen staan op de volgende pagina weergegeven met bij elke vergelijking de eventuele toelichting. De U-waarden van de bouwschil staan weergegeven in *Vergelijking 9* en de U-waarden van de vensters en deuren staan weergegeven in *Vergelijking 10*.

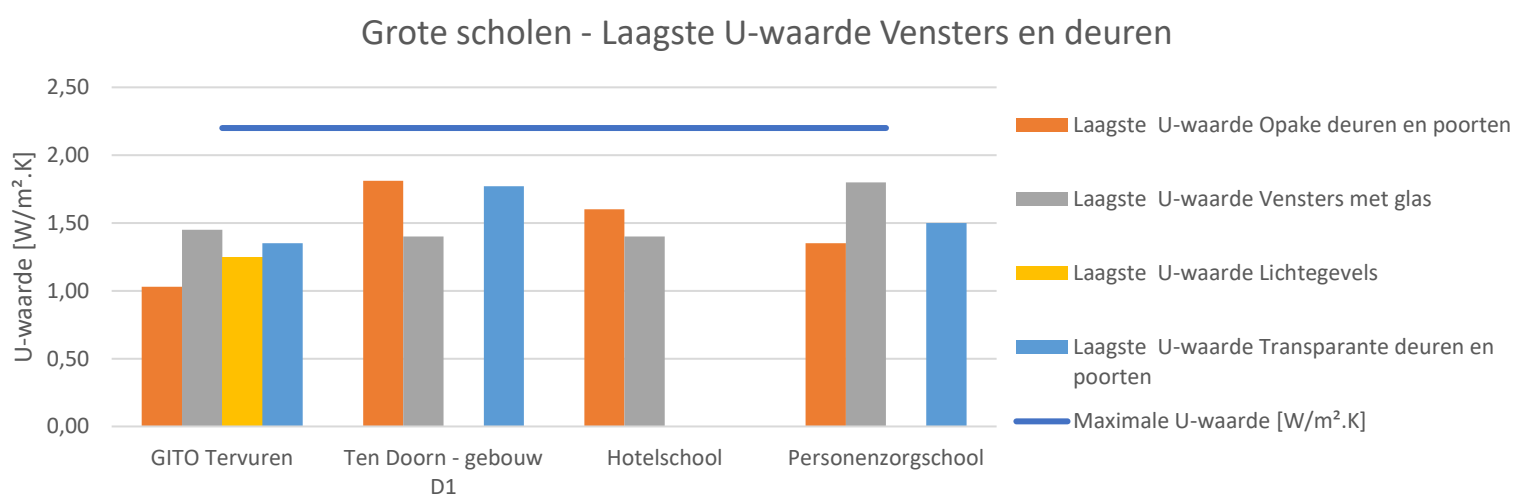
Vergelijking 9 Overzicht U-waarde bouwschil van de grote scholen (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- Ook hier liggen de U-waarden ver onder de maximale U-waarde.
- De U-waarden van Ten Doorn – gebouw D1 liggen hoger dan van de andere drie scholen op alle vlakken.

Vergelijking 10 Overzicht U-waarde vensters en deuren van de grote scholen (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- Ook bij de U-waarden van de vensters en deuren valt het op dat Ten Doorn – gebouw D1 grotere waardes heeft dan de GITO Tervuren.
- De opake deuren en poorten zijn het laagste bij de GITO Tervuren, maar het hoogste bij de Personenzorgschool.

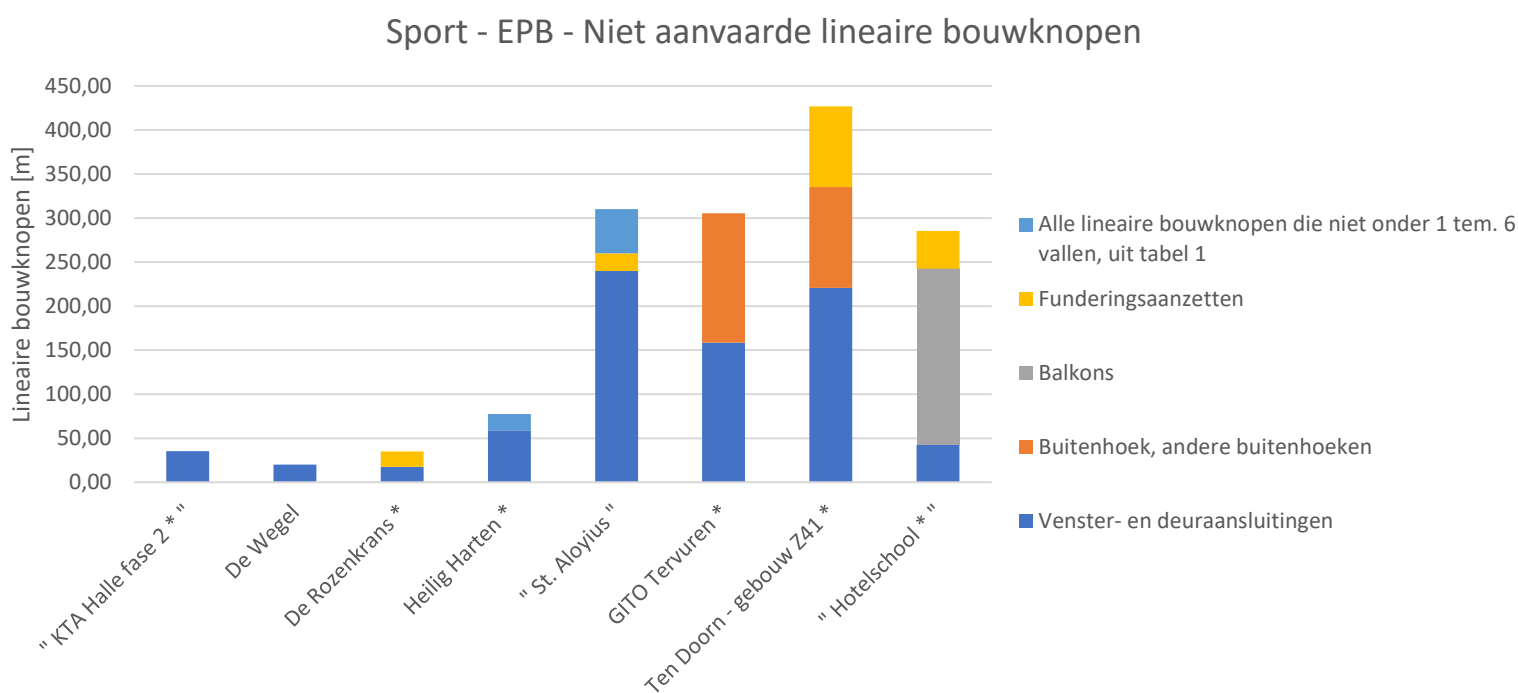
Sport

De oppervlaktes van de functie “sport” liggen niet ver uit elkaar zoals bij de functie “school”, om deze reden worden hier alle gebouwen met sport samengehouden. Sommige sport functies zijn in pandig bij de scholen, maar andere kunnen ook extern zijn. De sportzalen die extern zijn van de schoolgebouwen zijn aangegeven tussen aanhalingstekens.

Bouwknopen:

Zoals te zien is in *Vergelijking 11* staan alle lineaire bouwknopen per school opgeteld voor de functie sport. Hieruit valt al snel af te leiden dat Ten Doorn – gebouw Z41 het meeste aantal meters aan lineaire bouwknopen heeft. Tevens valt op dat ook hier bij iedere sportzaal een bouwknop is van venster- en deuraansluitingen.

Vergelijking 11 Overzicht bouwknopen van de sport (eigen vergelijking)



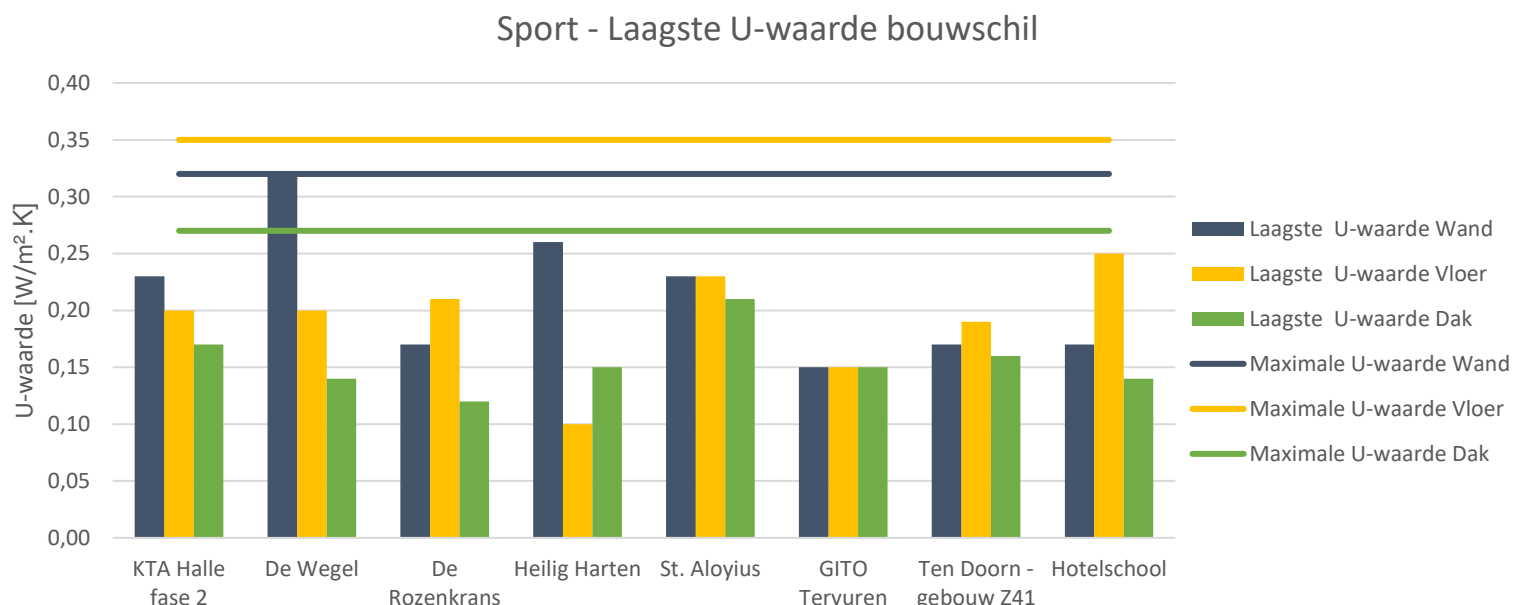
Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken. Zo zijn de onderstaande punten een paar gegevens die opvallen:

- De KTA Halle fase 2 is het grootste gebouw in de sport functie, maar heeft een van de kleinste bouwknopen.
- Ten Doorn – gebouw Z41 is het op één na grootste gebouw en heeft het grootste aantal bouwknopen.

U-waarden:

De vergelijkingen staan op de volgende pagina weergegeven met bij elke vergelijking de eventuele toelichting. De U-waarden van de bouwschil staan weergegeven in *Vergelijking 12* en de U-waarden van de vensters en deuren staan weergegeven in *Vergelijking 13*.

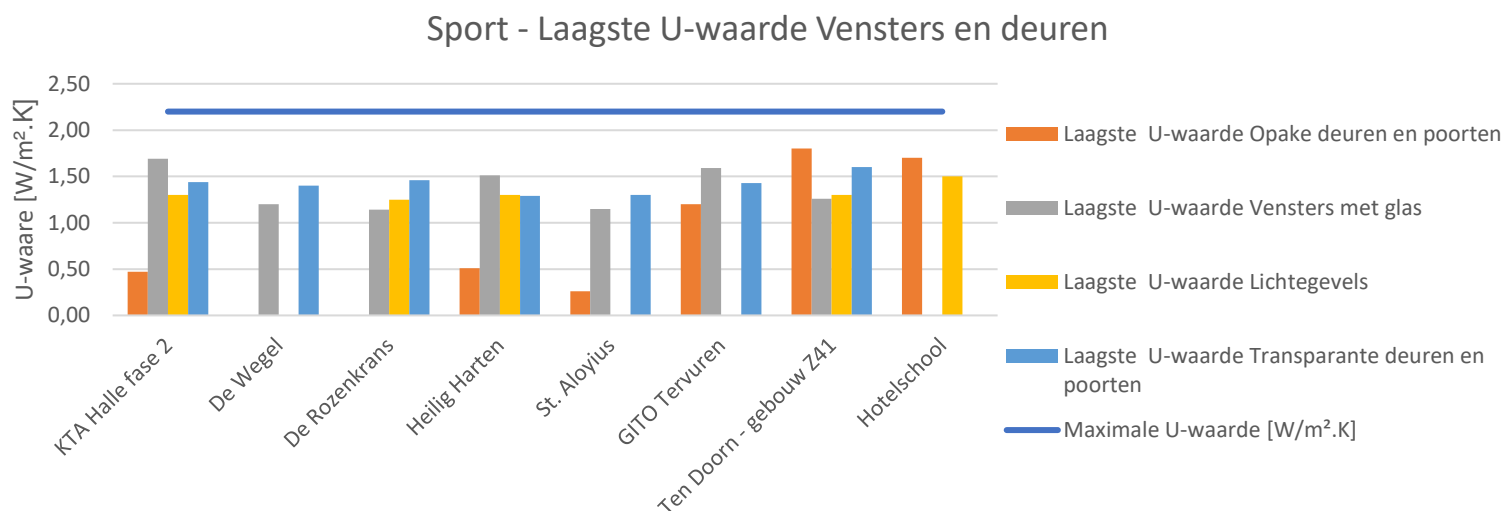
Vergelijking 12 Overzicht U-waarde bouwschil van sport (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- De laagste U-waarde wand van de Wegel ligt al tegen de maximale U-waarde wand aan.
- Het verschil in U-waarde vloer tussen Heilige Harten en de Hotelschool.
- De U-waarden van alle drie de categorieën zijn redelijk gelijk behalve bij de Wegel, Heilige Harten en de Hotelschool.

Vergelijking 13 Overzicht U-waarde vensters en deuren van sport (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- Ook hier alle U-waarden van de vensters en deuren onder de maximale U-waarde vensters.
- Het verschil in U-waarde opake deuren en poorten tussen Ten Doorn – gebouw Z41 en St. Aloyius. Dit is hetzelfde bij de Hotelschool en Heilige Harten.

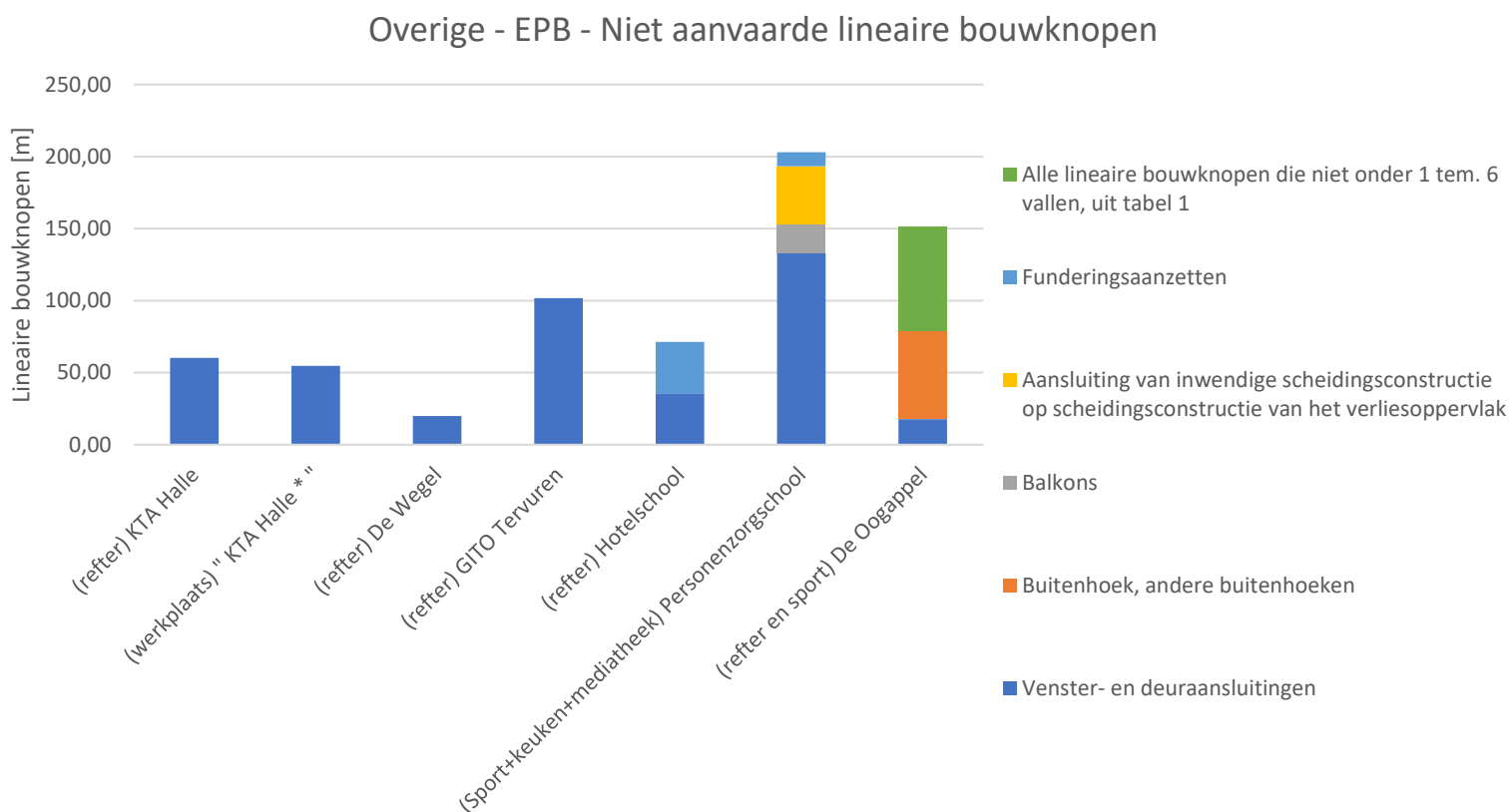
Overige

Overige is een combinatie van refter, werkplaats en andere combinaties. Doordat dit niet veel verschillende varianten zijn, zijn deze samengevoegd tot één categorie.

Bouwknopen:

Zoals te zien is in *Vergelijking 14* staan alle lineaire bouwknopen per school opgeteld voor de overige functies. Hierin staan diverse functies zoals: refter, werkplaats, sport + keuken + mediatheek en refter + sport. Hier valt op dat ook hier bij iedere functie een bouwknop is van venster- en deuraansluitingen.

Vergelijking 14 Overzicht bouwknopen van overige (eigen vergelijking)



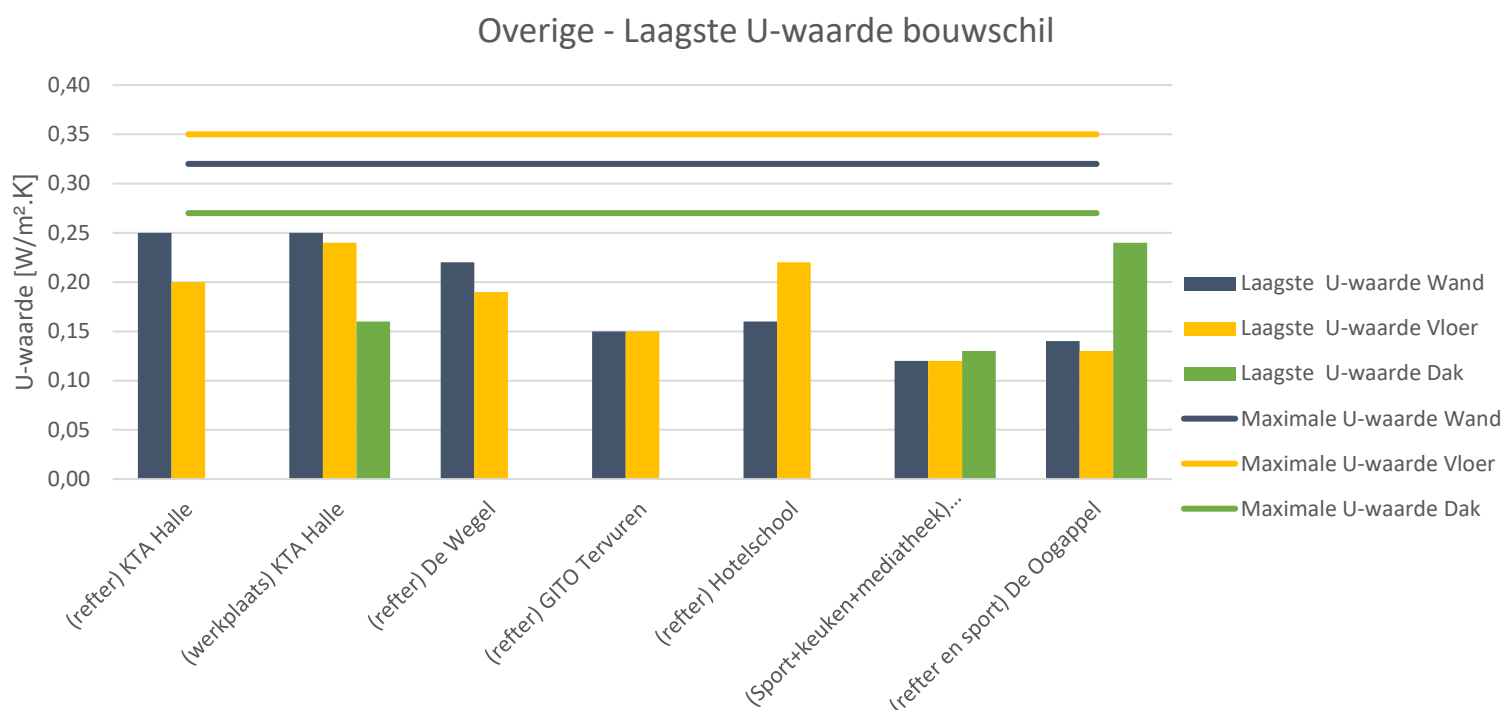
Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken. Zo zijn de onderstaande punten een paar gegevens die opvallen:

- De personenzorgschool is het grootste gebouw in de overige functie en heeft ook het grootste aantal bouwknopen.
- De GITO Tervuren is de op één na grootste refter, en heeft ook het grootste aantal bouwknopen van de refters.
- De Wegel is een relatief groot gebouw, maar heeft daar tegenover weinig bouwknopen.
- De Hotelschool is de grootste refter en heeft toch relatief weinig meter aan bouwknopen.

U-waarden:

De vergelijkingen staan op de volgende pagina weergegeven met bij elke vergelijking de eventuele toelichting. De U-waarden van de bouwschil staan weergegeven in *Vergelijking 15* en de U-waarden van de vensters en deuren staan weergegeven in *Vergelijking 16*.

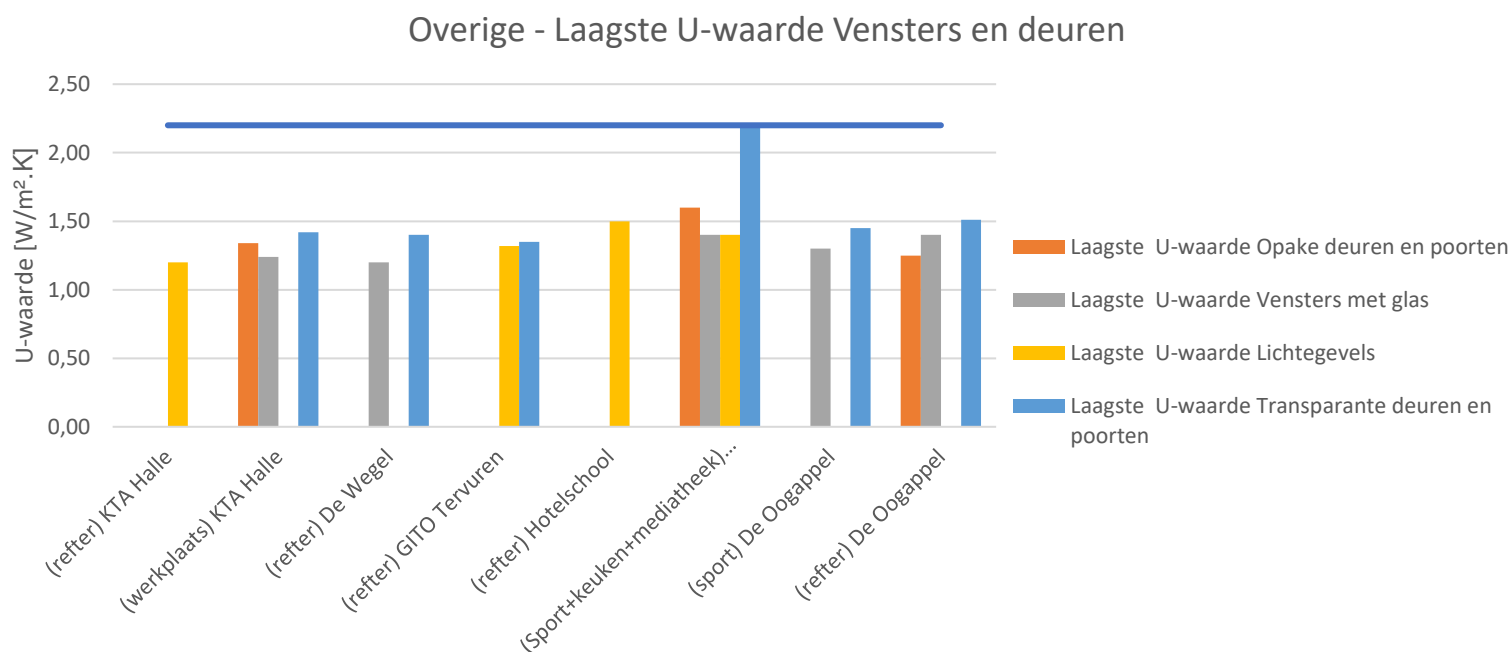
Vergelijking 15 Overzicht U-waarde bouwschil van overige (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- Het verschil in U-waarden wand/ vloer tussen KTA Halle en de Personenzorgschool.
- De drie U-waarden dak verschillen relatief veel van elkaar.

Vergelijking 16 Overzicht U-waarde vensters en deuren van overige (eigen vergelijking)



Uit de bovenstaande vergelijking kunnen diverse conclusies worden getrokken:

- De U-waarde transparante deuren en poorten bij de Personenzorgschool ligt tegen de maximale U-waarde aan.
- Alle U-waarden liggen dicht bij elkaar en zijn relatief hoog vergeleken met andere functies.

3. Deelconclusie

Aan de hand van deze deelrapportage kan er antwoord gegeven worden op de volgende deelvraag: "Welke problemen met de bouwschil zijn de meest voorkomende bij de reeds opgeleverde schoolgebouwen?"

Allereerst zijn de gegevens verzameld die nodig zijn voor het analyseren van de schoolgebouwen. Deze zijn aan de hand van vastgestelde parameters ingevuld in een analysetabel. Deze gegevens zijn van de documentendatabase van STRABAG zodat de gegevens betrouwbaar zijn. De parameters zijn in overleg met de begeleiders vanuit STRABAG vastgesteld. Dit zodat de juiste waardes werden genoteerd voor eventueel verder gebruik in het onderzoek. Zo zijn de diverse gebouwen verdeeld per functie. Zo zijn er schoolfuncties maar ook functies als sport, refter en werkplaats. Voor al deze onderdelen is gekeken naar de diverse bouwknopen en de U-waarden van zowel de bouwschil als de vensters die aanwezig zijn in het gebouw.

Doordat de oppervlaktes van de scholen ver uit elkaar liggen, is er gekozen om deze te categoriseren in drie categorieën. Zo zitten er zes scholen in de categorie klein, vijf in categorie middel en vier in categorie groot. De andere functies zijn verdeeld in sport en overige. Door de functies te splitsen kan er per functie gekeken worden waar de meeste problemen liggen en waar deze het beste kunnen worden aangepakt.

Voor de conclusie zijn alleen de EPB – niet aanvaardbare lineaire bouwknopen meegenomen, dit doordat de puntbouwknopen en de EPB – aanvaardbare bouwknopen niet veel toevoeging geven voor de eindconclusie. Wat opvalt is dat bij iedere functie een bouwknop zit op vlak van de venster- en deuraansluitingen, hier zal dus verder onderzoek naar gedaan worden. Zo worden er een aantal scholen uitgekozen die verder onderzocht worden. Deze zijn gekozen aan de hand van de gegevens die in het verslag te vinden zijn. De scholen die verder onderzocht worden zijn: de GITO Tervuren, gebouw Ten Doorn Z41, St. Jan en de KTA Zwijndrecht. Deze gebouwen hebben een hoog resultaat op bouwknopen, deze kunnen eventueel vergeleken worden met gebouwen die een beter resultaat hebben op bouwknopen zoals: de KTA Halle en de Rozenkrans.

Doordat voor de U-waarden is gekeken naar de laagste waarde vallen de meeste waardes ruim binnen de maximale eis. Toch zijn er hoge waardes die erg opvallen. Deze waardes kunnen dus nog verbeterd worden om zo een betere bouwschil te creëren. Hierin valt op dat bij iedere functie de hoogste waardes liggen bij de opake- en transparante deuren en poorten. Verder zijn de scholen die voor de bouwknopen uitgekozen zijn redelijk hetzelfde als de scholen die voor de U-waarden nodig zouden zijn. Toch komt hier nog een school extra bij om verder te onderzoeken namelijk de Heilige Harten.

De verzamelde gegevens van deelrapportage 1 worden verzameld en in deelrapportage twee verder uitgewerkt. Dan worden de problemen eruit gefilterd zodat deze verbeterd kunnen worden.

Bibliografie

- Bollaert, S. (2015). Nieuwbouw Zorgcampus. *Verpleegsterschool*. STRABAG, Genk. Opgeroepen op februari 5, 2019, van https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=24AAA50DAFFD63B8C12580880066021E&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Grobet, T. (2014). Masterplan vol vernieuwingen. *GO! School*. STRABAG, Ninove. Opgeroepen op februari 5, 2019, van https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=C278EFFBFC40FE09C12580880065FD48&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Kwadraad villaprojecten. (z.j.). *Definitie EPB*. Opgeroepen op April 03, 2019, van encyclo.nl: <http://www.encyclo.nl/lokaal/10375>
- Sanne Verbist. (2019). *Deelrapport 1*. Antwerpen.
- STRABAG Belgium. (Diverse data). Diverse documenten op harde schijf. Antwerpen, België: STRABAG Belgium.
- Vlaams Energieagentschap. (z.j.). *Bouwen en verbouwen*. Opgeroepen op februari 21, 2019, van [energiesparen.be: https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen](https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen)
- Vlaamse Overheid. (z.j.). *Bouwen, wonen en energie*. Opgeroepen op februari 21, 2019, van [vlaanderen.be: https://www.vlaanderen.be/nl/bouwen-wonen-en-energie#bouwen-en-verbouwen](https://www.vlaanderen.be/nl/bouwen-wonen-en-energie#bouwen-en-verbouwen)

Tabellen-, figuren- en vergelijkingenlijst

Tabellen

Tabel 1 Opbouw energieprestatieregelgeving (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	2
Tabel 2 Vergelijking E-peil, wonen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	3
Tabel 3 Vergelijking E-peil, niet-residentieel (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	3
Tabel 4 Vergelijking K-peil en S-peil (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	4
Tabel 5 Eisen renovatiewerken installaties (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	5
Tabel 6 Nieuwbouw, maximale U-waarden (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	7
Tabel 7 Maximaal E-peil, Vergelijking Nieuwbouw en IER (eigen tabel)	8
Tabel 8 Nieuwbouw, minimale ventilatievoorziening (eigen tabel)	8
Tabel 9 IER, maximale U-waarden (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	8
Tabel 10 IER, minimale ventilatievoorzieningen (eigen tabel)	8
Tabel 11 Renovatie, minimale ventilatievoorzieningen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	9
Tabel 12 Renovatie, minimale installatie-eis (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	9
Tabel 13 Voorwaarde EPB-aanvaarde bouwknopen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	11
Tabel 14 Opties bouwknopen (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	12
Tabel 15 Standaard Psi-waarde afstandhouders (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	14

Figuren

Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)	II
Figuur 2 (Vlaams Energieagentschap, z.j.)	4
Figuur 3 Voorbeeld weergave analysetabel, algemeen (eigen figuur)	10
Figuur 4 Voorbeeld weergave analysetabel, oppervlakte (eigen figuur)	11
Figuur 5 Voorbeeld weergave analysetabel, bouwknopen (eigen figuur)	11
Figuur 6 Voorbeeld weergave analysetabel, bouwschil (eigen figuur)	12
Figuur 7 Voorbeeld weergave analysetabel, luchtdichtheid (eigen figuur)	12
Figuur 8 Voorbeeld weergave analysetabel, opake deuren en poorten (eigen figuur)	13
Figuur 9 Voorbeeld weergave analysetabel, venster met glas (eigen figuur)	13
Figuur 10 Voorbeeld weergave analysetabel, lichtegevels (eigen figuur)	13
Figuur 11 Voorbeeld weergave analysetabel, transparante deuren en poorten (eigen figuur)	14

Vergelijkingen

Vergelijking 1 Oppervlakte functie school (eigen vergelijking)	15
Vergelijking 2 Overzicht bouwknopen van de kleine scholen (eigen vergelijking)	16
Vergelijking 3 Overzicht U-waarde bouwschil van de kleine scholen (eigen vergelijking)	17
Vergelijking 4 Overzicht U-waarde vensters en deuren van de kleine scholen (eigen vergelijking)	17
Vergelijking 5 Overzicht bouwknopen van de middelgrote scholen (eigen vergelijking)	18
Vergelijking 6 Overzicht U-waarde bouwschil van de middel scholen (eigen vergelijking)	19
Vergelijking 7 Overzicht U-waarde vensters en deuren van de middel scholen (eigen vergelijking) ...	19
Vergelijking 8 Overzicht bouwknopen van de grote scholen (eigen vergelijking)	20
Vergelijking 9 Overzicht U-waarde bouwschil van de grote scholen (eigen vergelijking)	21
Vergelijking 10 Overzicht U-waarde vensters en deuren van de grote scholen (eigen vergelijking)	21
Vergelijking 11 Overzicht bouwknopen van de sport (eigen vergelijking)	22
Vergelijking 12 Overzicht U-waarde bouwschil van sport (eigen vergelijking)	23
Vergelijking 13 Overzicht U-waarde vensters en deuren van sport (eigen vergelijking)	23
Vergelijking 14 Overzicht bouwknopen van overige (eigen vergelijking)	24
Vergelijking 15 Overzicht U-waarde bouwschil van overige (eigen vergelijking)	25
Vergelijking 16 Overzicht U-waarde vensters en deuren van overige (eigen vergelijking)	25

Bijlage

Bijlage 01: CU13739_DR 1_Versiebeheer _jcleijman_20190403

Bijlage 02: CU13739_DR 1_Analysetabel _jcleijman_20190403

Bijlage 03: CU13739_DR 1_Plattegrond scholen _jcleijman_20190329

Bijlage 01

Versiebeheer

Versie nr.	Gepubliceerde datum	Naam	Datum ontvangen	Functie	Criteria
Versie 1.0	25-03-2019	Bernard Vercouteren	26-03-2019	Docent	Opbouw lay-out van het deelrapport
Versie 2.0	28-03-2019	Gerald van den Berghen	28-03-2019	Student	Spelling en lay-out technische
		Roy Brevet	29-03-2019	Student	Spelling en lay-out technische
		Gijs Koole	01-04-2019	Student	Spelling en lay-out technische
Versie 3.0	29-03-2019	Lindsay Kolijn- de Silva	03-04-2019	Stagebegeleider	Spelling, opbouw rapport en inhoud controle
Versie 4.0	03-04-2019	3 ^e partij	15-04-2019		Spelling en opbouw rapport
Versie 5.0	16-04-2019				

Bijlage 02

Analysetablel opgeleverde schoolgebouwen

Analysetablel

									Oppervlakte [m²]						
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Extern / ander gebouw	E-peil [-]	K-peil [-]	Nieuwbouw	Anders	School	Sport	Refter	Werkplaats	Sport + keuken + Mediatheek	Sanitair	Overige vloeren [m²]
CL13	Antwerpen	KTA Zwijndrecht	School		E54	21	X	+ Passief gebouw	3 809,63						
CL23	Halle	KTA Halle	School		E64	38	X		3 580,08						
CL23	Halle	KTA Halle	Refter		E64	38	X				329,30				
CL23	Halle	KTA Halle	Werkplaats	X	E64	29	X					528,71			
CL23	Halle	KTA Halle fase 2	Sport	X	N.V.T.	23	X		1 200,00						
CL32	Eeklo	De Wegel	School		E63	28	X		2 396,53						
CL32	Eeklo	De Wegel	Sport		E63	28	X			344,00					
CL32	Eeklo	De Wegel	Refter		E63	28	X				470,25				
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	School		E46	23	X		1 909,00						
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	Sport		E46	23	X			954,00					
CL70	Ninove	Heilig Harten	School		E63	29	X	+ Aanbouw	929,30						
CL70	Ninove	Heilig Harten	Sport		E63	29	X			501,86					
CL70	Ninove	St. Aloyius	School		E58	29	X		3 306,00						
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport	X	E58	37	X			972,15					
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School		E56	25	X		6 344,40						
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Sport		E56	25	X			1 106,62					
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Refter		E56	25	X				508,43				
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	School		E54	25	X		3 391,01						
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	Sport		E54	25	X			1 144,00					
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw D1	School		N.V.T.	N.V.T.		Renovatie	6 125,00						
CL97	Kortrijk	Hotelschool	School		E72	32	X		5 921,34						
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Sport	X	E72	24	X			805,91					
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Refter		E72	32	X				542,30				
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	School		E61	28	X		4 970,88						
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	Sport + keuken + Mediatheek		E61	28	X						2 142,12		
CL97	Wingene	St. Jan	School		E59	31	X		863,11						
CL97	Wingene	St. Jan	Sanitaire verbouwing		E59	31	X							29,00	
CL97	Wingene	Wildenburg	School		E64	32	X		1 363,00						
CL97	Wingene	Wildenburg	Verbouwing		E64	32			*						
CL99	Appelterre	De Oogappel	School		E54	24	X		791,92						
CL99	Appelterre	De Oogappel	Sport		E54	24	X			170,00					
CL99	Appelterre	De Oogappel	Refter		E54	24	X				167,38				
CL99	Gooik	De Oester	School		E51	26	X		1 379,10						
CL99	Gooik	De Oester	Polyvalente ruimte		E51	26	X		*						

Analysetablel

				Lineaire bouwknoppen													Wandopbouw							
				EPB - aanvaard		EPB - Niet aanvaard							Puntbouwknoppen											
				Venster- en deuraansluitingen [m]	Funderingsaanzetten [m]	Venster- en deuraansluitingen [m]	Buitenhoek, andere buitenhoeken [m]	Balkons [m]	Aansluiting van inwendige scheidingsconstructie op scheidingsconstructie van het verliesoppervlak [m]	Funderingsaanzetten [m]	Alle lineaire bouwknoppen die niet onder 1 tem. 6 vallen, uit tabel 1 [m]	Buitenhoek 2 muren [m]	Onderbreken isolatielaat door andere dan metaal [m²]	Onderbreken isolatielaat door metaal [m²]	Bouwknoppen Optie A, B of C			Aantal types wandopbouw [st.]	Maximale U-waarde [W/m².K]	Hoogste U-waarde [W/m².K]	Laagste U-waarde [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde [W/m².K]		
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie																					
CL13	Antwerpen	KTA Zwijndrecht	School	531,58		681,56	23,67	127,70						1,50	B			4	0,32	0,19	0,11	0,12		
CL23	Halle	KTA Halle	School			54,45							1,44	0,28	B			2	0,32	0,34	0,25	0,27		
CL23	Halle	KTA Halle	Refter			60,21									B			1	0,32	0,25	0,25	0,25		
CL23	Halle	KTA Halle	Werkplaats			54,60								0,10	B			2	0,32	0,34	0,25	0,28		
CL23	Halle	KTA Halle fase 2	Sport			35,19								0,20	B			2	0,32	0,34	0,23	0,28		
CL32	Eeklo	De Wegel	School			150,00			100,00						B			2	0,32	0,32	0,22	0,27		
CL32	Eeklo	De Wegel	Sport			20,00									B			1	0,32	0,32	0,32	0,32		
CL32	Eeklo	De Wegel	Refter			20,00									B			1	0,32	0,22	0,22	0,22		
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	School			80,50	20,00			15,50				1,80	B			2	0,32	0,28	0,16	0,20		
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	Sport			17,55				17,55				4,80	B			2	0,32	0,28	0,17	0,22		
CL70	Ninove	Heilig Harten	School			134,69					31,07	15,15		0,28	B			2	0,32	0,36	0,30	0,31		
CL70	Ninove	Heilig Harten	Sport			58,96					18,42			2,45	B			2	0,32	0,30	0,26	0,29		
CL70	Ninove	St. Aloyius	School			116,74			73,50	96,42					B			1	0,32	0,23	0,23	0,23	0,23	
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport			240,00				20,00	50,00				B			1	0,32	0,23	0,23	0,23	0,23	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School			687,49	321,61	13,31			68,96			12,40	B			3	0,32	0,24	0,15	0,20		
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Sport			158,53	146,67						1,89	2,53	B			2	0,32	0,21	0,15	0,19		
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Refter			101,80									B			1	0,32	0,15	0,15	0,15		
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	School			126,00	201,29			201,29			0,64		B			1	0,32	0,19	0,19	0,19		
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	Sport			220,76	114,23			91,87			2,17		B			4	0,32	0,30	0,17	0,22		
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw D1	School												-			4	0,32	0,31	0,22	0,25		
CL97	Kortrijk	Hotelschool	School			201,39				201,39					B			5	0,32	4,40	0,16	0,43		
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Sport			42,61	200,00			42,61			5,76		B			2	0,32	0,32	0,17	0,21		
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Refter			35,65				35,65					B			2	0,32	0,20	0,16	0,18		
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	School			88,00	42,90	37,70	2,10	36,50					B			3	0,32	0,23	0,12	0,17		
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	Sport + keuken + Mediatheek			133,10	20,00	40,10	9,90						B			5	0,32	0,30	0,12	0,20		
CL97	Wingene	St. Jan	School			97,19			113,14	43,07					B			2	0,32	0,19	0,18	0,18		
CL97	Wingene	St. Jan	Sanitaire verbouwing												B			1	0,32	0,18	0,18	0,18		
CL97	Wingene	Wildenburg	School			119,57			87,28	42,43					B			1	0,32	0,19	0,19	0,19		
CL97	Wingene	Wildenburg	Verbouwing												B			1	0,32	0,30	0,30	0,30		
CL99	Appelterre	De Oogappel	School	74,24	30,21	72,19					86,40				B			2	0,32	0,24	0,14	0,21		
CL99	Appelterre	De Oogappel	Sport	39,32	17,73	61,40					72,12				B			2	0,32	0,24	0,14	0,19		
CL99	Appelterre	De Oogappel	Refter	*	*	*					*				B			*	*	*	*	*		
CL99	Gooik	De Oester	School			117,10					40,00				B			2	0,32	0,34	0,22	0,28		
CL99	Gooik	De Oester	Polyvalente ruimte												B			2	0,32	0,34	0,22	0,28		

Analysetablel

				Vloeropbouw						Dakopbouw							Luchtdichtheid		
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Aantal types vloeropbouw [st.]	Maximale U-waarde [W/m².K]	Hoogste U-waarde [W/m².K]	Laagste U-waarde [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde [W/m².K]	Vloeropbouw	Type dak	Aantal types dakopbouw [st.]	Maximale U-waarde [W/m².K]	Hoogste U-waarde [W/m².K]	Laagste U-waarde [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde [W/m².K]	Dakopbouw	N50	V50	Luchtdichtheid
																	[l/h]	[m³/h.m²]	
CL13	Antwerpen	KTA Zwijndrecht	School	4	0,35	0,15	0,11	0,13		Plat dak	2	0,27	0,14	0,12	0,14		0,55	1,17	
CL23	Halle	KTA Halle	School	2	0,35	0,32	0,20	0,26		Plat dak	1	0,27	0,17	0,17	0,17		0,67	1,90	
CL23	Halle	KTA Halle	Refter	1	0,35	0,20	0,20	0,20									0,67	1,90	
CL23	Halle	KTA Halle	Werkplaats	1	0,35	0,24	0,24	0,24		Plat dak	1	0,27	0,16	0,16	0,16				
CL23	Halle	KTA Halle fase 2	Sport	1	0,35	0,20	0,20	0,20		Plat dak	1	0,27	0,17	0,17	0,17			6,00	
CL32	Eeklo	De Wegel	School	2	0,35	0,20	0,19	0,19		Hellend/ Plat dak	1	0,27	0,14	0,14	0,14		1,60	4,90	
CL32	Eeklo	De Wegel	Sport	1	0,35	0,20	0,20	0,20		Plat dak	1	0,27	0,14	0,14	0,14		1,60	4,90	
CL32	Eeklo	De Wegel	Refter	1	0,35	0,19	0,19	0,19									1,60	4,90	
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	School	1	0,35	0,21	0,21	0,21		Plat dak	1	0,27	0,12	0,12	0,12		2,07	5,02	
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	Sport	1	0,35	0,21	0,21	0,21		Plafond/ Plat dak	2	0,27	0,17	0,12	0,15		2,07	5,02	
CL70	Ninove	Heilig Harten	School	3	0,35	0,23	0,13	0,17		Plat dak	1	0,27	0,15	0,15	0,15				
CL70	Ninove	Heilig Harten	Sport	2	0,35	0,15	0,10	0,13		Plat dak	2	0,27	0,18	0,15	0,17				
CL70	Ninove	St. Aloyius	School	2	0,35	0,24	0,16	0,20		Plat dak	1	0,27	0,17	0,17	0,17			6,00	
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport	1	0,35	0,23	0,23	0,23		Plat dak	2	0,27	0,25	0,21	0,23			6,00	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	3	0,35	0,34	0,15	0,24		Plat dak	2	0,27	0,20	0,17	0,18		1,33	3,82	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Sport	2	0,35	0,24	0,15	0,20		Plat dak	3	0,27	0,18	0,15	0,17		1,33	3,82	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Refter	1	0,35	0,15	0,15	0,15									1,33	3,82	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	School	1	0,35	0,20	0,20	0,20		Plat dak	1	0,27	0,16	0,16	0,16		1,12	3,56	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	Sport	2	0,35	0,20	0,19	0,20		Hellend/ Plat dak	2	0,27	0,18	0,16	0,17		1,12	3,56	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw D1	School	1	0,35	0,23	0,23	0,23		Plat dak	1	0,27	0,20	0,20	0,20				
CL97	Kortrijk	Hotelschool	School	2	0,35	0,22	0,15	0,19		Hellend/ Plat dak	2	0,27	0,16	0,14	0,15		1,52	4,45	
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Sport	1	0,35	0,25	0,25	0,25		Hellend/ Plat dak	2	0,27	0,21	0,14	0,18				
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Refter	1	0,35	0,22	0,22	0,22									1,52	4,45	
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	School	2	0,35	0,23	0,12	0,15		Hellend/ Plat dak	2	0,27	0,21	0,13	0,17		1,86	4,82	
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	Sport + keuken + Mediatheek	2	0,35	0,34	0,12	0,23		Plafond/ Plak dak	2	0,27	0,24	0,13	0,15		1,86	4,82	
CL97	Wingene	St. Jan	School	2	0,35	0,26	0,23	0,25		Plat dak	1	0,27	0,17	0,17	0,17				
CL97	Wingene	St. Jan	Sanitaire verbouwing																
CL97	Wingene	Wildenburg	School	3	0,35	0,31	0,19	0,25		Hellend/ Plat dak	3	0,27	0,22	0,17	0,20				
CL97	Wingene	Wildenburg	Verbouwing	1	0,35	0,34	0,34	0,34											
CL99	Appelterre	De Oogappel	School	1	0,35	0,10	0,10	0,10		Hellend dak	1	0,27	0,24	0,24	0,24		1,66	4,26	
CL99	Appelterre	De Oogappel	Sport	1	0,35	0,13	0,13	0,13		Hellend dak	1	0,27	0,24	0,24	0,24		1,66	4,26	
CL99	Appelterre	De Oogappel	Refter	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*		1,66	4,26	
CL99	Gooik	De Oester	School	2	0,35	0,25	0,14	0,20		PLBD 12 PIR	1	0,27	0,21	0,21	0,21		0,59	1,56	
CL99	Gooik	De Oester	Polyvalente ruimte	1	0,35	0,14	0,14	0,14		PLDST 12 PIR	1	0,27	0,24	0,24	0,24		0,59	1,56	

Analysetablel

				Opake deuren en poorten										Beglazing												
														Vensters met glas												
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Noord Venster opp. [m²]	Oost Venster opp. [m²]	Zuid Venster opp. [m²]	West Venster opp. [m²]	Daken Venster opp. [m²]	Maximale U-waarde [W/m².K]	Hoogste U-waarde [W/m².K]	Laagste U-waarde [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde [W/m².K]	Opake deuren en poorten	Noord Venster opp. [m²]	Oost Venster opp. [m²]	Zuid Venster opp. [m²]	West Venster opp. [m²]	Daken Venster opp. [m²]	Maximale U-waarde Glas [W/m².K]	Hoogste U-waarde Glas [W/m².K]	Laagste U-waarde Glas [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde Glas [W/m².K]	Hoogste U-waarde Venster [W/m².K]	Laagste U-waarde Venster [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde Venster [W/m².K]	Vensters met glas
CL13	Antwerpen	KTA Zwijndrecht	School	8,62	4,23	5,92	12,00	2,00	2,20	6,00	0,74	2,16		121,50	32,34	36,69	39,31	-	1,30	1,10	0,60	0,61	1,79	1,23	1,24	
CL23	Halle	KTA Halle	School		11,93	5,67		1,00	2,20	6,00	0,47	4,32		21,96	71,34	29,65	100,38	1,44	1,30	1,00	1,00	1,00	1,69	1,24	1,68	
CL23	Halle	KTA Halle	Refter																							
CL23	Halle	KTA Halle	Werkplaats		42,60				2,20	1,34	1,34	1,34		12,50		7,60	15,97	1,50	1,30	1,00	1,00	1,00	2,15	1,24	1,72	
CL23	Halle	KTA Halle fase 2	Sport					2,86	2,20	0,47	0,47	0,47		70,61	6,33	22,71			1,30	1,00	1,00	1,00	1,69	1,69	1,69	
CL32	Eeklo	De Wegel	School					1,35	2,20	0,26	0,26	0,26		20,78	175,79	50,32	174,24	1,44	1,30	1,23	1,00	1,00	1,89	1,20	1,28	
CL32	Eeklo	De Wegel	Sport											18,18	27,04		28,85		1,30	1,00	1,00	1,00	1,40	1,20	1,25	
CL32	Eeklo	De Wegel	Refter												94,15		40,44		1,30	1,00	1,00	1,00	1,30	1,20	1,21	
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	School											38,59	10,71	53,88	15,98		1,30	1,00	1,00	1,00	1,25	1,13	1,19	
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	Sport													34,26	6,25		1,30	1,00	1,00	1,00	1,52	1,14	1,28	
CL70	Ninove	Heilig Harten	School					1,32	2,20	1,58	0,52	1,05		62,52	28,32	8,76	26,32	1,00	1,30	1,23	1,00	1,01	1,96	1,19	1,47	
CL70	Ninove	Heilig Harten	Sport		0,63			0,63	2,20	0,52	0,51	0,52		30,54					1,30	1,00	1,00	1,00	1,51	1,51	1,51	
CL70	Ninove	St. Aloyius	School					1,00	2,20	0,26	0,26	0,26		133,35	57,75	174,78	84,55	17,74	1,30	2,68	1,00	1,03	2,49	1,10	1,33	
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport					1,00	2,20	0,26	0,26	0,26		176,87	150,76	100,00	128,00		1,30	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	5,60		5,60	2,76	2,88	2,20	2,20	1,03	1,53		54,60	53,66	26,52	36,10	1,00	1,30	1,23	1,00	1,01	1,59	1,45	1,59	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Sport				4,14		2,20	1,20	1,20	1,20			1,98	13,37			1,30	1,00	1,00	1,00	1,59	1,59	1,59	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Refter																							
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	School	2,83					2,20	3,10	3,10	3,10		16,35	114,57	44,48	66,03	3,24	1,30	1,50	1,00	1,01	2,10	1,50	1,63	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	Sport			5,30			2,20	1,80	1,80	1,80						144,14	1,30	0,90	0,90	0,90	1,26	1,26	1,26	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw D1	School	6,21	6,21	6,21	6,21		2,20	1,85	1,81	1,83		52,76	52,76	52,76	52,76	1,00	1,30	1,23	1,00	1,03	1,90	1,40	1,56	
CL97	Kortrijk	Hotelschool	School	14,57	2,97	5,37	4,56		2,20	1,70	1,60	1,61		14,22		17,10		450,93	1,30	1,23	0,90	1,07	2,60	1,40	1,88	
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Sport		3,09		3,09		2,20	1,70	1,70	1,70														
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Refter																							
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	School											27,33	43,88	22,24	20,06	4,20	1,30	1,10	1,00	1,09	1,90	1,35	1,75	
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	Sport + keuken + Mediatheek	5,46					2,20	1,60	1,60	1,60		42,04	42,04	42,04	42,04	35,00	1,30	1,10	1,00	1,09	1,73	1,40	1,54	
CL97	Wingene	St. Jan	School											9,26	91,63	56,54	23,80	1,00	1,30	1,10	1,00	1,00	1,86	0,96	1,28	
CL97	Wingene	St. Jan	Sanitaire verbouwing																							
CL97	Wingene	Wildenburg	School		2,76				2,20	1,40	1,40	1,40			86,20	47,29	71,65	86,17	1,30	1,10	0,90	1,00	1,53	1,10	1,30	
CL97	Wingene	Wildenburg	Verbouwing											X			2,14		1,30	1,10	1,00	1,07	1,76	1,20	1,57	
CL99	Appelterre	De Oogappel	School	10,59	2,35				2,20	6,00	1,25	3,32		9,53	4,68	10,11		1,35	1,30	1,10	1,00	1,01	1,90	1,35	1,66	
CL99	Appelterre	De Oogappel	Sport											7,40		7,52	7,09		1,30	1,00	1,00	1,00	1,30	1,30	1,30	
CL99	Appelterre	De Oogappel	Refter	4,42					2,20	1,25	1,25	1,25		11,45		11,45	6,82		1,30	1,00	1,00	1,00	1,50	1,40	1,47	
CL99	Gooik	De Oester	School											58,71	73,82	5,60	60,19		1,30	1,70	1,00	1,12	2,78	1,10	1,75	
CL99	Gooik	De Oester	Polyvalente ruimte											19,35	26,10	3,95			1,30	2,10	1,10	1,63	2,78	1,51	2,02	

Analysetablel

				Beglazing													
				Lichtegevels													
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Noord Venster opp. [m²]	Oost Venster opp. [m²]	Zuid Venster opp. [m²]	West Venster opp. [m²]	Daken Venster opp. [m²]	Maximale U-waarde Glas [W/m².K]	Hoogste U-waarde Glas [W/m².K]	Laagste U-waarde Glas [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde Glas [W/m².K]	Maximale U-waarde Venster [W/m².K]	Hoogste U-waarde Venster [W/m².K]	Laagste U-waarde Venster [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde Venster [W/m².K]	Lichtgevels
CL13	Antwerpen	KTA Zwijndrecht	School	17,72				1,30	0,60	0,60	0,60	2,20	0,96	0,96	0,96		
CL23	Halle	KTA Halle	School	43,03	205,20	86,85	32,72		1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	3,00	1,20	2,16	
CL23	Halle	KTA Halle	Refter	51,33	79,24		80,44		1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	1,30	1,20	1,27	
CL23	Halle	KTA Halle	Werkplaats														
CL23	Halle	KTA Halle fase 2	Sport			72,29			1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	1,30	1,30	1,30	
CL32	Eeklo	De Wegel	School														
CL32	Eeklo	De Wegel	Sport														
CL32	Eeklo	De Wegel	Refter														
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	School														
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	Sport		36,98		91,52		1,30	1,25	1,25	1,25	2,20	1,25	1,25	1,25	
CL70	Ninove	Heilig Harten	School	18,03	6,77	26,00			1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	1,90	1,20	1,38	
CL70	Ninove	Heilig Harten	Sport				5,49		1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	1,30	1,30	1,30	
CL70	Ninove	St. Aloyius	School														
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport														
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	121,36	53,57	75,43	193,97		1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	3,00	1,25	1,57	
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Sport														
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Refter		120,37	32,17			1,30	1,00	1,00	1,00	2,20	1,33	1,32	1,33	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	School	24,47	52,40	6,60			1,30	1,10	1,10	1,10	2,20	2,00	1,30	1,54	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	Sport	95,73		95,73	36,96		1,30	1,10	1,10	1,10	2,20	1,40	1,30	1,37	
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw D1	School														
CL97	Kortrijk	Hotelschool	School	388,24			123,10										
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Sport	16,59		87,65			1,30	1,10	1,00	1,03	2,20	1,60	1,50	1,57	
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Refter	77,92					1,30	1,10	1,10	1,10	2,20	1,60	1,50	1,57	
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	School	28,86	115,39	31,20	220,28		1,30	1,10	1,00	1,08	2,20	1,70	1,50	1,65	
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	Sport + keuken + Mediatheek	171,25	22,11				1,30	1,10	1,10	1,10	2,20	1,60	1,40	1,50	
CL97	Wingene	St. Jan	School														
CL97	Wingene	St. Jan	Sanitaire verbouwing														
CL97	Wingene	Wildenburg	School														
CL97	Wingene	Wildenburg	Verbouwing														
CL99	Appelterre	De Oogappel	School														
CL99	Appelterre	De Oogappel	Sport														
CL99	Appelterre	De Oogappel	Refter														
CL99	Gooik	De Oester	School														
CL99	Gooik	De Oester	Polyvalente ruimte														

Analysetablel

				Beglazing											
				Transparante deuren en poorten											
Code	Locatie	Schoolnaam	Functie	Noord Venster opp. [m²]	Oost Venster opp. [m²]	Zuid Venster opp. [m²]	West Venster opp. [m²]	Daken Venster opp. [m²]	Maximale U-waarde [W/m².K]	Hoogste U-waarde [W/m².K]	Laagste U-waarde [W/m².K]	Gemiddelde U-waarde [W/m².K]	Transparante deuren en poorten	Beglazing	Verliesoppervlakte [m²]
CL13	Antwerpen	KTA Zwijndrecht	School	17,73	2,62	7,90	8,76		2,20	1,08	0,97	0,99			6 754
CL23	Halle	KTA Halle	School		5,54				2,20	1,65	1,55	1,60			5 697
CL23	Halle	KTA Halle	Refter												*
CL23	Halle	KTA Halle	Werkplaats			2,68	2,77		2,20	1,42	1,42	1,42			1 479
CL23	Halle	KTA Halle fase 2	Sport	2,07	2,07	2,07			2,20	1,44	1,44	1,44			3 902
CL32	Eeklo	De Wegel	School	34,42					2,20	1,60	1,40	1,49			4 882
CL32	Eeklo	De Wegel	Sport				10,62		2,20	1,40	1,40	1,40			*
CL32	Eeklo	De Wegel	Refter			9,55			2,20	1,50	1,40	1,47			*
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	School	22,66		10,08			2,20	1,56	1,46	1,48			5 181
CL37	Oostduinkerke	De Rozenkrans	Sport			12,82	3,19		2,20	1,56	1,46	1,49			*
CL70	Ninove	Heilig Harten	School		3,14				2,20	1,27	1,27	1,27			3 012
CL70	Ninove	Heilig Harten	Sport			2,86			2,20	1,29	1,29	1,29			*
CL70	Ninove	St. Aloyius	School												5 509
CL70	Ninove	St. Aloyius	Sport		5,58	20,92	11,20		2,20	1,30	1,30	1,30			2 980
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	School	5,47	4,60	4,60	13,77		2,20	2,02	1,35	1,46			12 348
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Sport		2,07	3,06			2,20	2,02	1,43	1,64			*
CL84	Tervuren	GITO Tervuren	Refter		5,47	2,30			2,20	1,43	1,35	1,40			*
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	School		15,85	6,03			2,20	1,81	1,70	1,74			7 284
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw Z41	Sport	6,10		9,59	6,10		2,20	1,73	1,60	1,70			*
CL93	Eeklo	Ten Doorn - gebouw D1	School	4,90	4,90	4,90	4,90		2,20	1,79	1,77	1,78			-
CL97	Kortrijk	Hotelschool	School												10 016
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Sport												2 848
CL97	Kortrijk	Hotelschool	Refter												*
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	School	10,03	13,36		6,26		2,20	1,90	1,80	1,88			11 341
CL97	Kortrijk	Personenzorgschool	Sport + keuken + Mediatheek	4,18					2,20	2,20	2,20	2,20			*
CL97	Wingene	St. Jan	School		8,96		6,54		2,20	2,20	1,90	2,07			1 752
CL97	Wingene	St. Jan	Sanitaire verbouwing												*
CL97	Wingene	Wildenburg	School		16,16	4,72	18,38		2,20	2,20	1,80	2,00			2 331
CL97	Wingene	Wildenburg	Verbouwing				17,04		2,20	1,70	1,50	1,60			*
CL99	Appelterre	De Oogappel	School	5,64	4,23	2,70			2,20	2,13	1,45	1,62			2 208
CL99	Appelterre	De Oogappel	Sport			3,34			2,20	1,45	1,45	1,45			*
CL99	Appelterre	De Oogappel	Refter			2,70			2,20	1,51	1,51	1,51			*
CL99	Gooik	De Oester	School												3 597
CL99	Gooik	De Oester	Polyvalente ruimte												

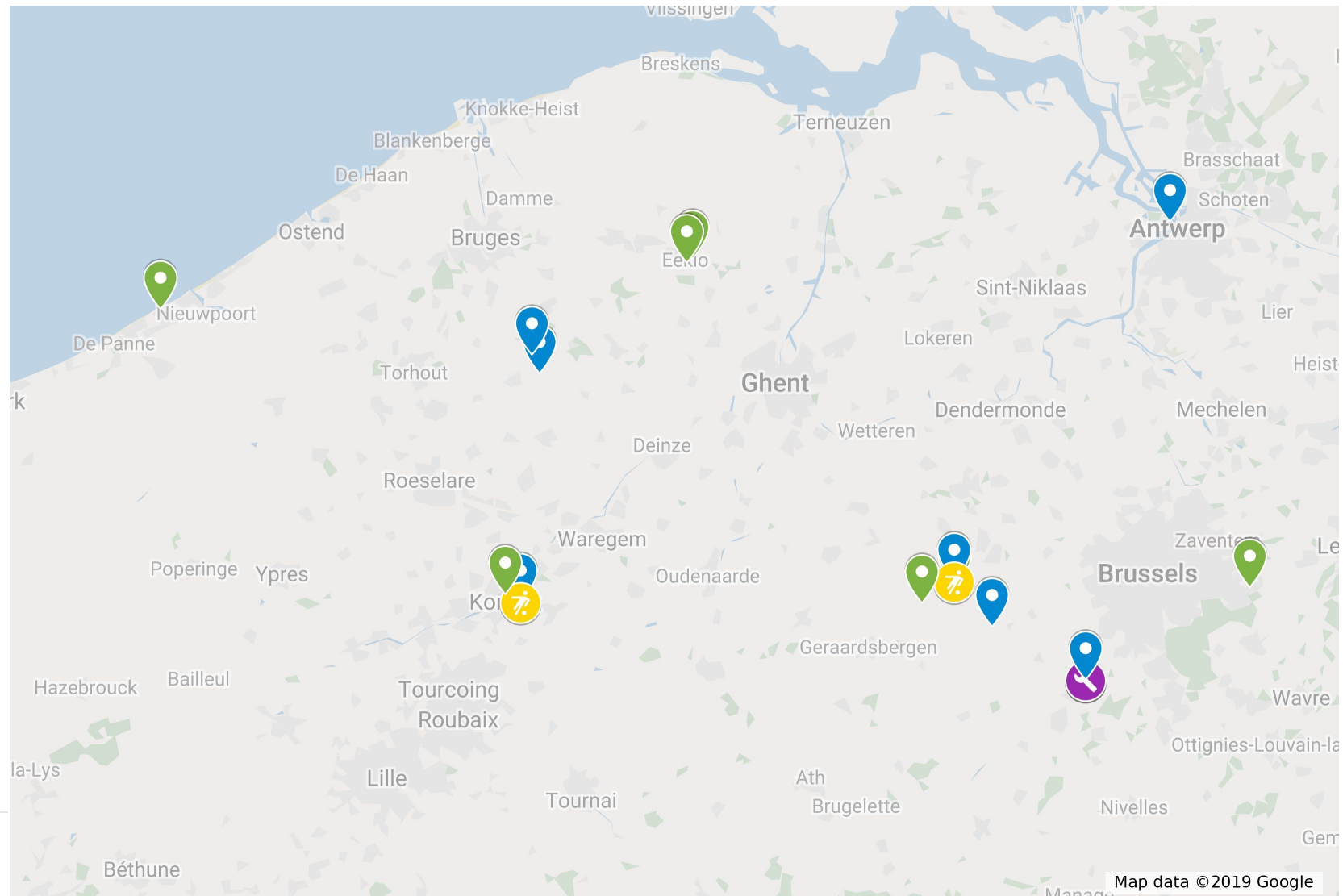
Bijlage 03

Plattegrond met scholen van morgen

Scholen van Morgen

Scholen van Morgen

-  KTA Zwijndrecht
-  KTA Halle Sporthal
-  KTA Halle Werkplaats
-  De Wegel
-  De Rozenkrans
-  Heilige Harten
-  Sint - Aloysius
-  Sint-Aloysius Sporthal
-  GITO Tervuren
-  College Ten Doorn
-  Hotelschool
-  Hotelschool Sporthal
-  Personenzorgschool
-  Sint-Jan
-  Wildenburg
-  De Oogappel
-  De Oester
-  KTA Halle



Bijlage 03

Deelrapport 2: Optimaliseren bouwschil

Scholen van morgen

Deelrapportage

optimaliseren bouwschil

Jordy Cleijman

8 mei 2019, Versie 4.0

Rapport geschreven voor de opleiding Bouwkunde

HZ University of Applied Sciences te Middelburg

STRABAG te Antwerpen





Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)

Scholen van morgen

Deelrapportage optimaliseren bouwschil



Middelburg, Hogeschool Zeeland University of Applied Sciences

8 mei 2019, Versie 4.0

'Bouwkundig Ingenieur'

Semester 2, leerjaar 4

Geschreven door:

Jordy Cleijman 00071059

Onder begeleiding van:

1^e Dhr. B. Vercouteren, Docent Bouwkunde

2^e Dhr. T. Altena, Docent Bouwkunde

Mevr. L. Kolijn-de Silva, Adviseur
Bouwfysica & Duurzaamheid

Begrippen- en afkortingenlijst

Bouwschil	- De bouwschil wordt gezien als de verzamelnaam voor de wand-, vloer- en dakopbouw. Dit is dus de scheiding tussen de verwarmde verblijfsruimte en de buitenlucht.
EPB – aanvaarde bouwknopen	- Dit zijn koudebruggen die voldoen aan minimaal één basisregel van EPB.
Lineaire bouwknopen	- Een lineaire bouwknop is een lijnvormige onderbreking van de isolatielaag of te wel de thermische schil.
Luchtdichtheid	- Dit houdt in dat het gebouw zo gebouwd wordt dat er zo goed als geen lucht in of uit het gebouw kan. (Nederlandse encyclopedie, z.j.)
Niet EPB – aanvaarde bouwknopen	- Volledige koudebruggen die niet voldoen de basisregels van de EPB.
R – waarde	- De R-waarde is de warmteweerstand van een materiaallaag en wordt uitgedrukt in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$. Hoe groter R, hoe groter de weerstand die de warmtedoorgang ondervindt en hoe beter het materiaal isoleert. (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)
Thermische onderbreking	- Een thermische onderbreking zorgt ervoor dat de koudebrug niet volledig door kan lopen in de constructie. Mocht er een koudebrug lopen dan weerhoudt de thermische onderbreking de koude lucht om binnen te komen.
U – waarde	- De U-waarde geeft aan hoe een volledige scheidingsconstructie, zoals een wand of een dak, geïsoleerd is. Laat de wand veel warmte door, dan ligt de U-waarde hoog. Is de wand goed geïsoleerd, dan heeft die een lage U-waarde. (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)
Warmteverlies	- De netto temperatuurdaling in een ruimte. (Nederlandse encyclopedie, z.j.)
λ - waarde	- De lambdawaarden is de warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal en wordt uitgedrukt in W/K . Hoe hoger de lambdawaarde is, hoe slechter het materiaal isoleert.

Inhoudsopgave

Begrippen- en afkortingenlijst.....	III
1. Inleiding	1
2. Hoe kan STRABAG de bouwschil optimaliseren zodat er beter gescoord kan worden op de EPB? 2	
2.1 Toetsing van EPB – aanvaarde bouwknopen	2
2.2 Conclusie problemen bouwschil	4
2.3 Optimalisatie voor STRABAG	11
2.4 Ambitie optimaliseren bouwschil.....	12
3. Deelconclusie.....	13
Bibliografie	14
Tabellen-, figuren- en vergelijkingenlijst	15
Tabellen	15
Figuren.....	15
Vergelijkingen.....	15
Bijlage	16

1. Inleiding

In de recent opgeleverde schoolgebouwen, gerealiseerd door STRABAG, is gebleken dat er verbetermogelijkheden liggen op het gebied van het optimaliseren van de bouwschil. Met de bouwschil worden onder andere de bouwkundige constructies van de schoolgebouwen bedoeld zoals de wand-, vloer- en dakopbouw, maar ook de eventuele koudebruggen. Om te bepalen wat er geoptimaliseerd kan worden, is er in deelonderzoek 1 een analyse gemaakt van de reeds opgeleverde schoolgebouwen.

De schoolgebouwen die er in het vorige deelonderzoek uitsprongen worden in dit deelonderzoek verder uitgewerkt. Allereerst worden de algemene gegevens van school benoemd zodat er een correct beeld gevormd kan worden van de schoolgebouwen. Daarnaast worden de bouwknopen en de opvallende waarden per school benoemd en aangehaald. Van de aangekaarte bouwknopen worden per school de details opgehaald zodat deze kunnen worden bekeken en worden beoordeeld door middel van een samengesteld formulier. Aan de hand van deze details worden de ambities en de optimalisaties vastgesteld. Met deze informatie kan de detaillering van de schoolgebouwen worden geoptimaliseerd.

2. Hoe kan STRABAG de bouwschil optimaliseren zodat er beter gescoord kan worden op de EPB?

Om te bepalen hoe de bouwschil geoptimaliseerd kan worden, wordt er eerst gekeken naar de waardes waaraan de scholen getoetst zijn op gebied van EPB- aanvaarde bouwknopen. Daarna worden de conclusies van de diverse gebouwen benoemd die gemaakt zijn in deelrapportage 1. De gekozen scholen worden in dit rapport naar voren gehaald en deze worden verder onderzocht. Zo kan in een later hoofdstuk de optimalisatie van de bouwschil beter worden weergegeven.

2.1 Toetsing van EPB – aanvaarde bouwknopen

EPB – aanvaarde bouwknopen zijn lineaire bouwknopen waarvan de detaillering voldoet aan de basisregels, waardoor er minimaal warmteverlies is. Het zijn ‘koudebrugarme’ bouwknopen. Zoals te zien is in *Tabel 1* zijn er twee manieren waarop een lineaire bouwknop EPB – aanvaard wordt.

Tabel 1 Voorwaarden EPB - aanvaarde bouwknopen (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)



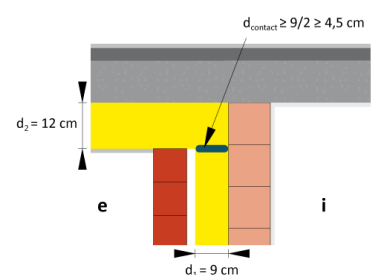
Basisregels

De basisregels zijn gebaseerd op het principe van het garanderen van de ‘thermische snede’. Dit betekent dat de isolatielagen van twee aansluitende scheidingsconstructies van het verliesoppervlak steeds continu in elkaar moeten overlopen.

Er zijn drie basisregels waaraan voldaan kan worden, deze staan hieronder verder toegelicht.

Basisregel 1

Deze basisregel is van toepassing op bouwknopen waar de isolatielagen van de samenkomende scheidingsconstructies rechtstreeks op elkaar kunnen aansluiten, zoals de aansluiting van twee muren of van een hellend dak op een buitenmuur. De minimale contactlengte is afhankelijk van de dikte van de isolatielagen die samenkomen. De contactlengte mag nooit kleiner zijn dan de helft van de kleinste isolatiedikte. Dit is te zien in *Figuur 2*.

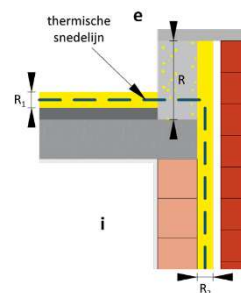


Figuur 2 Voorbeeld basisregel 1 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Bij raam- of deurprofielen met thermische onderbreking wordt niet gewerkt met de algemene formulering van basisregel 1, maar geldt enkel dat de isolatielaag rechtstreeks in contact moet staan met de thermische onderbreking en dit over de volledige breedte van de thermische onderbreking.

Basisregel 2

Deze regel is van toepassing op bouwknopen waar de isolatielagen niet rechtstreeks op elkaar aansluiten, maar waar de mogelijkheid bestaat om isolerende delen tussen te voegen. Die isolerende delen nemen plaatselijk de thermisch isolerende functie van de isolatielagen over, waardoor de thermische snede behouden blijft, zoals bijvoorbeeld bij de aansluiting van een plat dak met een buitenmuur. Dit is te zien in *Figuur 3*.



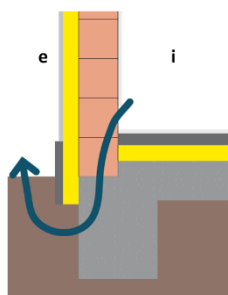
Figuur 3 Voorbeeld basisregel 2 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Basisregel 2 stelt dat elk isolerende deel op zich moet voldoen aan elk van deze drie eisen:

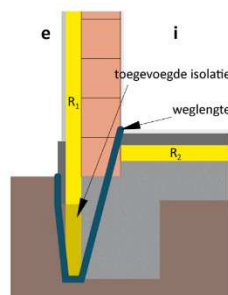
- λ -waarde-eis: $\leq 0.20 \text{ W/mK}$
- R-waarde-eis: $R \geq \min(R_1/2, R_2/2 \text{ of } 2)$
- Contactlengte-eis: $d_{\text{contact, i}} \geq \min(d_{\text{insulating part}}/2, d_x/2)$

Basisregel 3

Deze regel is van toepassing op bouwknopen waar de isolatielagen niet rechtstreeks op elkaar aansluiten en het niet mogelijk is om een isolerend deel tussen te voegen. Er blijft dus een verbinding van binnenomgeving naar buitenomgeving. Het detail voldoet aan basisregel 3 als de weg van de bouwknop langer is dan één meter. Dit wordt gemeten zoals te zien is in *Figuur 4*. Mocht deze weg te kort zijn, kan dit nog worden aangepakt zoals te zien is in *Figuur 5*.



Figuur 4 Voorbeeld basisregel 3 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)



Figuur 5 Voorbeeld oplossing basisregel 3 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Grenswaarde

De Ψ_e , lim-waarde is de grenswaarde van de warmtestroom die door de bouwknop gaat en waarbij de isolatieschil niet onderbroken is. Dit is het warmteverlies dat door de bouwknop gaat ondanks dat alle onderlinge aansluitingen correct zijn uitgevoerd. Wanneer van een bouwknop een Ψ -waarde berekend wordt en deze is kleiner dan de vastgelegde Ψ_e , lim-waarde voor dat bouwknoptype, is de bouwknop EPB-aanvaard. De Ψ_e , lim-waarde is te zien in *Tabel 2*. (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Tabel 2 Ψ_e , lim-waarde voor de grenswaarde (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Bouwknoptype	Ψ_e , lim
1a Buitenhoek tussen twee muren	-0,10 W/m. K
1b Andere buitenhoeken	0,00 W/m. K
2 Binnenhoeken	0,15 W/m. K
3 Venster- en deuraansluitingen	0,10 W/m. K
4 Funderingsaanzetten	0,05 W/m. K
5 Balkons en luifels	0,10 W/m. K
6 Aansluitingen van een scheidingsconstructie eenzelfde beschermd volume of tussen twee verschillende beschermde volumes op een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak	0,05 W/m. K
7 Alle knopen die niet vallen onder punt 1 tot en met 6	0,00 W/m. K

2.2 Conclusie problemen bouwschil

De zeven scholen die verder onderzocht gaan worden, staan in dit hoofdstuk verder beschreven. Ieder gebouw is apart uitgelicht en de bouwknopen van de diverse functies zijn samengevoegd zodat er één overzicht ontstaat met het totale aantal bouwknopen per gebouw. Verder staan hier eventueel opmerkelijke U-waarden vernoemd en aan de hand van deze gegevens worden de koudebruggen per onderdeel vastgesteld. (Jordy Cleijman, 2019)

Tevens is er per school een bijlage toegevoegd met hierin de details per bouwknop. Hierin zijn de details getoetst aan de basisregels en de grenswaarde zoals toegelicht in hoofdstuk 2.1. Per detail staat er een toelichting waarom een detail niet of wel voldoet aan de eisen. Voor elke type detail is de grenswaarde toegevoegd.

De Rozenkrans

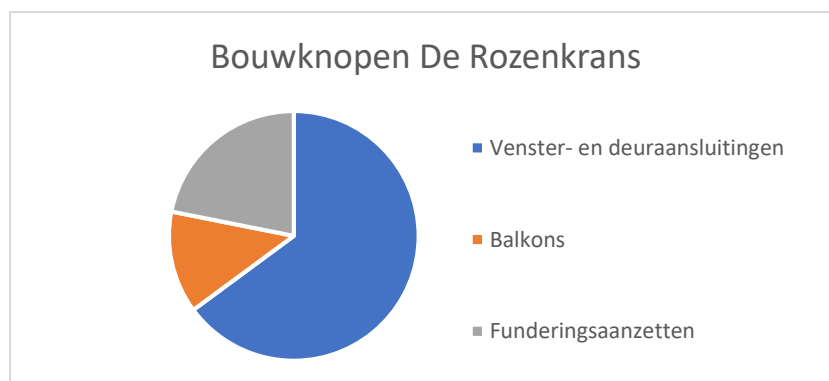
Het project CL37 De Rozenkrans (te zien in *Figuur 6*) is een nieuwbouwproject te Oostduinkerke uit het jaar 2015 en is ontworpen door Evr-Architecten BVBA. Dit gebouw is een school voor speciaal onderwijs en heeft een totale omvang van 2.830 m². In deze totale oppervlakte zitten twee functies namelijk de schoolfunctie en sportfunctie.



Figuur 6 CL37 De Rozenkrans (Projecten, 2018)

Het schoolgebouw De Rozenkrans zat bij Deelrapportage 1 onder de noemer 'kleine schoolgebouwen' en 'sport'. Wat hier opviel was dat dit gebouw bij beide functies een van de laagste waarden had bij de bouwknopen. Deze zijn samengevoegd en weergegeven in *Vergelijking 1*. De U-waarden van de school- en sportfunctie waren ook redelijk gelijk aan elkaar. Hier zaten geen schokkende waarden bij die boven de maximale eis waren. Toch viel het op dat de U-waarden van de vloer één van de hoogste was in vergelijking met de andere gebouwen. De details zijn te vinden in *Bijlage 02*.

Vergelijking 1 Bouwknopen De Rozenkrans (eigen vergelijking)



GITO Tervuren

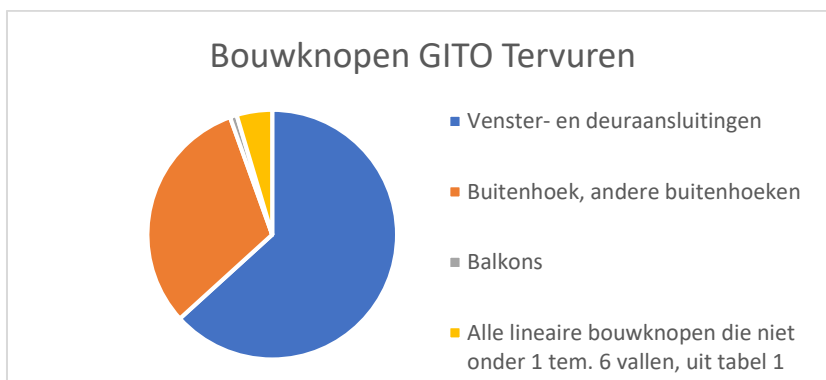
Het project CL84 GITO Tervuren (te zien in *Figuur 7*) is een nieuwbouwproject te Tervuren uit het jaar 2017 en is ontworpen door Stéphane Beel Architecten. Dit gebouw is een school voor middelbaar onderwijs en heeft een totale omvang van 8.099 m². In deze totale oppervlakte zitten drie functies namelijk de schoolfunctie, sportfunctie en refterfunctie.



Figuur 7 CL84 GITO Tervuren (Projecten, 2018)

Het schoolgebouw GITO Tervuren zat bij Deelrapportage 1 onder de noemer 'grote schoolgebouwen', 'sport' en 'overige'. Wat hier opviel was dat dit gebouw bij de schoolfunctie de meeste bouwknopen had, bij de andere twee functies was het een gemiddelde waarde aan bouwknopen. Deze zijn samengevoegd en weergegeven in *Vergelijking 2*. De U-waarden van alle drie de functies zijn gelijk aan elkaar. Echter is er één waarde in de functie school die boven de maximale vensterwaarde valt. Dit is bij de ingang van de school. De details zijn te vinden in *Bijlage 03*.

Vergelijking 2 Bouwknopen GITO Tervuren (eigen vergelijking)



Heilige Harten

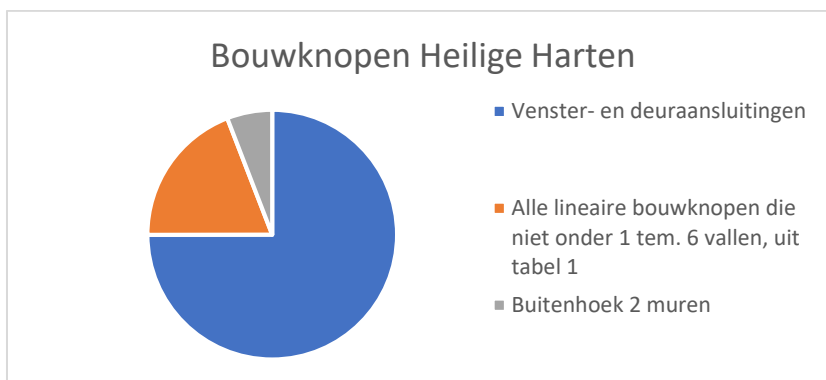
Het project CL70 Heilige Harten (te zien in *Figuur 8*) is een nieuwbouw-/ aanbouwproject te Ninove uit het jaar 2015 en is ontworpen door De Jong Gortemaker Algra architecten en ingenieurs B.V. Dit gebouw is een school voor middelbaar onderwijs en heeft een totale omvang van 1.450 m². In deze totale oppervlakte zitten twee functies namelijk de schoolfunctie en sportfunctie.



Figuur 8 CL70 Heilige Harten (Projecten, 2018)

Het schoolgebouw Heilige Harten zat bij Deelrapportage 1 onder de noemer ‘kleine schoolgebouwen’ en ‘sport’. Wat hier opviel was dat dit gebouw bij de schoolfunctie een van de meeste bouwknopen had, bij de functie sport was dit juist één met de minste waarde aan bouwknopen. Deze zijn samengevoegd en weergegeven in *Vergelijking 3*. De U-waarden van de beide functies liggen voor de wand relatief hoog vergeleken met de andere scholen. Ook valt op dat er bij de functie sport een hoge U-waarde is ondanks het lage aantal bouwknopen. De details zijn te vinden in *Bijlage 04*.

Vergelijking 3 Bouwknopen Heilige Harten (eigen vergelijking)



KTA Halle

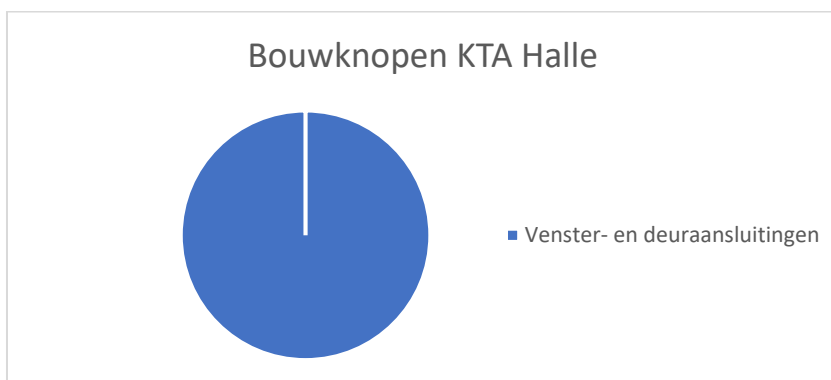
Het project CL23 Halle bestaat uit twee fases (te zien in *Figuur 9*) één daarvan is de nieuwbouw van een technisch voortgezet onderwijs in het jaar 2016 en de andere fase is van een sporthal in het jaar 2017, beide fases zijn te Halle en ontworpen door TV BEEL – VK ENGINEERING. Dit gebouw is zoals eerder benoemd een school voor technische onderwijs en heeft een totale omvang van 6.055 m². In deze totale oppervlakte zitten vier functies namelijk de schoolfunctie, refterfunctie, werkplaatsfunctie en sportfunctie.



Figuur 9 CL23 Halle fase 1 en 2 (Projecten, 2018)

Het schoolgebouw KTA Halle zat bij Deelrapportage 1 onder de noemer ‘middelgrote schoolgebouwen’, ‘sport’ en ‘overige’. Dit gebouw bestaat uit twee verschillende fases, maar voor dit hoofdstuk zijn deze samengevoegd. Wat hier opviel was dat dit gebouw bij alle drie de functie, de laagste of één van de laagste waarde aan bouwknopen heeft. Tevens zijn alle bouwknopen van de venster- en deuraansluitingen. Deze zijn samengevoegd en weergegeven in *Vergelijking 4*. De U-waarden van de bouwschil liggen relatief hoog in vergelijking met het lage aantal bouwknopen. De details zijn te vinden in *Bijlage 05*.

Vergelijking 4 Bouwknopen KTA Halle (eigen vergelijking)



KTA Zwijndrecht

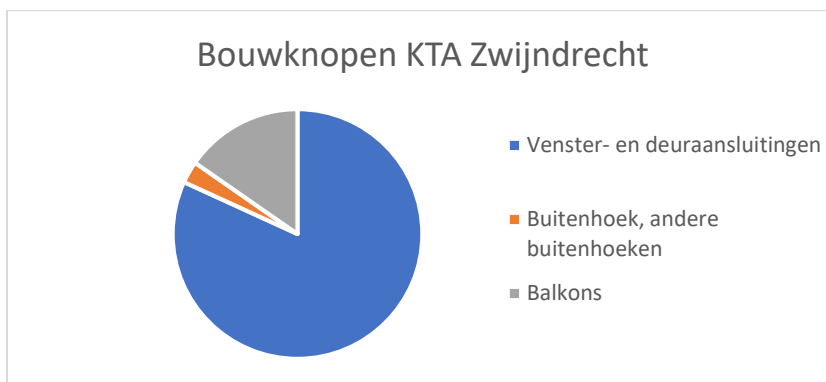
Het project CL13 KTA Zwijndrecht (te zien in *Figuur 10*) is een nieuwbouwproject te Antwerpen uit het jaar 2015 en is ontworpen door De Bouwerij-AUPA. Dit gebouw is niet alleen nieuwbouw, maar ook nog een passieve school. De KTA Zwijndrecht is een zeevaartschool en heeft een totale omvang van 3.863 m². In deze totale oppervlakte zit alleen de functie school.



Figuur 10 CL13 KTA Zwijndrecht (Projecten, 2018)

Het schoolgebouw KTA Zwijndrecht zat bij Deelrapportage 1 onder de noemer ‘middelgrote schoolgebouwen’. Wat hier opviel was dat dit gebouw de hoogste waarde heeft bij de bouwknopen. Deze zijn weergegeven in *Vergelijking 5*. De U-waarden van de schoolfunctie waren erg laag tegenover de andere schoolgebouwen. Dit komt waarschijnlijk doordat het een passief gebouwde school is. De details zijn te vinden in *Bijlage 06*.

Vergelijking 5 Bouwknopen KTA Zwijndrecht (eigen vergelijking)



St. Jan

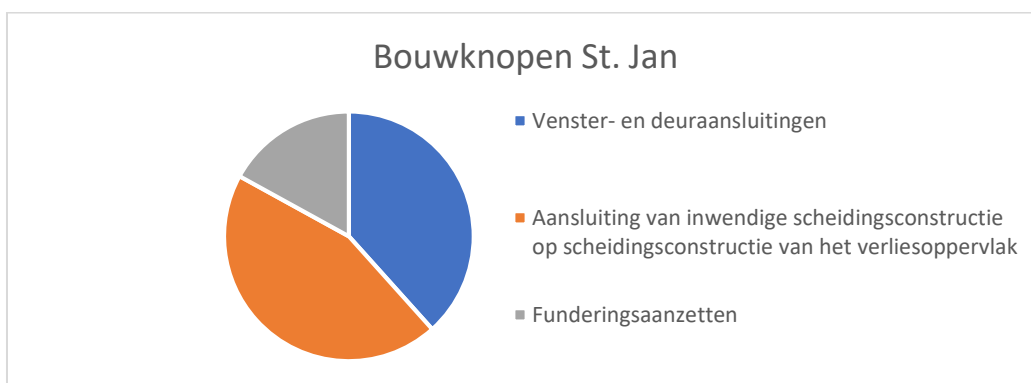
Het project CL97 St. Jan (te zien in *Figuur 11*) is een nieuwbouwproject te Wingene uit het jaar 2016 en is ontworpen door TV Architecten van de Kerckhove – bureau architect. Dit gebouw is een basisschool en heeft een totale omvang van 895 m². In deze totale oppervlakte zit alleen de functie school.



Figuur 11 CL97 St. Jan (Projecten, 2018)

Het schoolgebouw St. Jan zat bij Deelrapportage 1 onder de noemer ‘kleine schoolgebouwen’. Wat hier opviel was dat dit gebouw de hoogste waarde heeft bij de bouwknopen. Deze zijn weergegeven in *Vergelijking 7*. De U-waarden van dit schoolgebouw liggen ook redelijk hoog, zo is de waarde van de vloeren en transparante deuren als één van de hoogste. De details zijn te vinden in *Bijlage 07*.

Vergelijking 6 Bouwknopen St. Jan (eigen vergelijking)



Ten Doorn, gebouw Z41

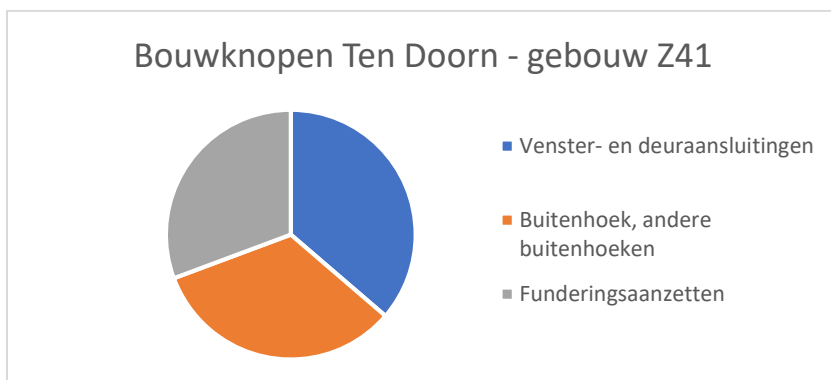
Het project CL93 Ten Doorn, gebouw Z41 (te zien in *Figuur 12*) is een nieuwbouwproject te Eeklo uit het jaar 2016 en is ontworpen door Van Heyningen - Haward – smak architects. Dit gebouw is een middelbare school met inbandige sporthal en heeft een totale omvang van 10.739 m². In deze totale oppervlakte zitten meerdere functies verdeeld over verschillende fases. Voor gebouw Z41 zitten er twee functies in het gebouw waaronder de schoolfunctie en sportfunctie.



Figuur 12 CL93 Ten Doorn, gebouw Z41 (Projecten, 2018)

Het schoolgebouw Ten Doorn – gebouw Z41 zat bij Deelrapportage 1 onder de noemer ‘middelgrote schoolgebouwen’ en ‘sport’. Wat hier opviel was dat dit gebouw bij zowel de school- als sportfunctie één van de meeste bouwknopen had. Deze zijn samengevoegd en weergegeven in *Vergelijking 7*. De U-waarden van de beide functies liggen relatief hoog vergeleken met de andere scholen. Ook valt op dat er bij de functie school een hoge U-waarde is op de opake deuren en poorten. De details zijn te vinden in *Bijlage 08*.

Vergelijking 7 Bouwknopen Ten Doorn - gebouw Z41 (eigen vergelijking)



2.3 Optimalisatie voor STRABAG

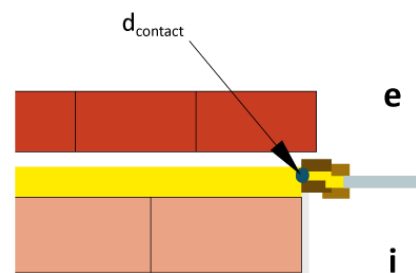
Het optimaliseren van de bouwschil voor STRABAG kan op diverse manieren. Zo kan er geoptimaliseerd worden op vlak van detaillering, de productkeuze en de luchtdichtheid van een gebouw. In de bovenstaande subhoofdstukken werden de details per school toegelicht met hierbij de eventuele gebreken. Opvallend is dat er veel dezelfde soort fouten worden gemaakt. Dit is op vlak van venster- en deuraansluitingen en funderingsdetails.

Deze details kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd en er kunnen verschillende materialen worden toegepast. Dit verschilt per bouwstijl. Voor het optimaliseren van de bouwschil kan er rekening worden gehouden met de onderstaande drie punten:

- De bouwknopen
- De U-waarden
- De luchtdichtheid

Bij het controleren van de details is gekeken naar de niet EPB – aanvaarde bouwknopen met de eisen die gesteld worden aan een EPB – aanvaarde bouwknop. Aan de hand van deze eisen/ basisregels die toegelicht staan in hoofdstuk 2.1, worden de details getoetst hoe ze EPB – aanvaard kunnen worden. Onder ieder detail staat hier een korte toelichting, maar nog niet volledig uitgewerkt.

Bij de meeste venster- en deuraansluitingen wordt er geadviseerd om te werken met basisregel 1. Dit houdt bij de meeste details in, voornamelijk bij de boven- en onderdorpels, dat de thermische onderbreking van het kozijn in volledig contact moet staan met de isolatie van de wand. Zoals te zien is in *Figuur 13*. Het aangegeven punt d_{contact} moet dan in volledig contact staan met de isolatie.



Figuur 13 Voorbeeld basisregel 1 kozijnen (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)

Bij de andere meest voorkomende details, de funderingsaanzetten, valt het op dat de weg van de minste weerstand vaak te kort is. Dit heeft te maken met de eerdergenoemde basisregel 3. Mocht de weg een stuk verlengd worden is het detail al EPB – aanvaard. Doordat dit niet altijd kan, zit er ook nog verschil in mogelijkheden tussen, onder de vloer en op de vloer isoleren om zo de koudebrug te kunnen voorkomen.

De verschillende materiaaltypes van een detail hebben ook te maken met de diverse oplossingen van een koudebrug. Doordat de meeste koudebruggen op elkaar lijken kunnen deze worden samengevoegd en worden gegroepeerd zodat er van één type detail, meerdere uitwerkingen zijn. De diverse oplossingstypes worden in het volgende hoofdstuk 2.4 behandeld. De uitwerking van de daadwerkelijke verbeterde details komt terug in deelrapportage 3.

2.4 Ambitie optimaliseren bouwschil

Om de bouwschil zo haalbaar mogelijk te optimaliseren is er in samenspraak met STRABAG een ambitieniveau afgesproken. Dit niveau bepaald welke U-waarden er gehaald willen worden en wat er aan gedaan moet worden om dit niveau ook daadwerkelijk te bereiken. De ambities zijn bepaald aan de hand van de gemiddelde waarden van alle geanalyseerde scholen. Deze waarden zijn per onderdeel apart weergegeven in *Tabel 3*.

Tabel 3 Ambitie diverse onderdelen (eigen tabel)

Onderdeel	Gemiddelde U-waarde [W/m ² . K]	Ambitieniveau [W/m ² . K]
Wanden	0,23	0,20
Vloeren	0,20	0,18
Daken	0,17	0,15
Glas	1,03	± 1,0 (best presterend HR++)
Kozijn + glas	1,49	1,40
Transparante deuren	1,56	1,50
Luchtdichtheid	4,03	$V_{50} < 2,0 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$

Zoals te zien is in de bovenstaande tabel wordt er de ambitie gesteld op ongeveer tien procent verbetering van detaillering/ productkeuze. Doordat de gemiddelde waarden gegenereerd zijn uit vijftien scholen zullen er ook scholen tussen zitten die al aan het ambitieniveau voldoen. Hoe deze scholen gebouwd zijn zal dus worden doorgetrokken in de toekomst bij de bouw van nieuwe schoolgebouwen.

Voor het uitwerken van de details zijn er diverse mogelijkheden en type oplossingen om de koudebrug te voorkomen/ op te lossen. Zo kan er aan de hand van de basisregels een EPB – aanvaarde bouwknoop worden gegenereerd, maar er kan ook een gebruik van ander materiaal worden toegepast om zo de lambda waarde naar beneden te halen.

- Voor de wanden, vloeren en daken kan de bevestiging van de elementen invloed hebben op de U-waarden, net zoals de materialen en de toepassing hiervan. Door deze te vergelijken met elkaar kan er een beter beeld worden gevormd over hoe de ambitie behaald kan worden.
- Het ambitieniveau voor de glazendelen wordt bereikt door een glaselement toe te passen dat voldoet aan de vraag. Hier zitten verschillende lagen in die verder uitgewerkt worden in deelvraag 3.
- De diverse kozijnen kunnen ook worden aangepast door de bevestiging en de lambdawaarden die bekend zijn. Als deze bij een aantal scholen wel goed zijn toegepast kan hier een duidelijk onderscheid in worden gemaakt.
- De luchtdichtheid van de gebouwen naar beneden halen tot een max. van $2,0 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ kan aan de hand van het gebruik van diverse folies etc. Zo kan er ook door de bouwmethoden en keuze van materialen worden bepaald hoe luchtdicht een gebouw is. Deze opties worden bij deelvraag 3 verder uitgewerkt tot één geheel.

3. Deelconclusie

Aan de hand van deze deelrapportage kan er antwoord gegeven worden op de volgende deelvraag: “Hoe kan STRABAG de bouwschil optimaliseren zodat er beter gescoord kan worden op de EPB?”

Doordat er tijdens dit onderzoek voornamelijk gekeken wordt naar de bouwschil wordt deze getoetst aan de hand van bouwknopen. De bouwknopen binnen detaillering verschillen in EPB – aanvaarde bouwknopen en niet EPB – aanvaarde bouwknopen. Tussen deze twee componenten ligt het verschil in regelgeving en goedkeuring vanuit de EPB. Een EPB – aanvaarde bouwknop voldoet minstens aan één van de basisregels of aan de grenswaarde die gesteld wordt.

De zeven scholen die uit deelrapport 1 naar voor zijn gekomen zijn in dit deelrapport verder onderzocht en zijn per school apart benoemd en bij elke school is aangegeven welke koudebruggen het meeste voorkomen. Tijdens het analyseren van deze gebouwen kwam naar voren dat de venster- en deuraansluitingen bij iedere school aanwezig waren als bouwknop. Van elke school zijn de details van de aangegeven bouwknopen opgesomd met hierbij de toetsing aan de basisregels en de grenswaarde uit de EPB-voorwaarden.

Uit de details kwamen ook optimalisatiemogelijkheden om de details eventueel aan te passen zodat ze voldoen aan de basisregels van de EPB. Zo zijn er om een bouwschil zo goed mogelijk te optimaliseren verschillende mogelijkheden, maar voor deze detaillering is er gekeken naar de bouwknopen die kunnen worden aangepakt. Uit de details blijkt dat de meeste fouten liggen op vlak van de venster- en deuraansluitingen en op de funderingsdetails. Hierbij komen de basisregels één en drie van pas doordat deze er het meeste mee te maken hebben. Of de isolatielaag loopt niet ver genoeg door of er is, door de thermische onderbreking niet goed te plaatsen, een koudebrug ontstaan.

Om deze detaillering aan te kunnen passen worden er ambities vastgesteld die aan de hand van de eerder gemaakte analyse is gemaakt. Om de ambitie vanuit STRABAG vast te leggen is er eerst gekeken naar de gemiddelde U-waarden van alle schoolgebouwen. Deze waarden zijn daarna met tien procent gedaald om zo de ambitiewaarden vast te stellen.

Aan de hand van deze ambitiewaarde wordt deelvraag 2 verder toegepast in deelvraag 3. Door deze waarden door te voeren wordt de detaillering aangepast op vlak van de bouwknopen die in dit onderzoek zijn geconstateerd, op de verschillende U-waarden van de materialen en op de luchtdichtheid van het gebouw, om zo de beste optimalisatie van de bouwschil te creëren.

Bibliografie

- Bollaert, S. (2015). Nieuwbouw Zorgcampus. *Verpleegsterschool*. STRABAG, Genk. Opgeroepen op februari 5, 2019, van https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=24AAA50DAFFD63B8C12580880066021E&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Grobet, T. (2014). Masterplan vol vernieuwingen. *GO! School*. STRABAG, Ninove. Opgeroepen op februari 5, 2019, van https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=C278EFFBFC40FE09C12580880065FD48&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Het Vlaams Energieagentschap. (z.j.). *EPB - aanvaarde bouwknopen*. Opgeroepen op april 04, 2019, van [energiesparen.be: https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/gebouw/bouwknopen/epb-aanvaarde-bouwknopen](https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/gebouw/bouwknopen/epb-aanvaarde-bouwknopen)
- Jordy Cleijman. (2019). *Scholen van morgen*. Deelrapport 1, Antwerpen.
- Nederlandse encyclopedie. (z.j.). *begrip*. Opgeroepen op april 25, 2019, van [encyclo.nl: https://www.encyclo.nl/begrip/](https://www.encyclo.nl/begrip/)
- Projecten*. (2018). Opgeroepen op april 02, 2019, van [scholenvanmorgen.be: https://www.scholenvanmorgen.be/projecten](https://www.scholenvanmorgen.be/projecten)

Tabellen-, figuren- en vergelijkingenlijst

Tabellen

Tabel 1 Voorwaarden EPB - aanvaarde bouwknopen (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	2
Tabel 2 Ψ_e , lim-waarde voor de grenswaarde (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	3
Tabel 3 Ambitie diverse onderdelen (eigen tabel)	12

Figuren

Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)	II
Figuur 2 Voorbeeld basisregel 1 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	2
Figuur 3 Voorbeeld basisregel 2 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	3
Figuur 4 Voorbeeld basisregel 3 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	3
Figuur 5 Voorbeeld oplossing basisregel 3 (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	3
Figuur 6 CL37 De Rozenkrans (Projecten, 2018)	4
Figuur 7 CL84 GITO Tervuren (Projecten, 2018)	5
Figuur 8 CL70 Heilige Harten (Projecten, 2018)	6
Figuur 9 CL23 Halle fase 1 en 2 (Projecten, 2018)	7
Figuur 10 CL13 KTA Zwijndrecht (Projecten, 2018)	8
Figuur 11 CL97 St. Jan (Projecten, 2018)	9
Figuur 12 CL93 Ten Doorn, gebouw Z41 (Projecten, 2018)	10
Figuur 13 Voorbeeld basisregel 1 kozijnen (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)	11

Vergelijkingen

Vergelijking 1 Bouwknopen De Rozenkrans (eigen vergelijking)	4
Vergelijking 2 Bouwknopen GITO Tervuren (eigen vergelijking)	5
Vergelijking 3 Bouwknopen Heilige Harten (eigen vergelijking)	6
Vergelijking 4 Bouwknopen KTA Halle (eigen vergelijking)	7
Vergelijking 5 Bouwknopen KTA Zwijndrecht (eigen vergelijking)	8
Vergelijking 6 Bouwknopen St. Jan (eigen vergelijking)	9
Vergelijking 7 Bouwknopen Ten Doorn - gebouw Z41 (eigen vergelijking)	10

Bijlage

Bijlage 01: CU13739_DR 2_Versiebeheer_jcleijman_20190502
Bijlage 02: CU13739_DR 2_Details_De Rozenkrans_20190502
Bijlage 03: CU13739_DR 2_Details_GITO Tervuren_20190502
Bijlage 04: CU13739_DR 2_Details_Heilige Harten_20190502
Bijlage 05: CU13739_DR 2_Details_KTA Halle_20190502
Bijlage 06: CU13739_DR 2_Details_KTA Zwijndrecht_20190502
Bijlage 07: CU13739_DR 2_Details_St. Jan_20190502
Bijlage 08: CU13739_DR 2_Details_Ten Doorn_20190502

Bijlage 01

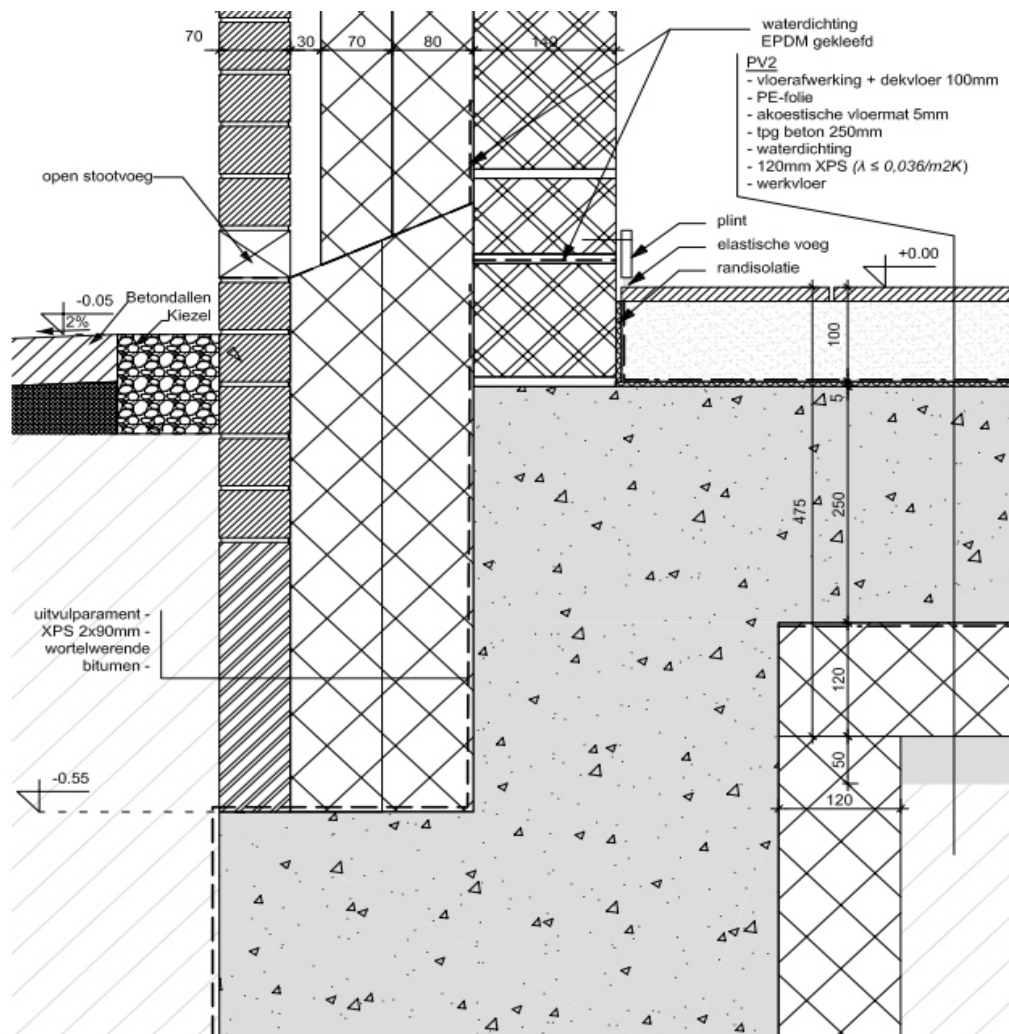
Versiebeheer

Bijlage 01: CU13739_DR 2_Versiebeheer_jcleijman_20190507

Versie nr.	Gepubliceerde datum	Naam	Datum ontvangen	Functie	Criteria
Versie 1.0	26-04-2019	Gerald van den Berghen	29-04-2019	Student	Spelling en lay-out technische
		Roy Brevet	30-04-2019	Student	Spelling en lay-out technische
Versie 2.0	30-04-2019	3 ^e Partij	01-05-2019		Spelling en opbouw rapport
Versie 3.0	02-05-2019	Lindsay Kolijn- de Silva	06-05-2019	Stagebegeleider	Spelling, opbouw rapport en inhoud controle

Bijlage 02

Details: De Rozenkrans

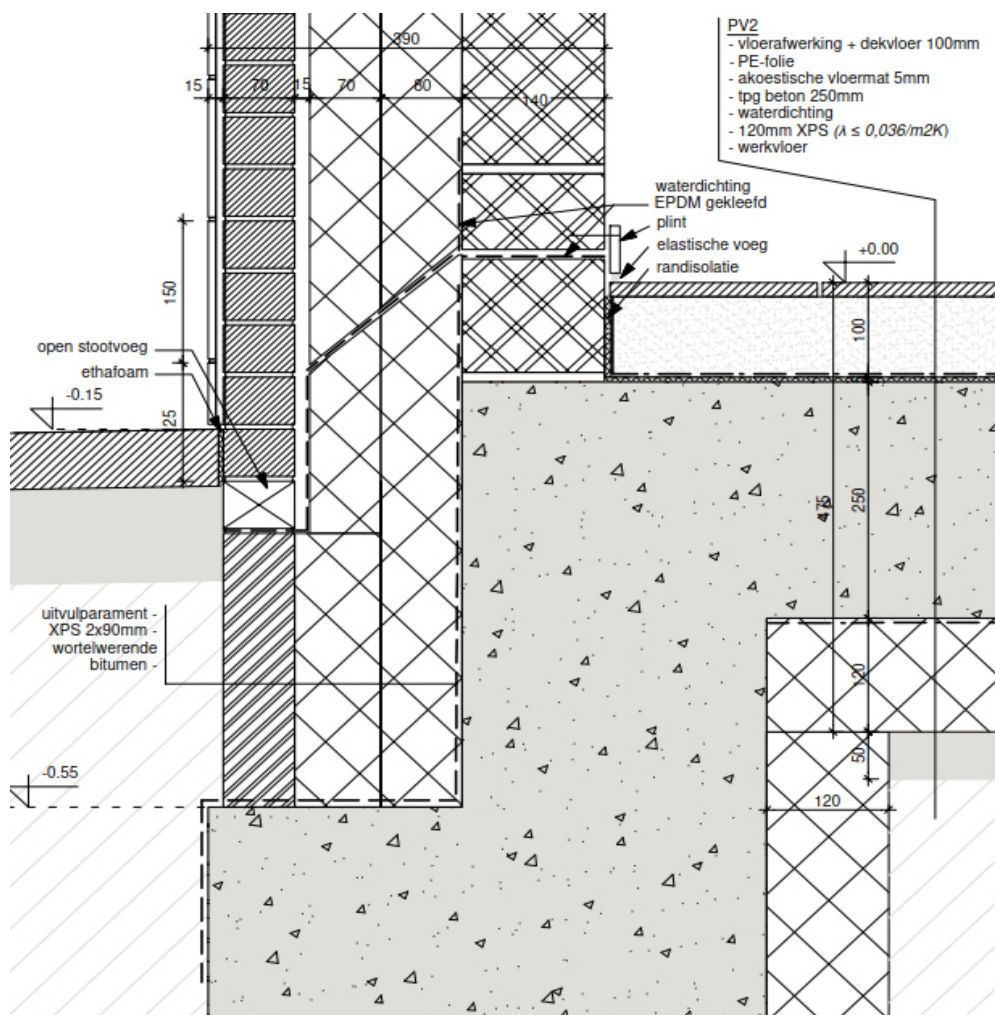


Naam school: De Rozenkrans
 Plannummer: 01
 Naam detail: Gevel noord - fundering aanzet parameter

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte isolatielagen	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand X	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,05 W/m.K

Toelichting:
 De weg van de minste weerstand is korter dan 1 meter. Dit houdt in dat dit detail niet voldoet aan basisregel 3. Dit is makkelijk aan te passen door de isolatielaag verder door te trekken naar beneden zodat de weg van de minste weerstand wordt verlengd. Dit zodat de weg langer dan 1 meter wordt en het detail EPB - aanvaard wordt door basisregel 3.

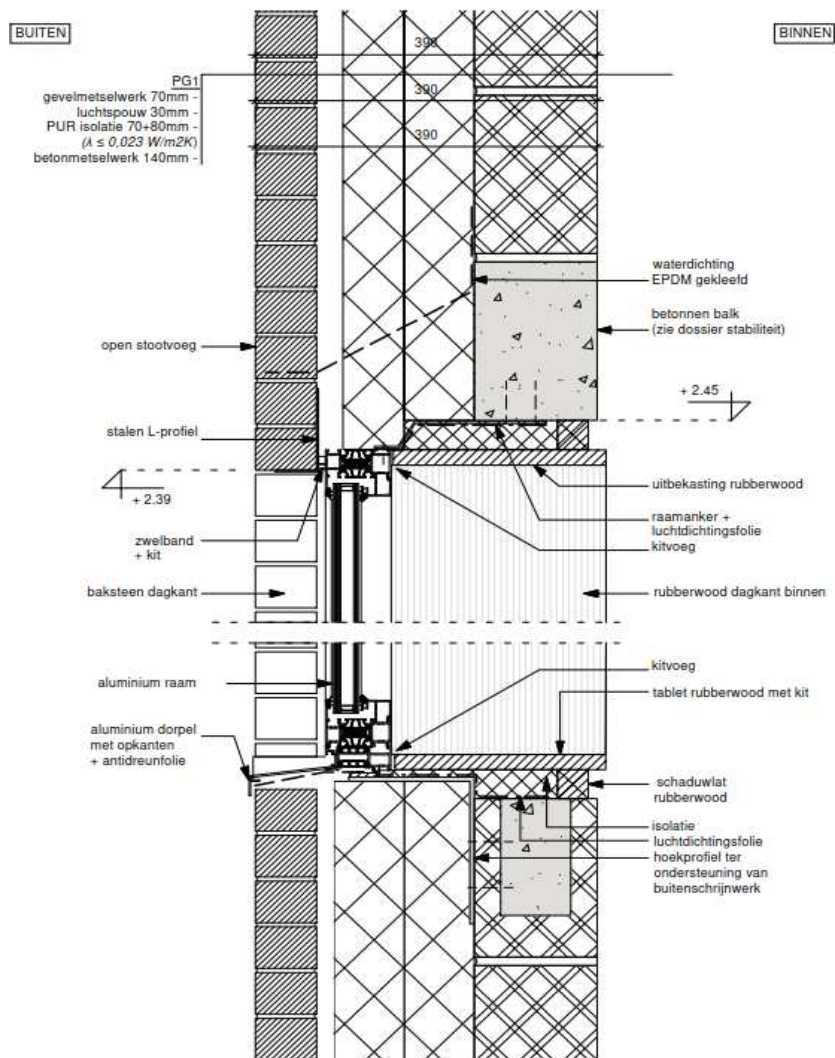


Naam school: De Rozenkrans
 Plannummer: 02
 Naam detail: Gevel noord - fundering aanzet plaatmateriaal

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte isolatielagen	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand X	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,05 W/m.K

Toelichting:
 De weg van de minste weerstand is korter dan 1 meter. Dit houdt in dat dit detail niet voldoet aan basisregel 3. Dit is makkelijk aan te passen door de isolatielaag verder door te trekken naar beneden zodat de weg van de minste weerstand wordt verlengd. Dit zodat de weg langer dan 1 meter wordt en het detail EPB - aanvaard wordt door basisregel 3.

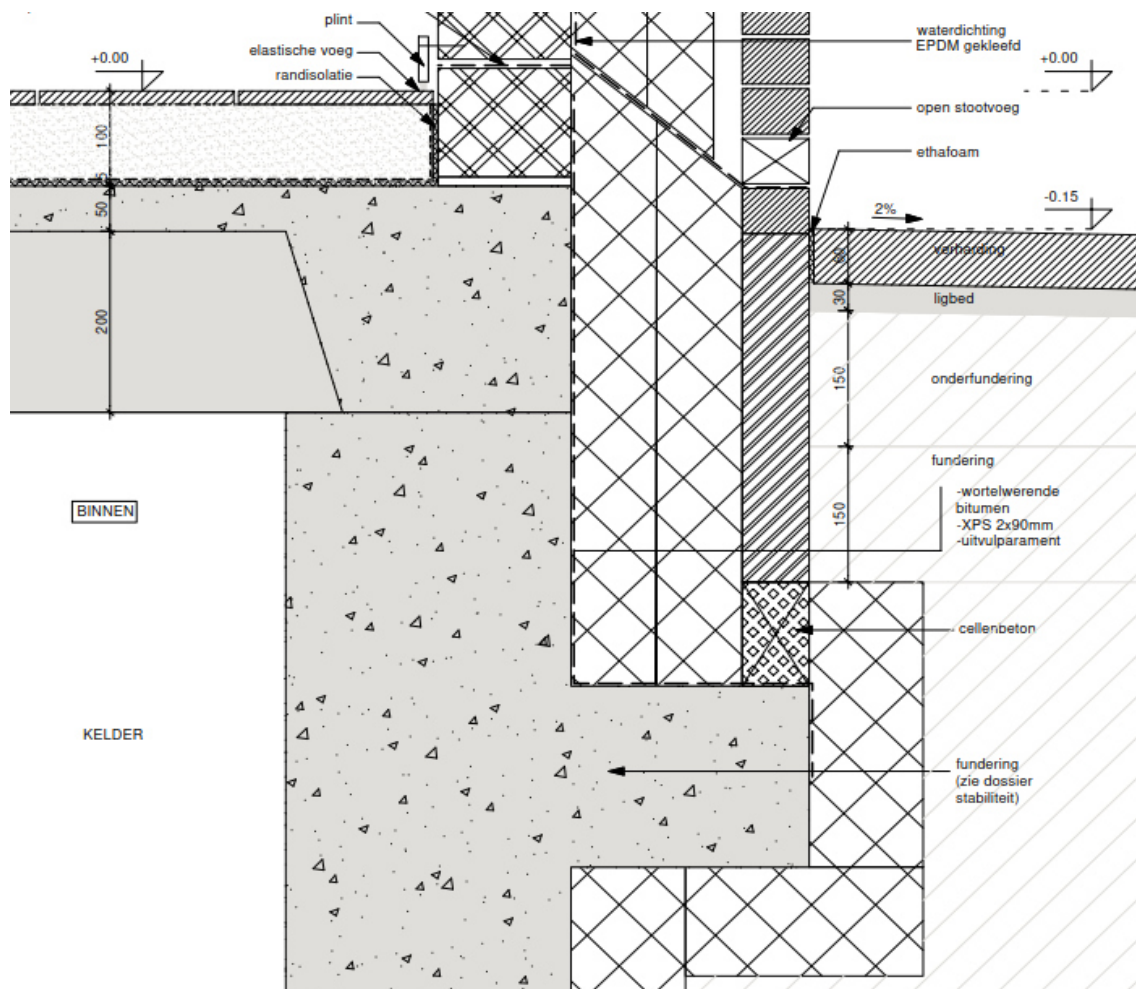


Naam school: De Rozenkrans
 Plannummer: 04
 Naam detail: Gevel noord - inbouw raam, parament geen screen

STRABAG

Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:
 De aansluitingen van de isolatielaag liggen tot aan het kozijn. De bouwknoop zit hem dan in het kozijn zelf of in de hoekprofielen die worden gebruikt om het kozijn te bevestigen.

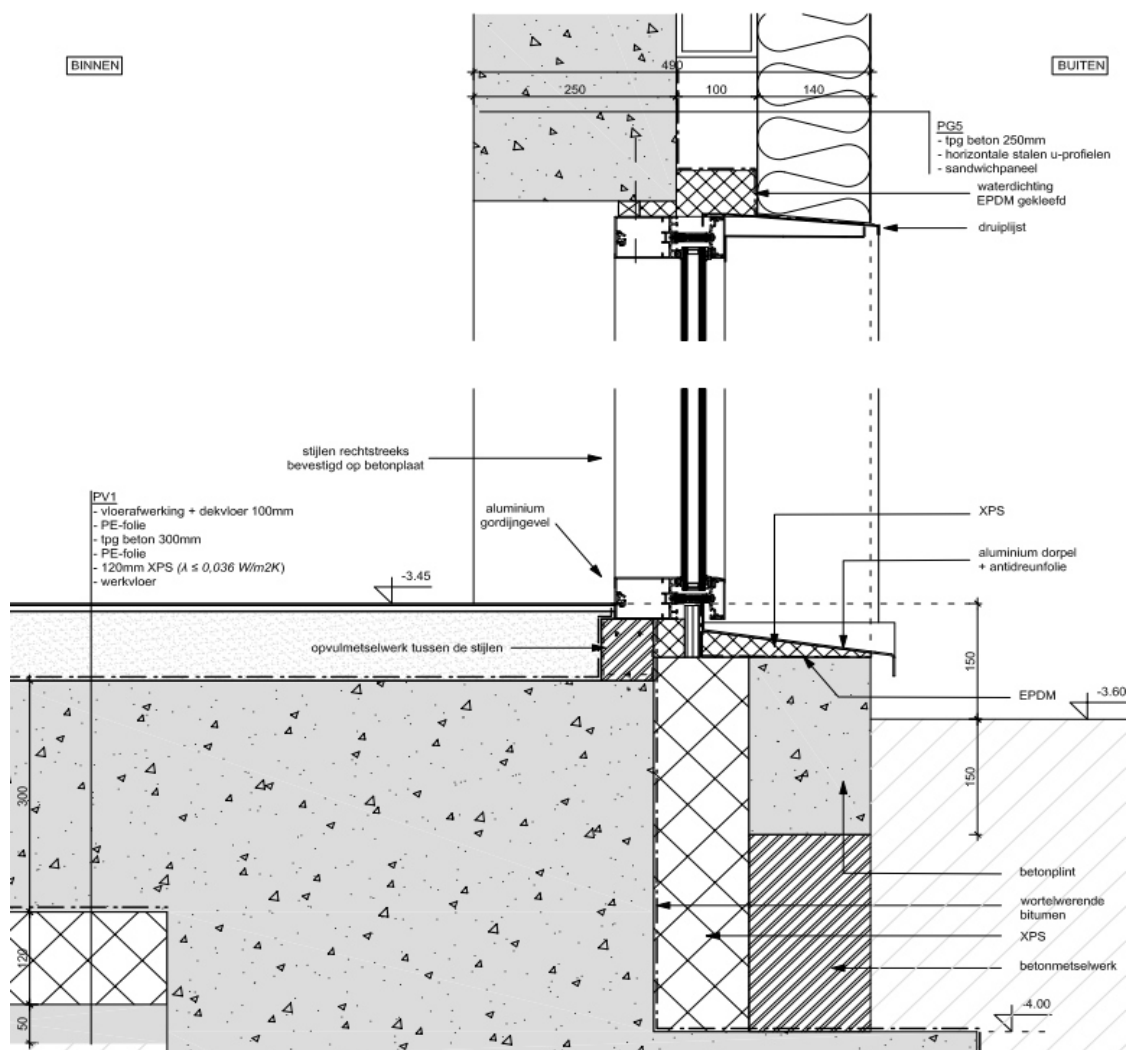


Naam school: De Rozenkrans
 Plannummer: 06
 Naam detail: Gevel zuid - funderingsaanzet thv kelderwand

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte isolatielagen	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen X	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,05 W/m.K

Toelichting:
 Basisregel 2 is hier goed toegepast, dit doordat er een thermische onderbreking is toegepast door middel van cellenbeton. Verder is de kelder goed ingepakt in isolatie om zo ook de weg van de minste weerstand af te screenen.



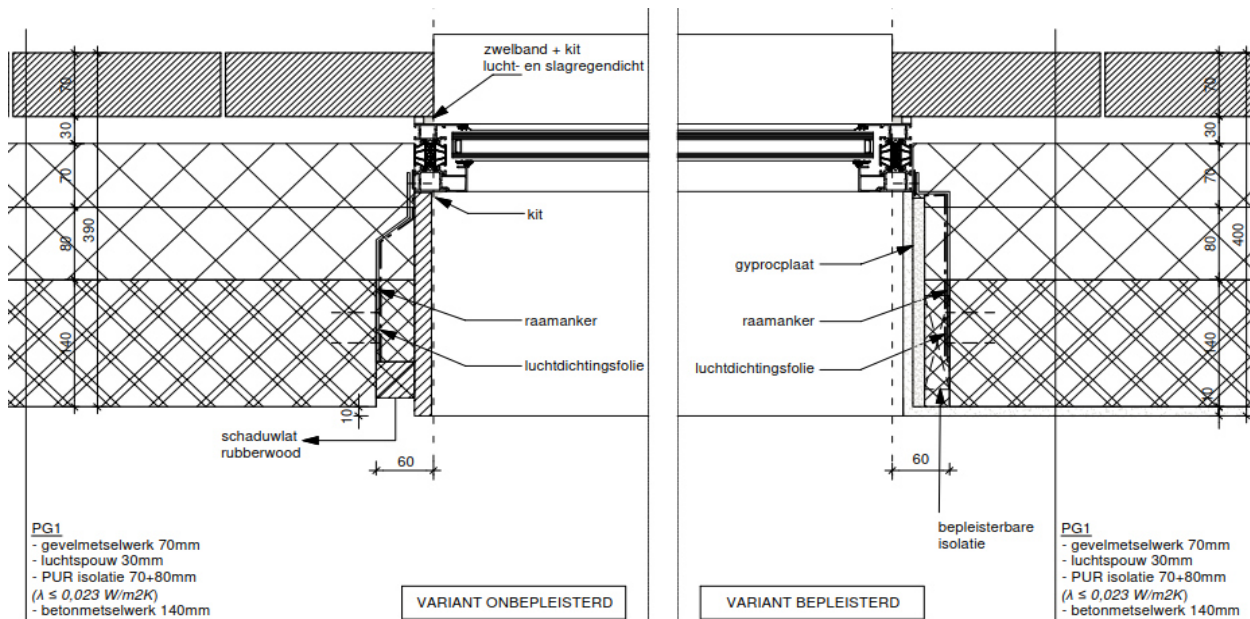
Naam school: De Rozenkrans
 Plannummer: 07
 Naam detail: Gevel zuid - Aansluiting sporthal

STRABAG

Toetsing:	Basisregel 1	Basisregel 2	Basisregel 3	Grenswaarde
	Minimale contactlengte thermische onderdeel	Tussenvoeging isolerende delen	Weg van minste weerstand	Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
	X		X	0,10 W/m.K

Toelichting:

Dit detail kan voldoen aan verschillende basisregels. Zo kan net als in de bovendorpel de isolatiestrook aan basisregel 1 worden voldaan. Tevens is er een funderingsdetail, hierin is te zien dat er niet wordt voldaan aan basisregel 3. Dit is makkelijk op te lossen door ook hier de isolatielaag te verlengen zodat de weg van de minste weerstand wordt verlengd.

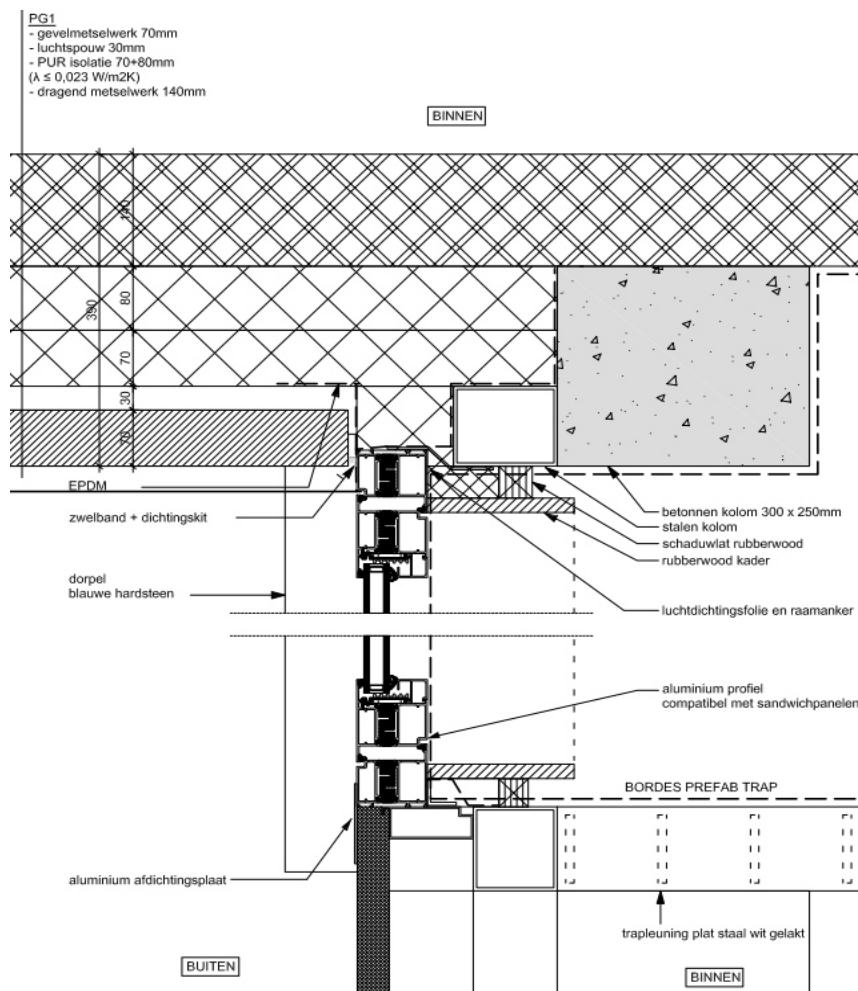


Naam school: De Rozenkrans
 Plannummer: 12
 Naam detail: Gevel noord - inbouw raam parement



Toetsing:			
Basisregel 1	Basisregel 2	Basisregel 3	Grenswaarde
Minimale contactlengte	Tussenvoeging isolerende	Weg van minste	Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
thermische onderdeel	delen	weerstand	
X			
			0,10 W/m.K

Toelichting:
 De aansluitingen van de isolatielaag liggen tot aan het kozijn. De bouwknoop zit hem dan in het kozijn zelf of in de hoekprofielen die worden gebruikt om het kozijn te bevestigen.



Naam school: De Rozenkrans
 Plannummer: 13
 Naam detail: Gevel zuid - inbouwraam, sandwichpanelen en betonplaten

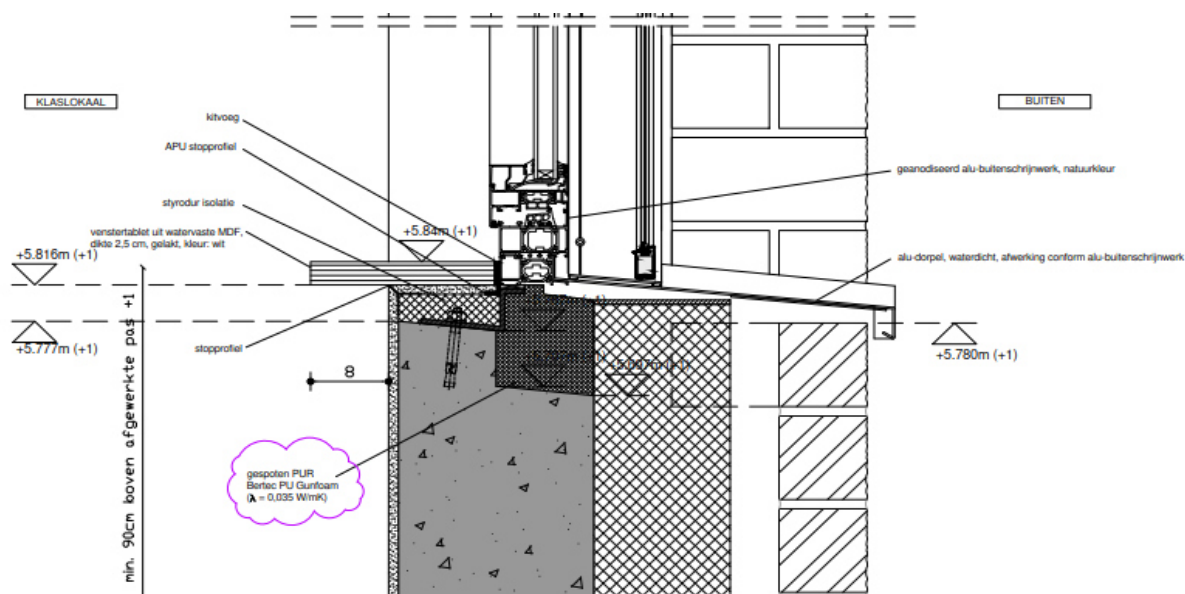
STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De aansluitingen van de isolatielaag liggen tot aan het kozijn. De bouwknoop zit hem dan in het kozijn zelf of in de hoekprofielen die worden gebruikt om het kozijn te bevestigen.

Bijlage 03

Details: GITO Tervuren



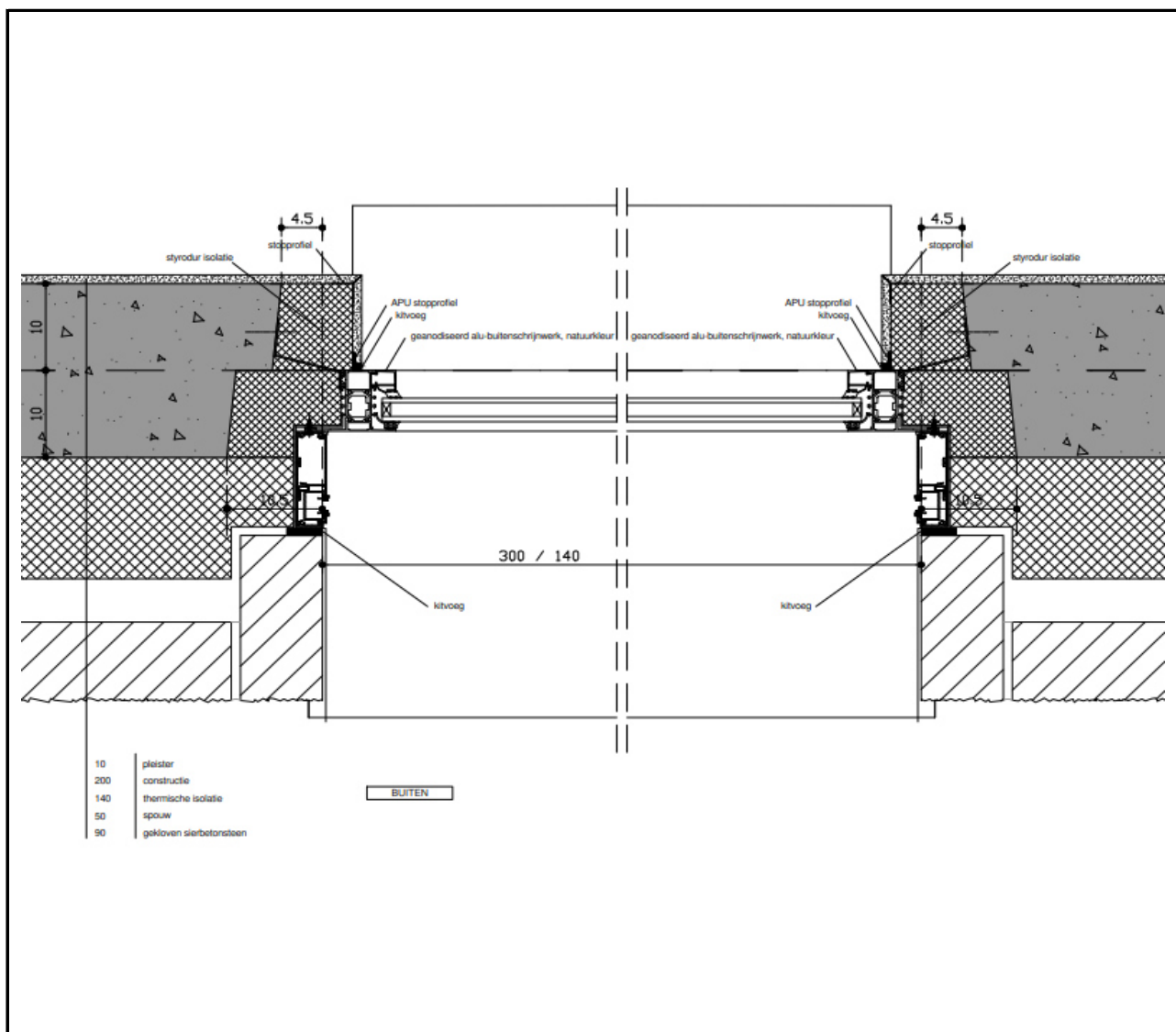
Naam school: GITO Tervuren
 Plannummer: 1
 Naam detail: Verticale snede - buitenschrijnwerk gevelsteen

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
X			0,10 W/m.K

Toelichting:

Basisregel 1 wordt hier bij de onderdorpel goed toegepast, maar als er naar de grenswaarde wordt gekeken voldoet het sandwichpaneel boven het kozijn niet aan de $\Psi_{e \text{ lim.}}$. Dit houdt in dat het sandwichpaneel van betere waarde moet zijn zodat er een nog betere waarde wordt behaald op dit detail.



Naam school: GITO Tervuren

Plannummer: 2

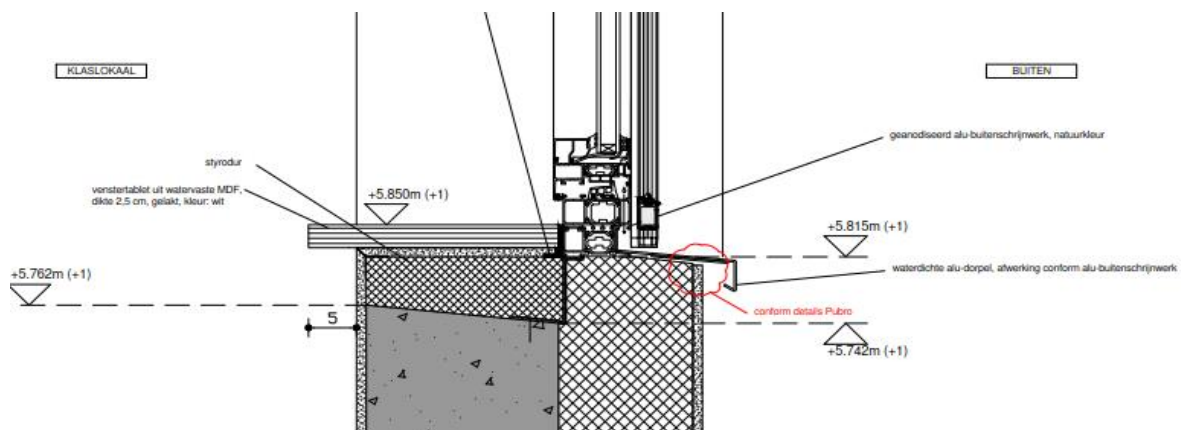
Naam detail: Horizontale snede - buitenschrijnwerk gevelsteen

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
X			0,10 W/m.K

Toelichting:

Het detail zit goed in elkaar. Basisregel 1 wordt ook hier goed toegepast. Mocht dit detail niet EPB - aanvaard zijn dan ligt de waarde van de $\Psi_{e \text{ lim.}}$ hoger dan de grenswaarde voor venster- en deuraansluitingen.

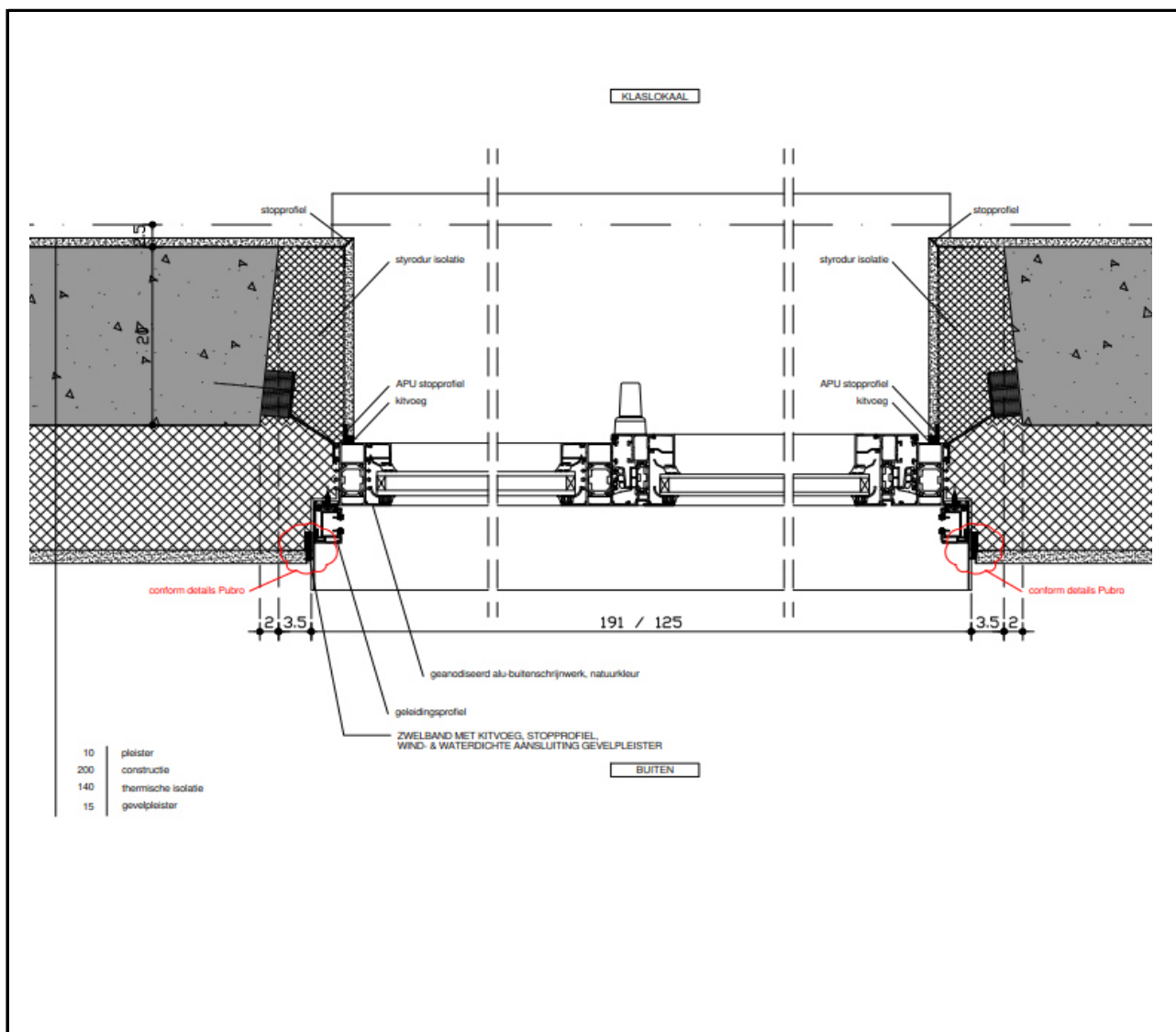


Naam school: GITO Tervuren
 Plannummer: 3
 Naam detail: Verticale snede - buitenschrijnwerk gevelpleister

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
X			0,10 W/m.K

Toelichting:
 De aansluitingen van de isolatielaag liggen tot aan het kozijn. De bouwknoop zit hem dan in het kozijn zelf of in de hoekprofielen die worden gebruikt om het kozijn te bevestigen.

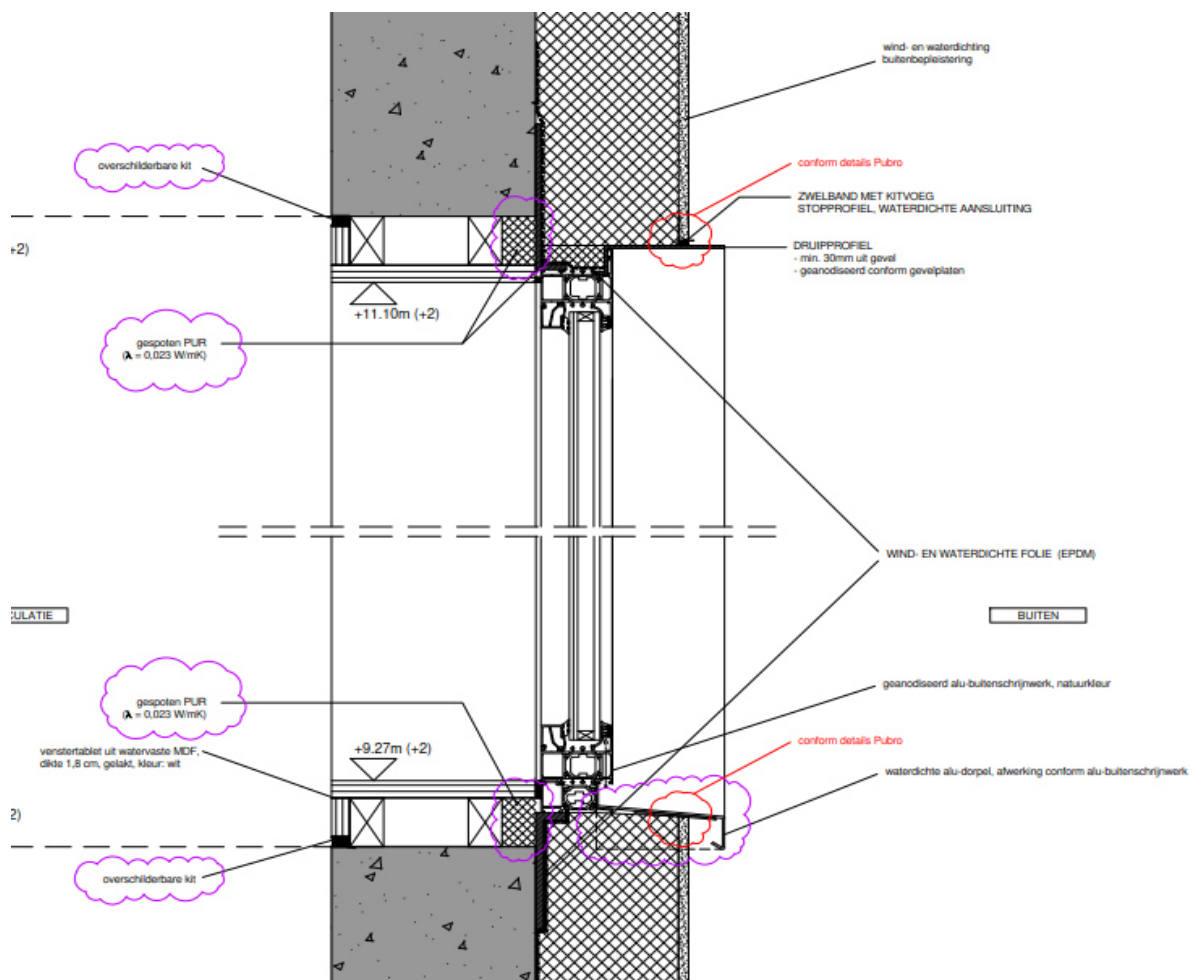


Naam school: GITO Tervuren
 Plannummer: 4
 Naam detail: Horizontale snede - buiterschrijnwerk gevelpleister



Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:
 Het detail zit goed in elkaar. Basisregel 1 wordt ook hier goed toegepast. Mocht dit detail niet EPB -
 aanvaard zijn dan ligt de waarde van de $\Psi_{e \text{ lim.}}$ hoger dan de grenswaarde voor venster- en
 deuraansluitingen.

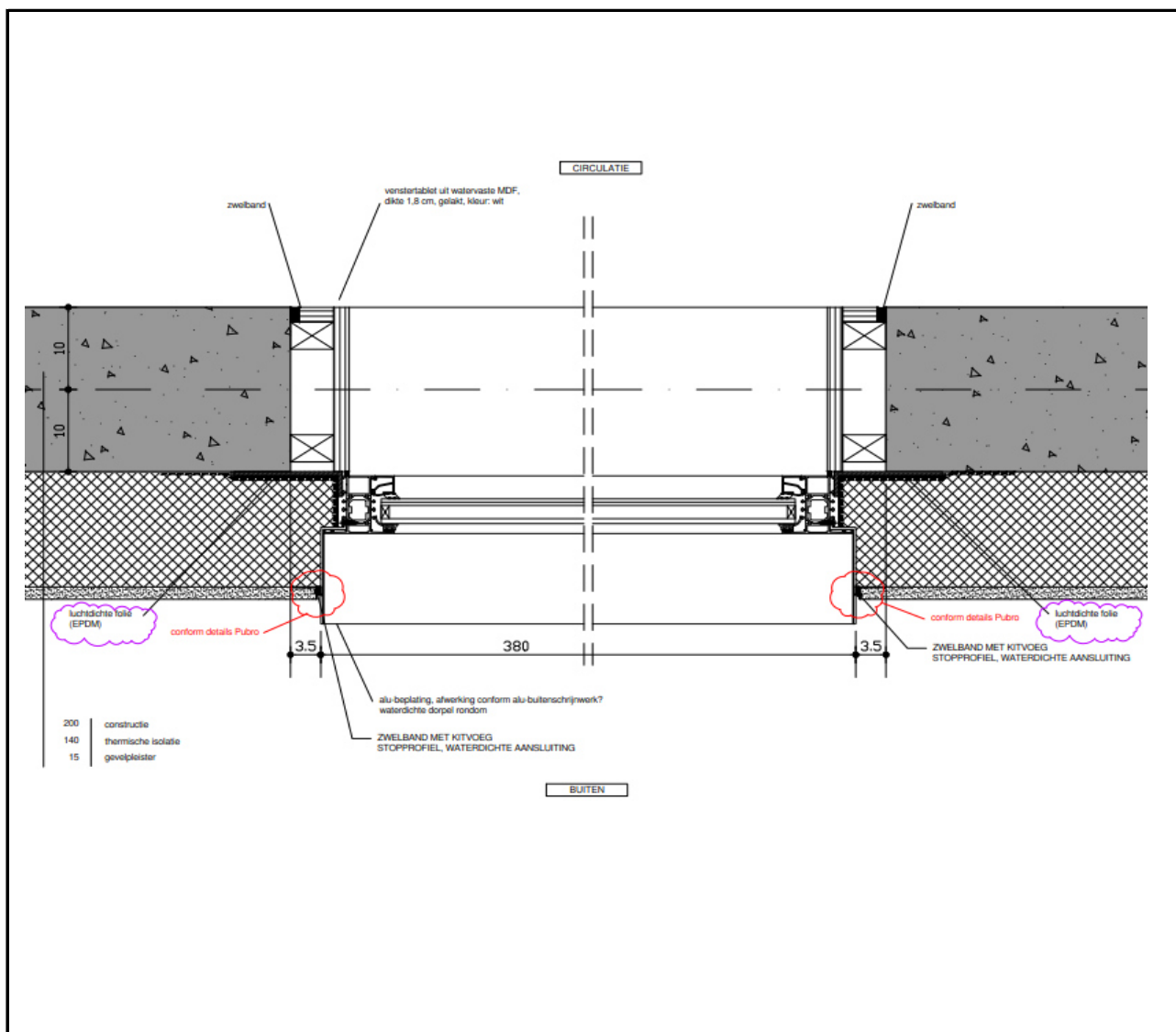


Naam school: GITO Tervuren
 Plannummer: 11
 Naam detail: Horizontale snede - buitenschrijnwerk gevelpleister

STRABAG

Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
--	---	---	---

Toelichting:
 De bovendorpel voldoet niet aan basisregel 1, dit doordat de isolatielaag minder dan de helft is van de dikte van de isolatiwand. Tevens kan ook het kozijn niet voldoen aan de gestelde grenswaarde.



Naam school: GITO Tervuren
 Plannummer: 12
 Naam detail: Horizontale snede - buitenschrijnwerk gevelpleister

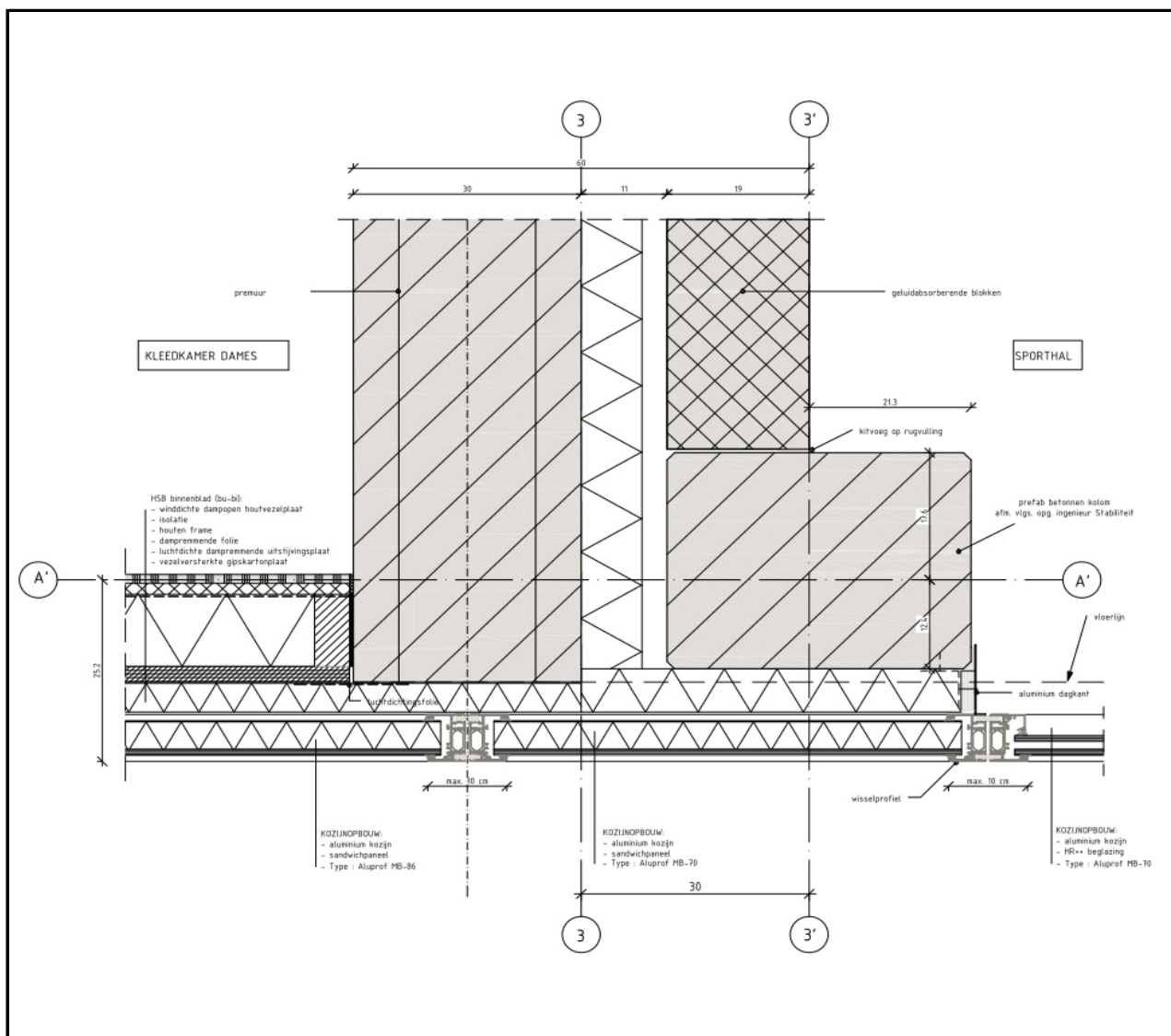
STRABAG

Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknoottype Ψ_e lim. 0,10 W/m.K
--	---	---	---

Toelichting:
 De bovendorpel voldoet niet aan basisregel 1, dit doordat de isolatielaag minder dan de helft is van de dikte van de isolatiwand. Tevens kan ook het kozijn niet voldoen aan de gestelde grenswaarde.

Bijlage 04

Details: Heilige Harten

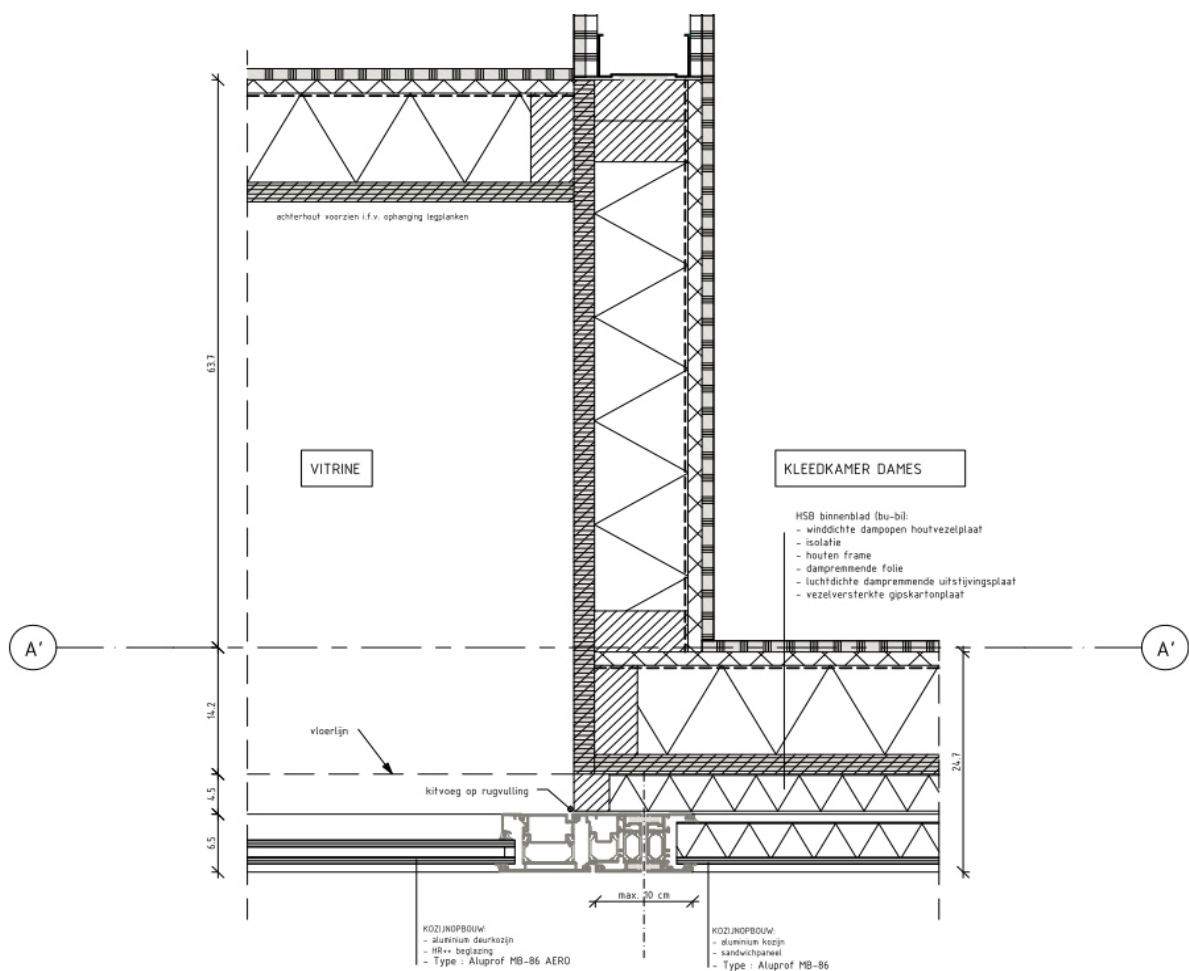


Naam school: Heilige Harten
Plannummer: H00-02
Naam detail: Detail - Horizontale snede

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen X	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
De isolerende wanden lopen gelijk met de binnenmuren en met de kozijnen. Doordat hier geen onderbreking in zit zal de eventuele bouwknoop zitten in het type kozijn. Deze kan een hogere grenswaarde bevatten dan dat er gesteld wordt.

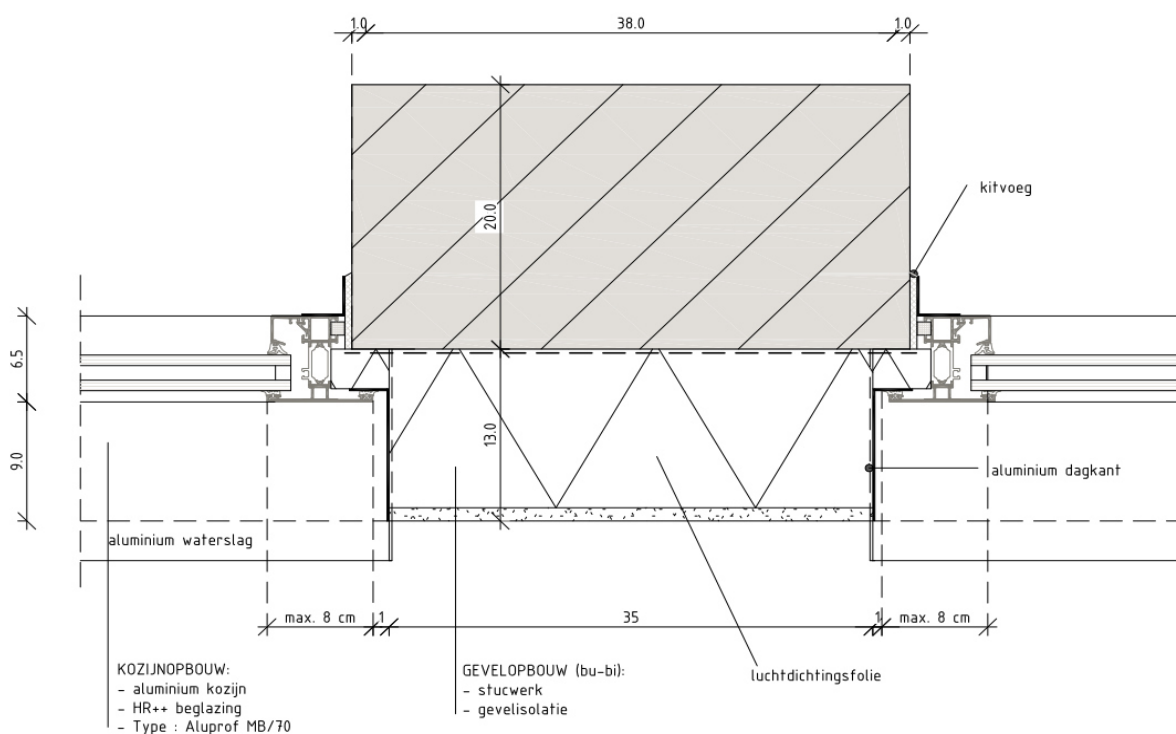


Naam school: Heilige Harten
 Plannummer: H003-03
 Naam detail: Detail - Horizontale snede

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand X	Grenswaarde Bouwknooptype Ψ_e lim. 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Doordat de vitrine niet tot weinig is geïsoleerd kan de koude lucht doorlopen tot in deze ruimte. Doordat de ruimte minder dan 1 meter is tot aan de verwarmde ruimte is dit een bouwknoop. Dit kan verholpen worden door de ruimte te verlengen zodat deze voldoet aan basisregel 3. Tevens kan er een andere oplossing worden bedacht door de wanden beter op elkaar te laten aansluiten zodat de koudebrug voorkomen wordt.

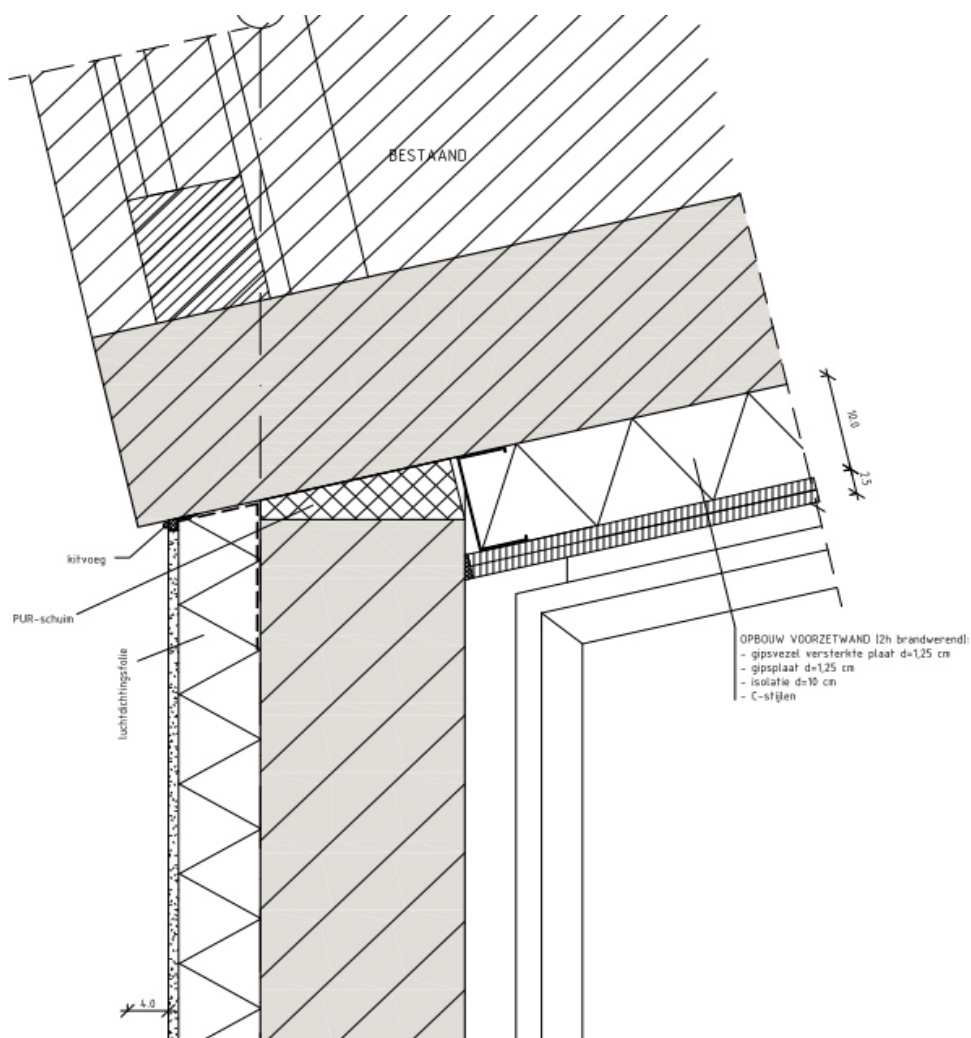


Naam school: Heilige Harten
 Plannummer: H01-01
 Naam detail: Detail - Horizontale snede

STRABAG

Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:
 De isolatielaag die is toegevoegd tussen het kozijn voldoet niet aan basisregel 1. Zodra deze isolatielaag minimaal de helft is van de hoofdisolatie voldoet deze wel. Dan wordt het een EPB - aanvaarde bouwknoop.

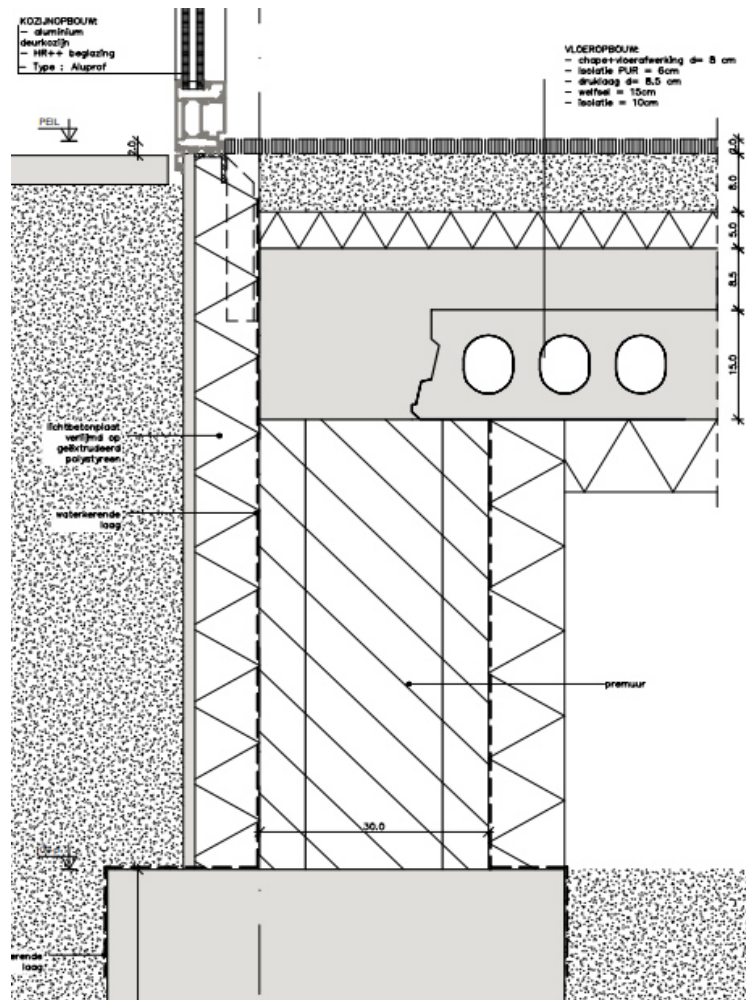


Naam school: Heilige Harten
 Plannummer: H01-02
 Naam detail: Detail - Horizontale snede

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte isolatielagen	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand X	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,00 W/m.K

Toelichting:
 Doordat de bestaande muur in contact staat met de buitenlucht kan de koude lucht makkelijk door de bevestiging in het gebouw komen. Dit is opgelost door de bestaande wand volledig in te pakken in isolatie. Hierdoor wordt de weg van de minste weerstand afgeschermd.

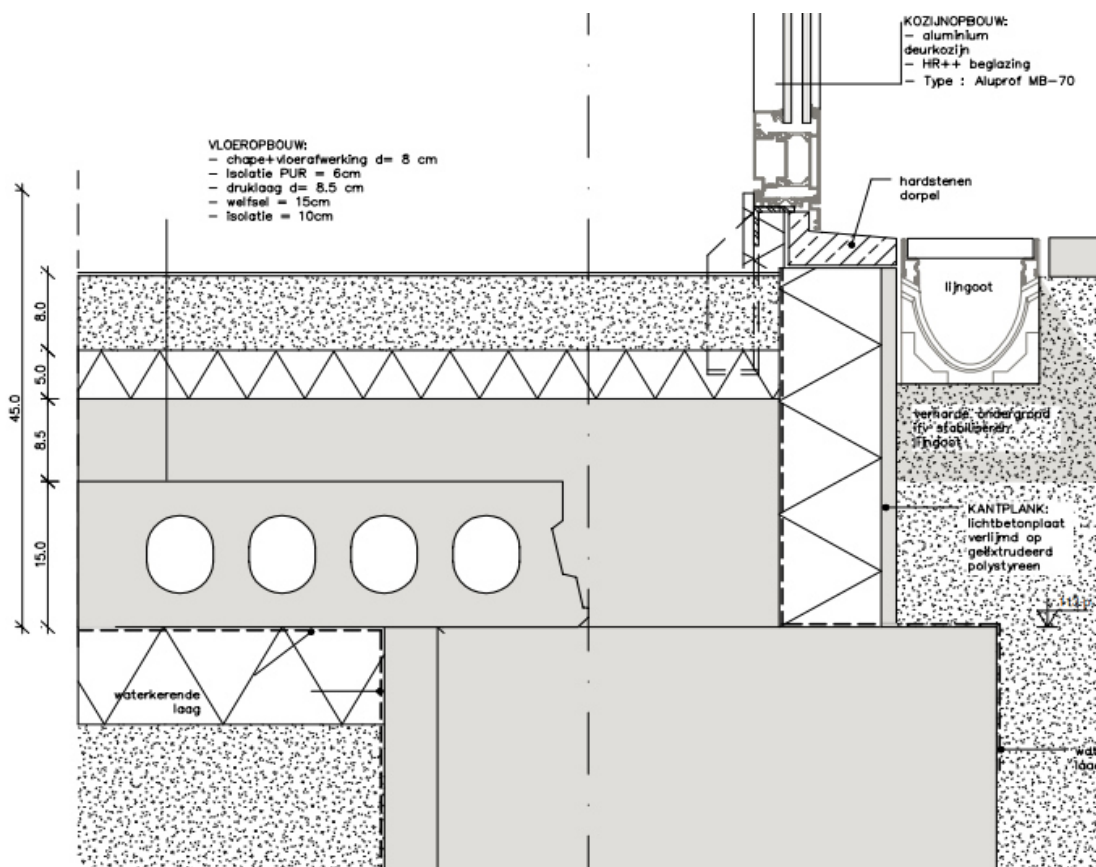


Naam school: Heilige Harten
 Plannummer: V00-05
 Naam detail: Detail - Verticale snede



Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand X	Grenswaarde Bouwknooptype Ψ_e lim. 0,05 W/m.K

Toelichting:
 Bij dit details wordt er goed gekeken naar de weg van de minste weerstand. Zoals in dit detail te zien is ligt de fundering op meer dan 1 meter diepte dus de koude lucht moet een langere afstand afleggen om binnen te komen dan is geëist. Dit houdt in dat dit detail voldoet aan basisregel 3.



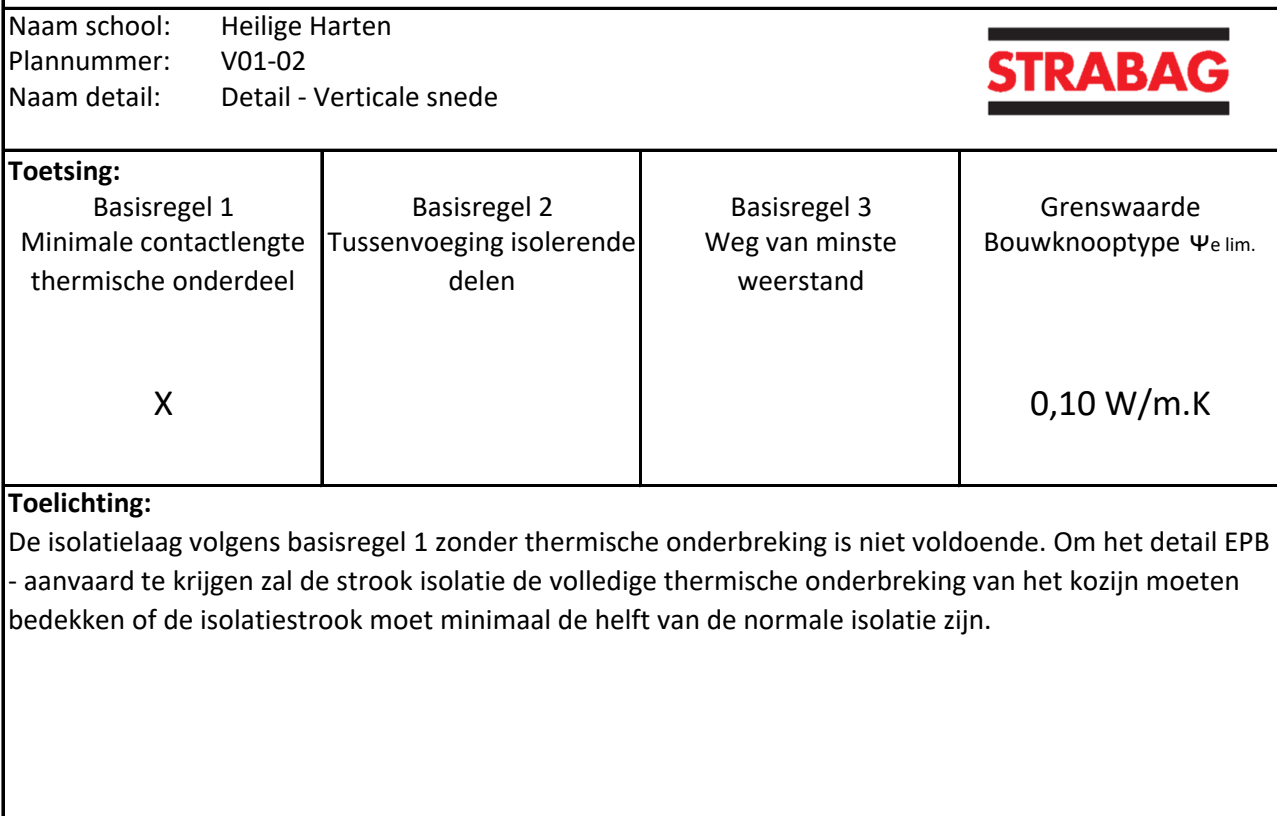
Naam school: Heilige Harten
 Plannummer: V00-06
 Naam detail: Detail - Verticale snede

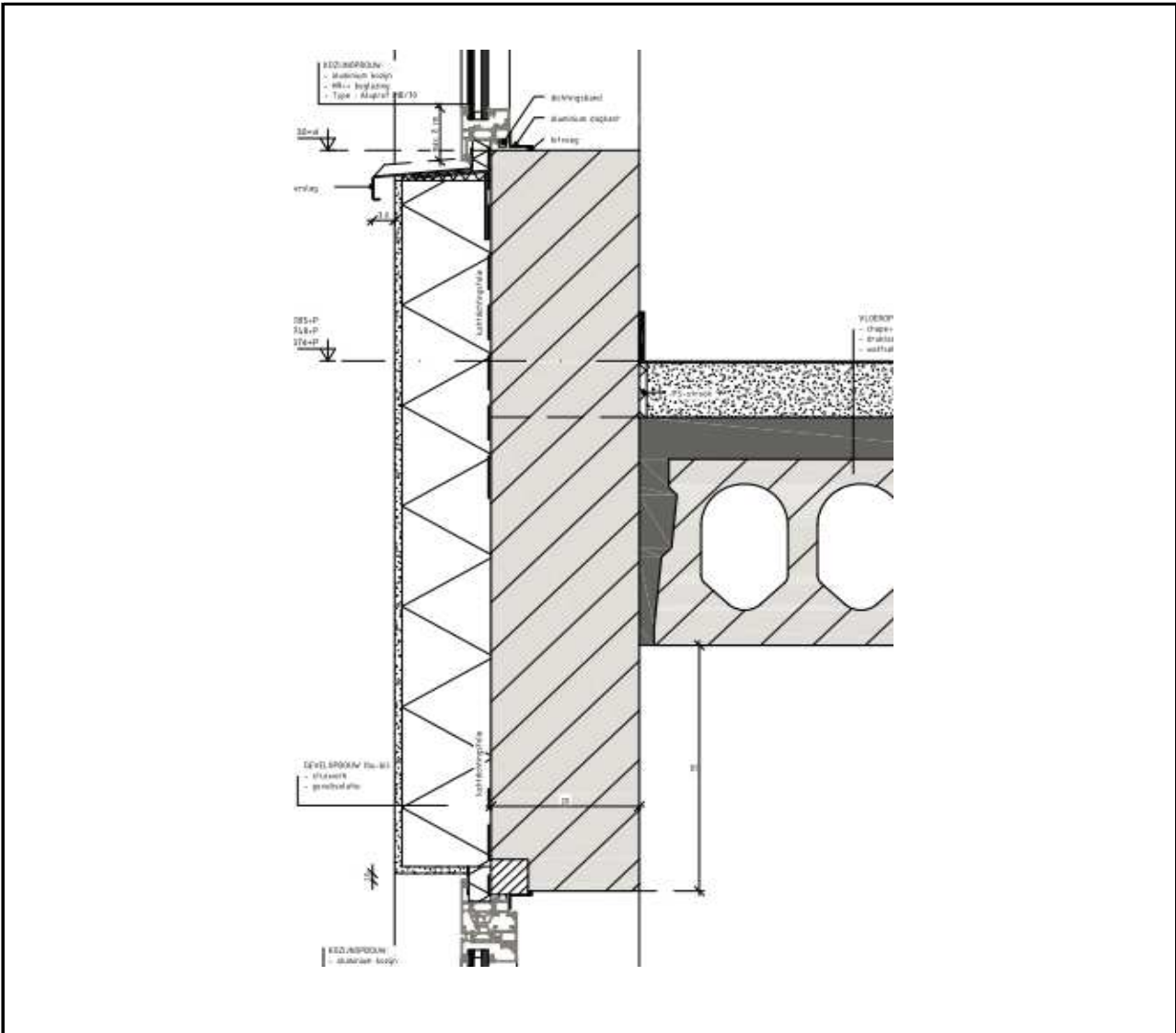
STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen X	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:

De funderingsaanzet bij de deur heeft een enorme bouwknoop bij de onderdorpel. Hier zit een hardstenen dorpel waardoor de koude lucht van buiten makkelijk naar binnen kan transporteren. Dit probleem kan worden aangepakt door er via basisregel 2 een thermische onderbreking aan toe te voegen of door de materialen te veranderen zodat het detail voldoet aan de grenswaarde van venster- en deuraansluitingen.





Naam school:	Heilige Harten	
Plannummer:	V02-01	
Naam detail:	Detail - Verticale snede	

Naam school:	Heilige Harten	
Plannummer:	V02-01	
Naam detail:	Detail - Verticale snede	

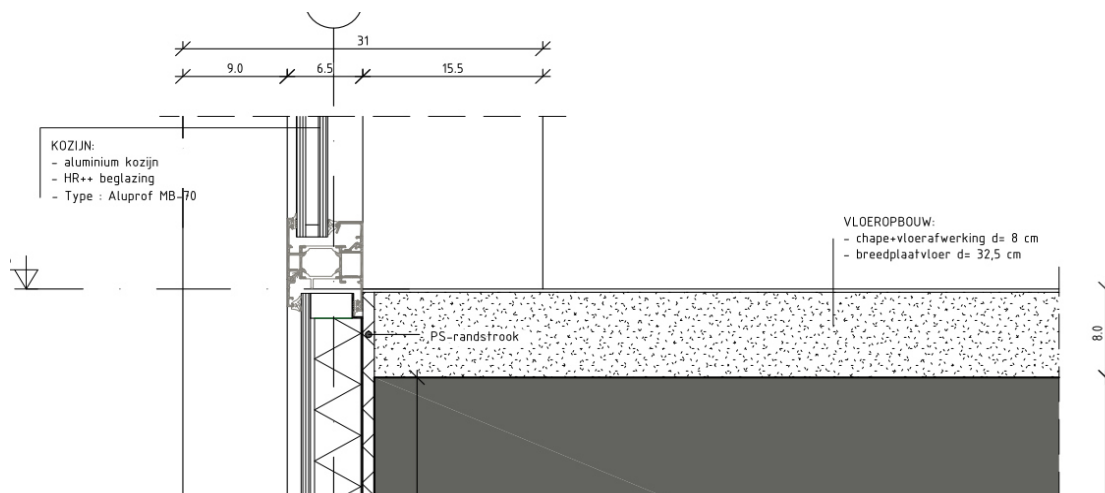
Toetsing:	Basisregel 1	Basisregel 2	Basisregel 3	Grenswaarde
Minimale contactlengte thermische onderdeel	Tussenvoeging isolerende delen	Weg van minste weerstand	Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$	
X				0,10 W/m.K

Toelichting:

De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

Toelichting:

De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

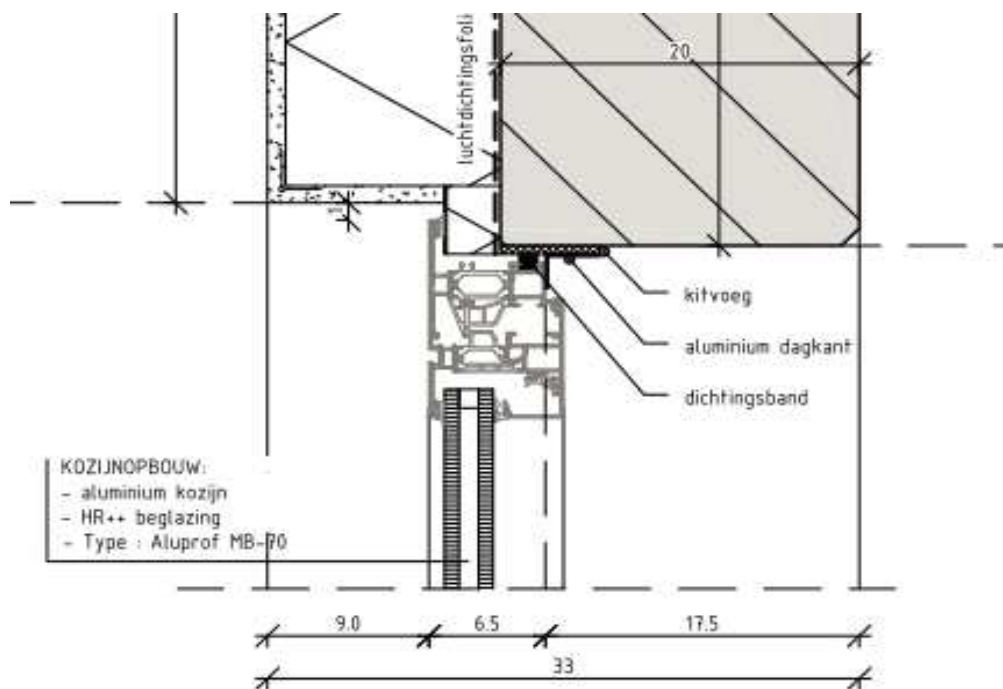


Naam school: Heilige Harten
 Plannummer: V02-02
 Naam detail: Detail - Verticale snede



Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Het kozijn zit volledig over de isolatielaag, hieruit kan dus geen koudebrug ontstaan. Hier is de basisregel goed gehanteerd.



Naam school: Heilige Harten
 Plannummer: V04-01
 Naam detail: Detail - Verticale snede

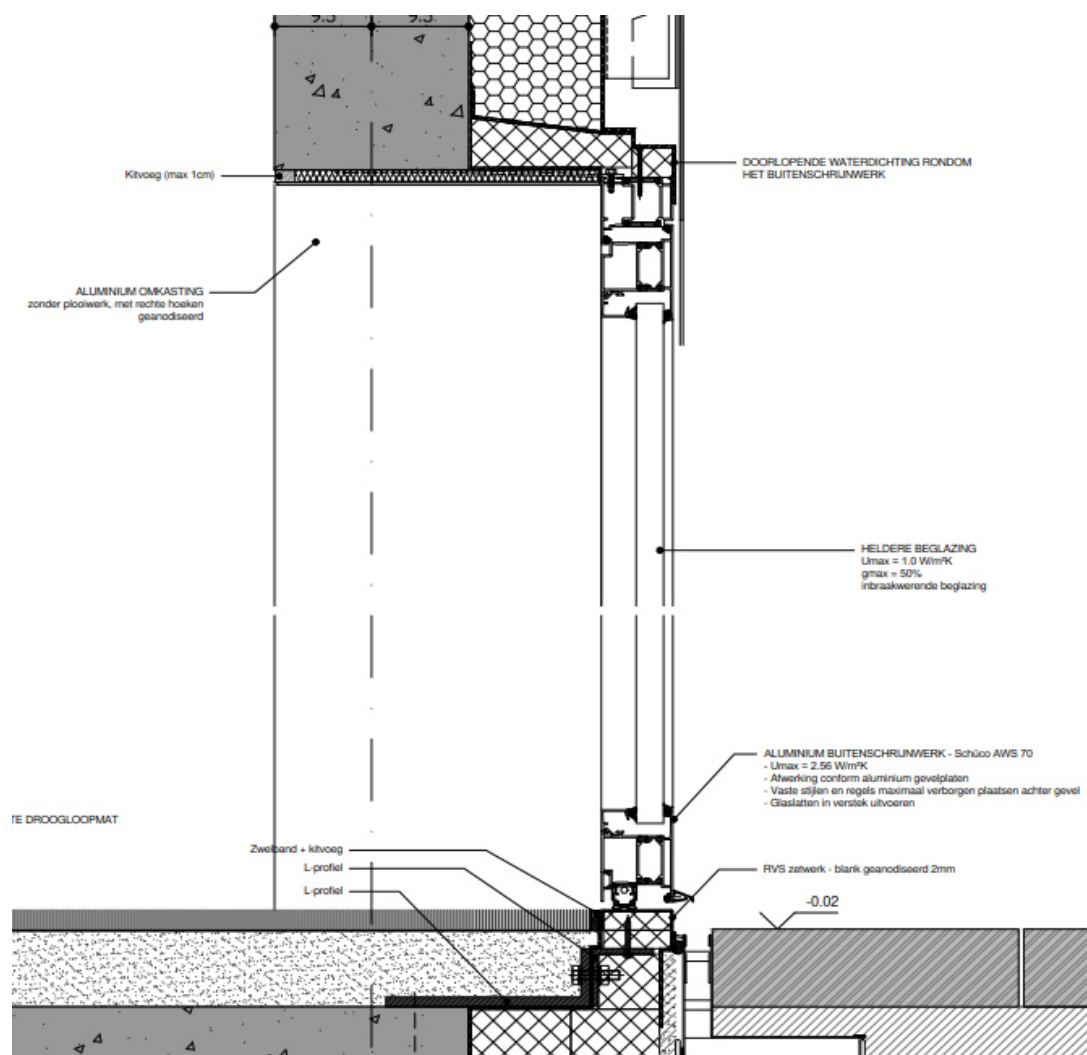
STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknoottype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

Bijlage 05

Details: KTA Halle

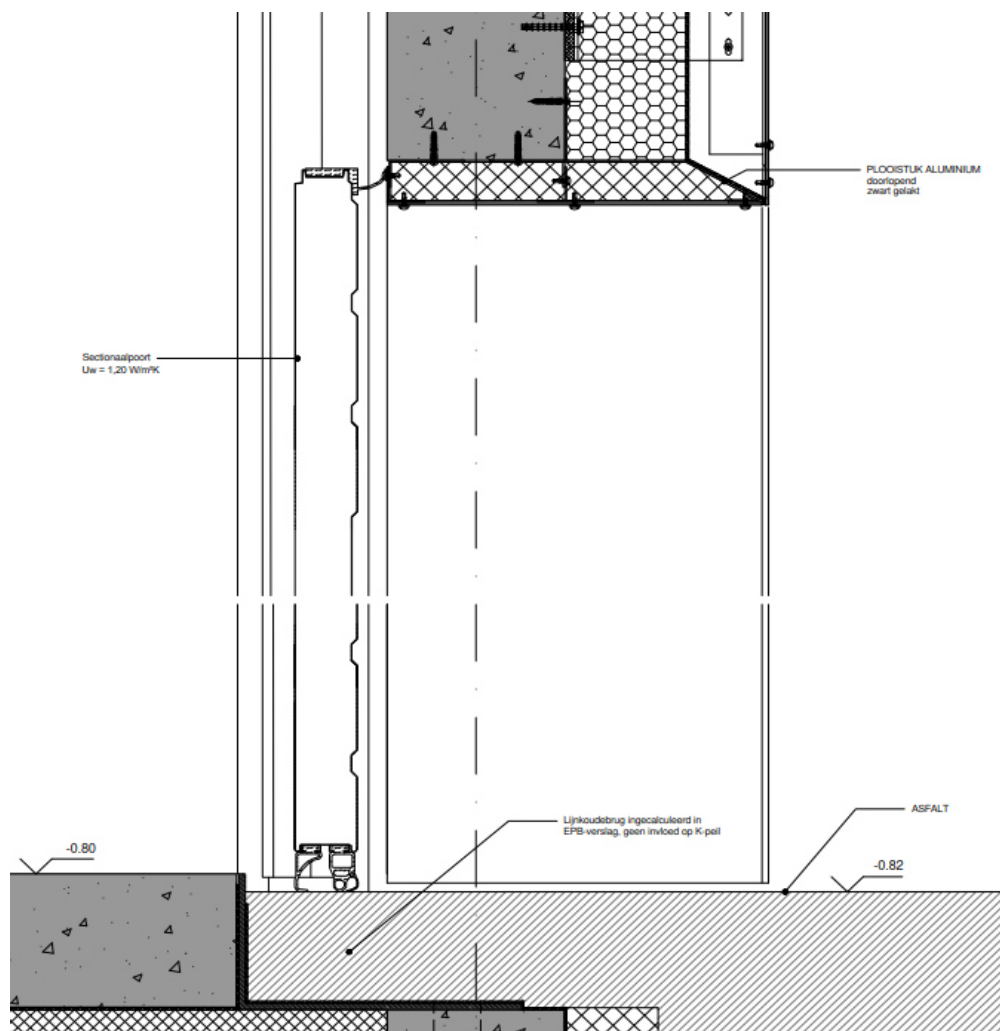


Naam school: KTA Halle fase 1
 Plannummer: 2210.12
 Naam detail: Verticale snede - buitendeur sanitair

STRABAG

Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:
 De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.



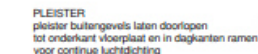
Naam school: KTA Halle fase 1
 Plannummer: 2210.13
 Naam detail: Verticale snede - Sectionaalpoort

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
X	X		0,10 W/m.K

Toelichting:

Een sectionaalpoort is moeilijk te verwerken zonder koudebrug te creëren. Deze poort heeft een grote ruimte nodig om te kunnen bewegen. Hiervoor kan er gekozen worden om te voldoen aan basisregel 1 of 2. Er moet gezorgd worden dat de openingen zoveel mogelijk worden dicht gezet met isolatie.



— Rotswol 15 cm - $\lambda = 0.035$

HOEKPROFIEL —
PLEISTERPLAAT —

VERDUISTEREND BOLGORDJIN —

/ENSTERTABLET OF PLAAT BEKLEED MET HPL

STOPPROFIEL —

- ALUMINIUM BUITENSCHRIJNWERK - Shuco AWS 70
 - Umax = 2.56 W/m²K
 - Afwerking conform aluminium gevelplaten
 - Stijlen en regels deel vast raamgeheel maximaal verborgen plaatsen achter gevel

- BEGLAZING
- $U = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Zonnetoetredingsfactor $g = 23\%$

— ALUMINIUM DORPEL

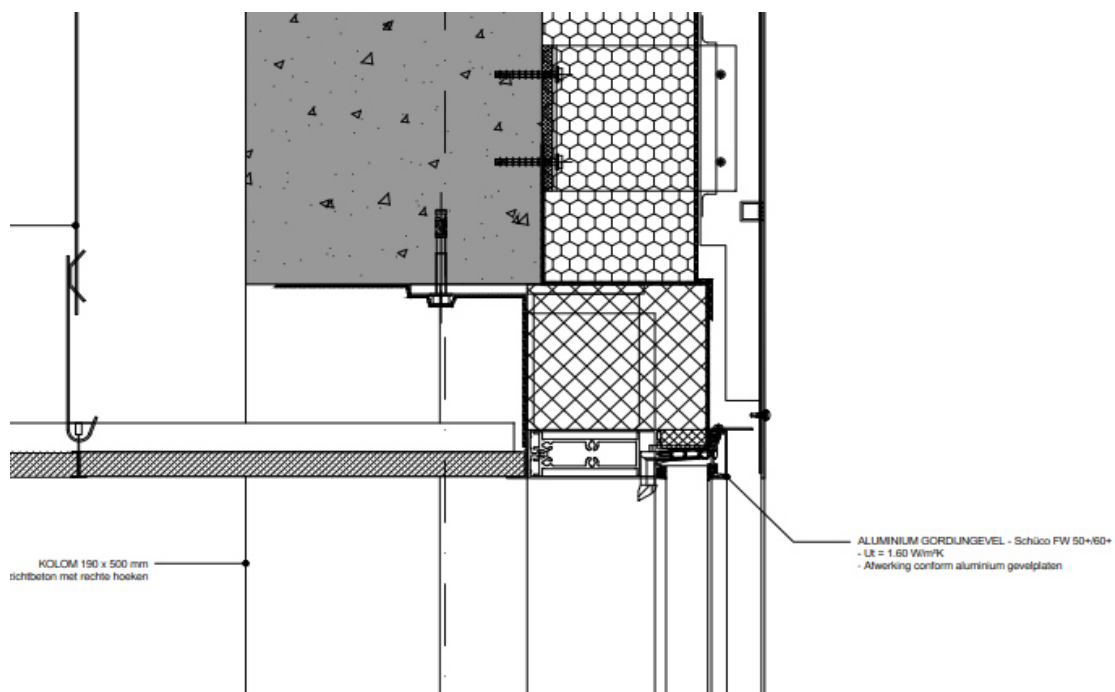
- Rotswol 15 cm - $A = 0.035$

STRABAG

Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:

De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

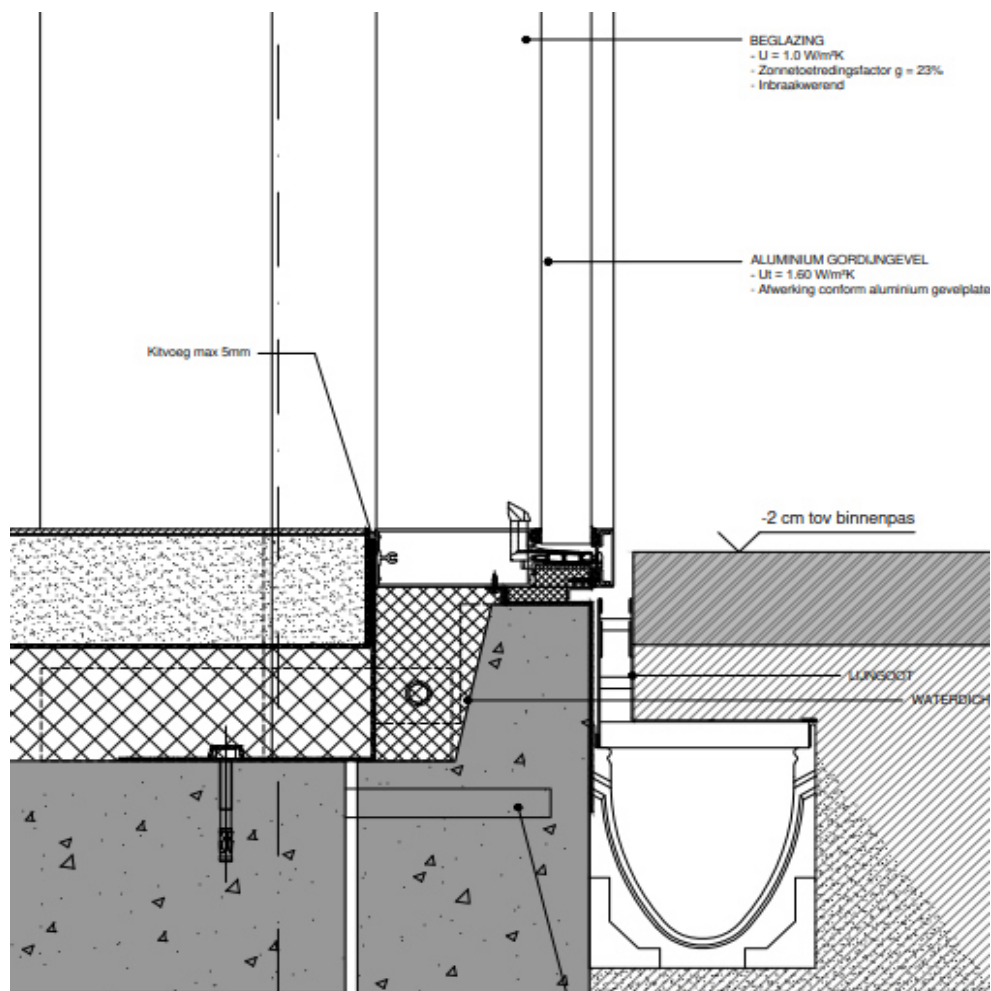


Naam school: KTA Halle fase 1
 Plannummer: 2310.9
 Naam detail: Boven aansluiting - gordijngewel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Hier is goed basisregel 1 van toepassing. De isolatie zit volledig in het kozijn waardoor er volledig contact wordt gemaakt met de thermische onderbreking van het kozijn. Hierdoor is er vrijwel geen koudebrug aanwezig.

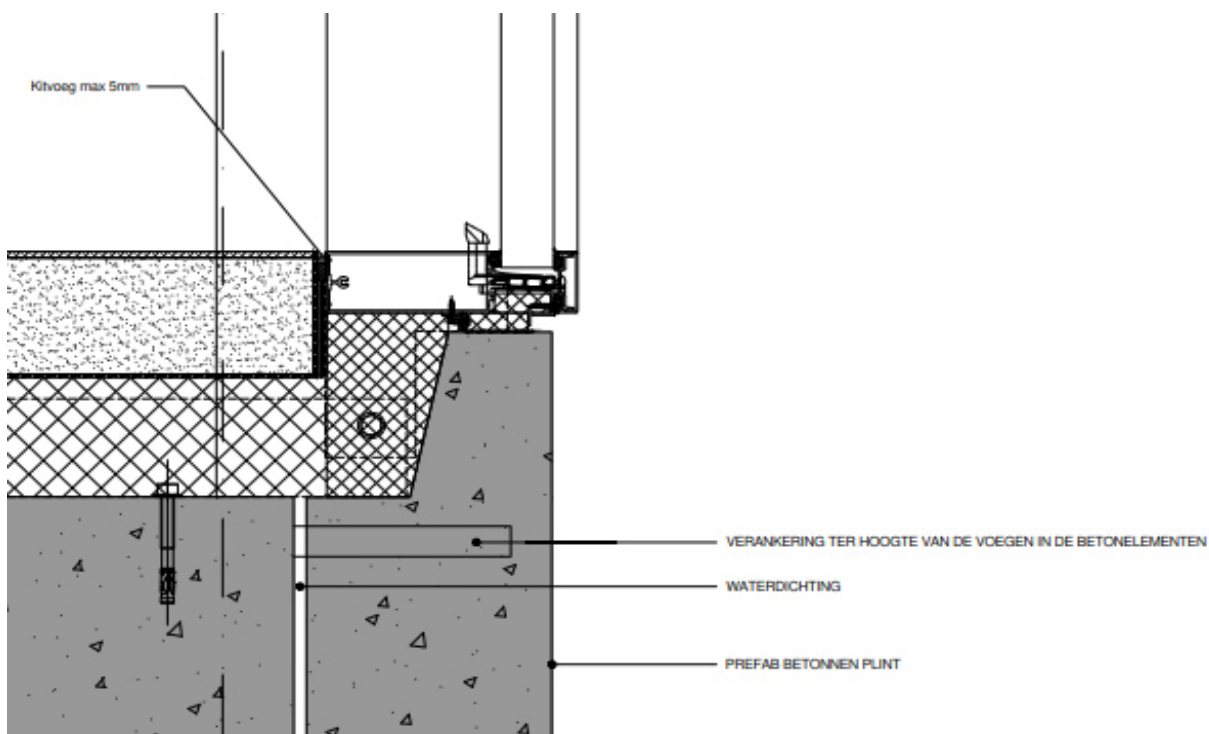


Naam school: KTA Halle fase 1
 Plannummer: 2310.12
 Naam detail: Onder aansluiting - gordijngewel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Hier is goed basisregel 1 van toepassing. De isolatie zit volledig in het kozijn waardoor er volledig contact wordt gemaakt met de thermische onderbreking van het kozijn. Hierdoor is er vrijwel geen koudebrug aanwezig.

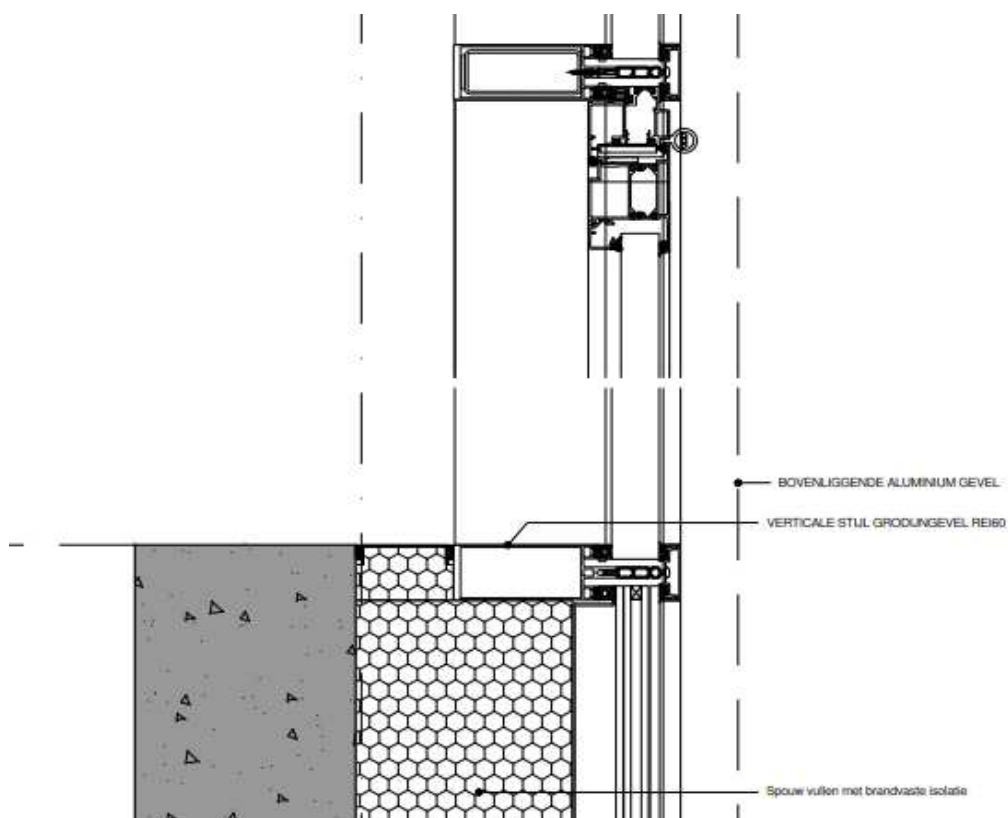


Naam school: KTA Halle fase 1
 Plannummer: 2310.13
 Naam detail: Onder aansluiting plint met zonnewering gordijngewel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Hier is goed basisregel 1 van toepassing. De isolatie zit volledig in het kozijn waardoor er volledig contact wordt gemaakt met de thermische onderbreking van het kozijn. Hierdoor is er vrijwel geen koudebrug aanwezig.

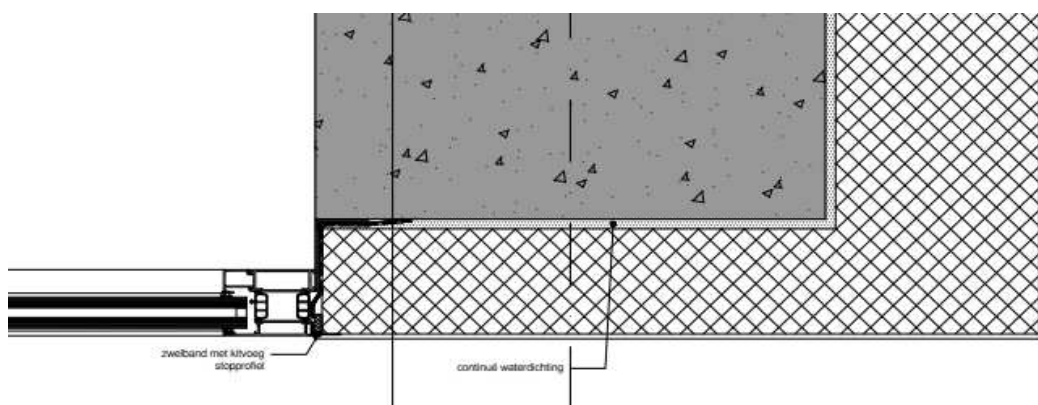


Naam school: KTA Halle fase 1
 Plannummer: 2310.15
 Naam detail: Horizontale snede gordijngewel - hoek

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Deze stijl is onderdeel van een gordijngewel, hierdoor zit er een deel van de stijl ingepakt in isolatie zodat hier geen koudebrug kan ontstaan. De overige delen zijn kozijndelen. Deze zijn getest op de U-waardes. Doordat deze waarden al meegenomen zijn in een berekening voldoet deze aan de EPB.

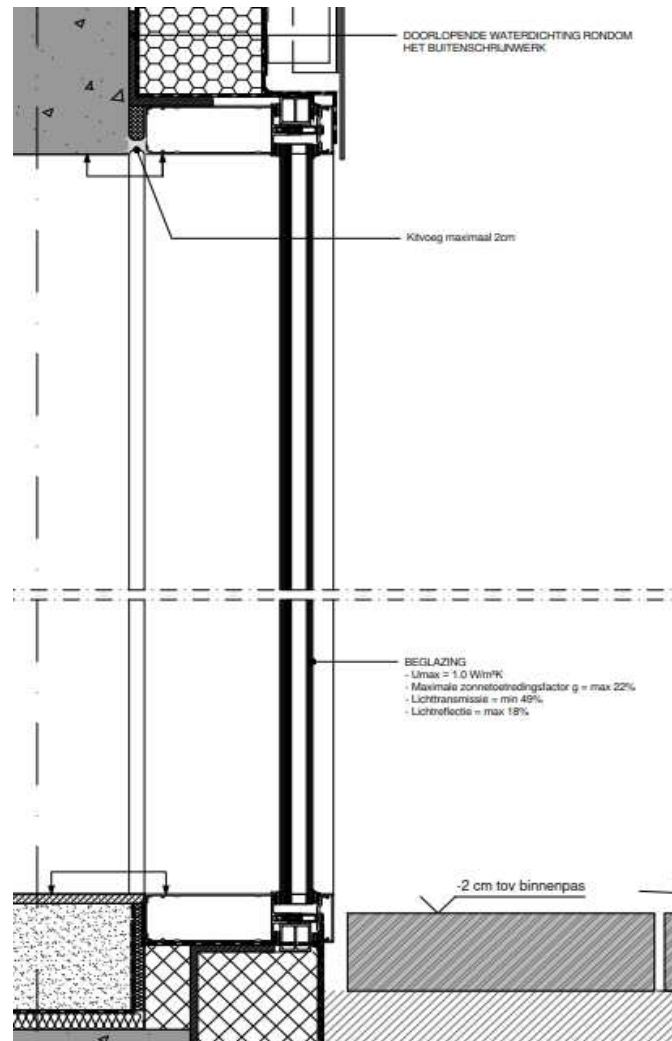


Naam school: KTA Halle fase 2
 Plannummer: 2210.11
 Naam detail: Deur in bepleisterde gevel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

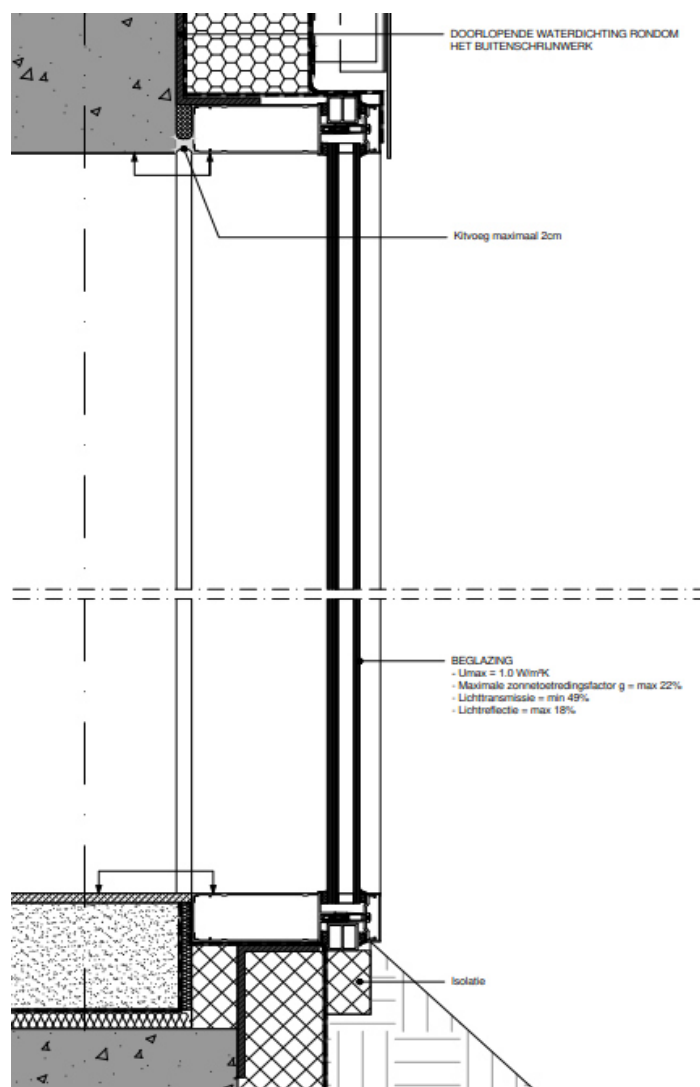


Naam school: KTA Halle fase 2
 Plannummer: 2310.4a
 Naam detail: Deur in bepleisterde gevel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De onderdorpel is correct uitgevoerd volgens basisregel 1. Alleen de bovendorpel wordt hier niet volgens de eis toegepast. Ook hier zal een isolatierand moeten worden toegepast tot tegen de thermische onderbreking.

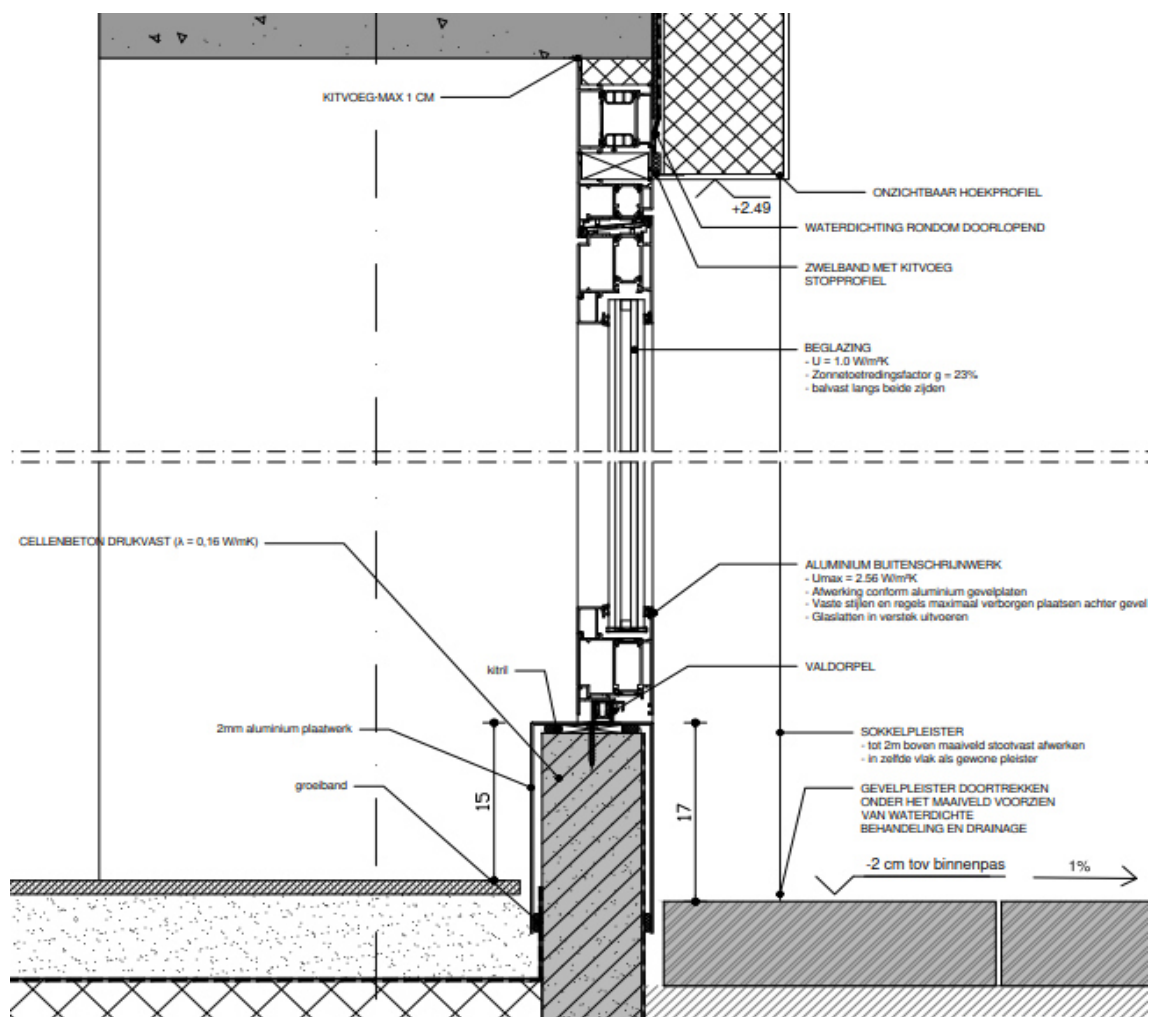


Naam school: KTA Halle fase 2
 Plannummer: 2310.4b
 Naam detail: Deur in bepleisterde gevel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De onderdorpel is correct uitgevoerd volgens basisregel 1. Alleen de bovendorpel wordt hier niet volgens de eis toegepast. Ook hier zal een isolatierand moeten worden toegepast tot tegen de thermische onderbreking.



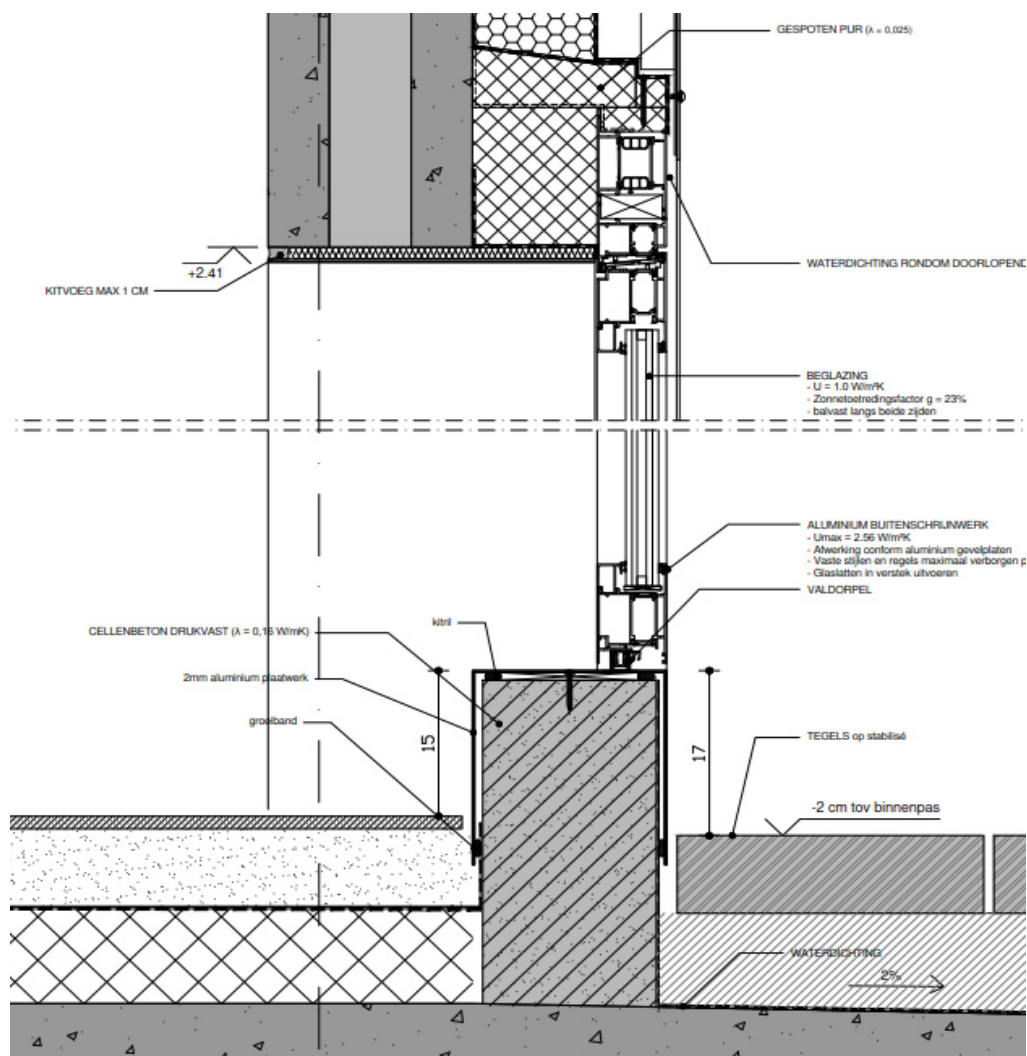
Naam school: KTA Halle fase 2
 Plannummer: 2310.5a
 Naam detail: Deur in bepleisterde gevel

STRABAG

Toetsing:	Basisregel 1	Basisregel 2	Basisregel 3	Grenswaarde
	Minimale contactlengte thermische onderdeel	Tussenvoeging isolerende delen	Weg van minste weerstand	Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
	X			0,10 W/m.K

Toelichting:

De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

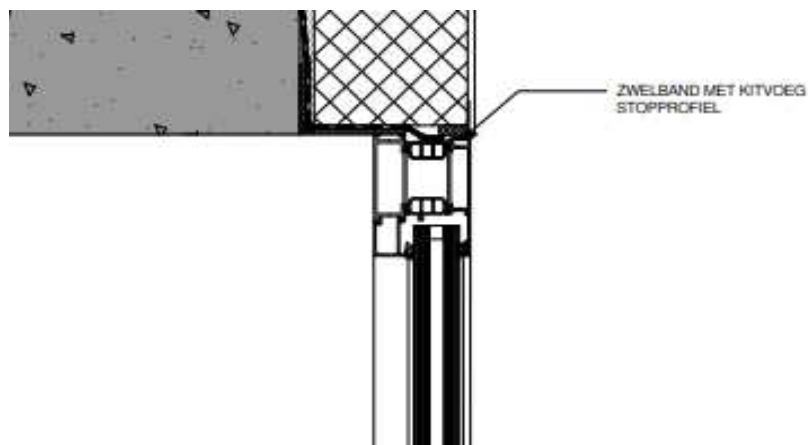


Naam school: KTA Halle fase 2
 Plannummer: 2310.5c
 Naam detail: Deur in aluminium gevel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.



Naam school: KTA Halle fase 2
 Plannummer: 2310.6
 Naam detail: Deur in bepleisterde gevel

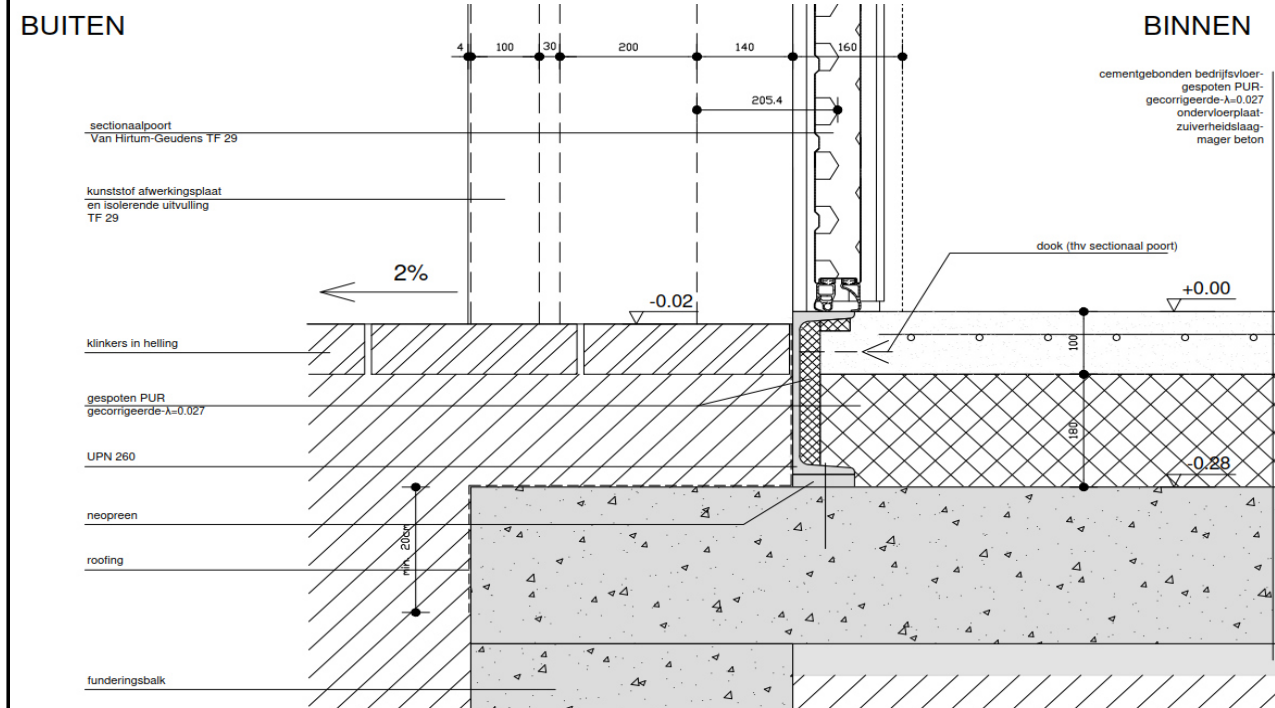
STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

Bijlage 06

Details: KTA Zwijndrecht

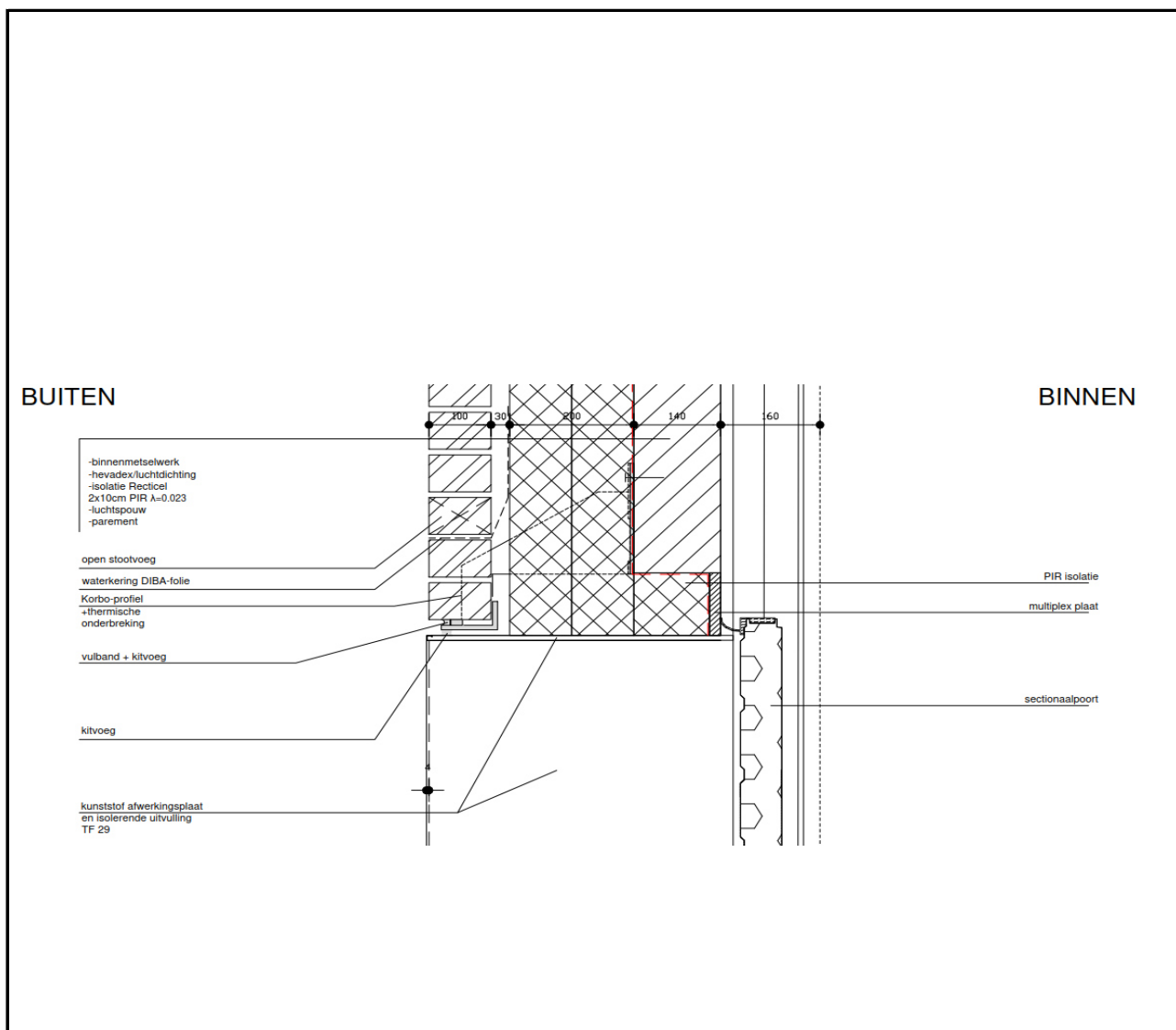


Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 4
 Naam detail: Aanzet buitenmuur thv buitenpoort



Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype Ψ_e lim. 0,10 W/m.K
--	---	---	---

Toelichting:
 De buitenpoort staat niet in direct contact met een isolatiedeel. Door het gebruik van het stalen profiel is hier een koudebrug aanwezig. Deze is minimaal doordat het stalen profiel wel volledig is ingepakt in isolatie.

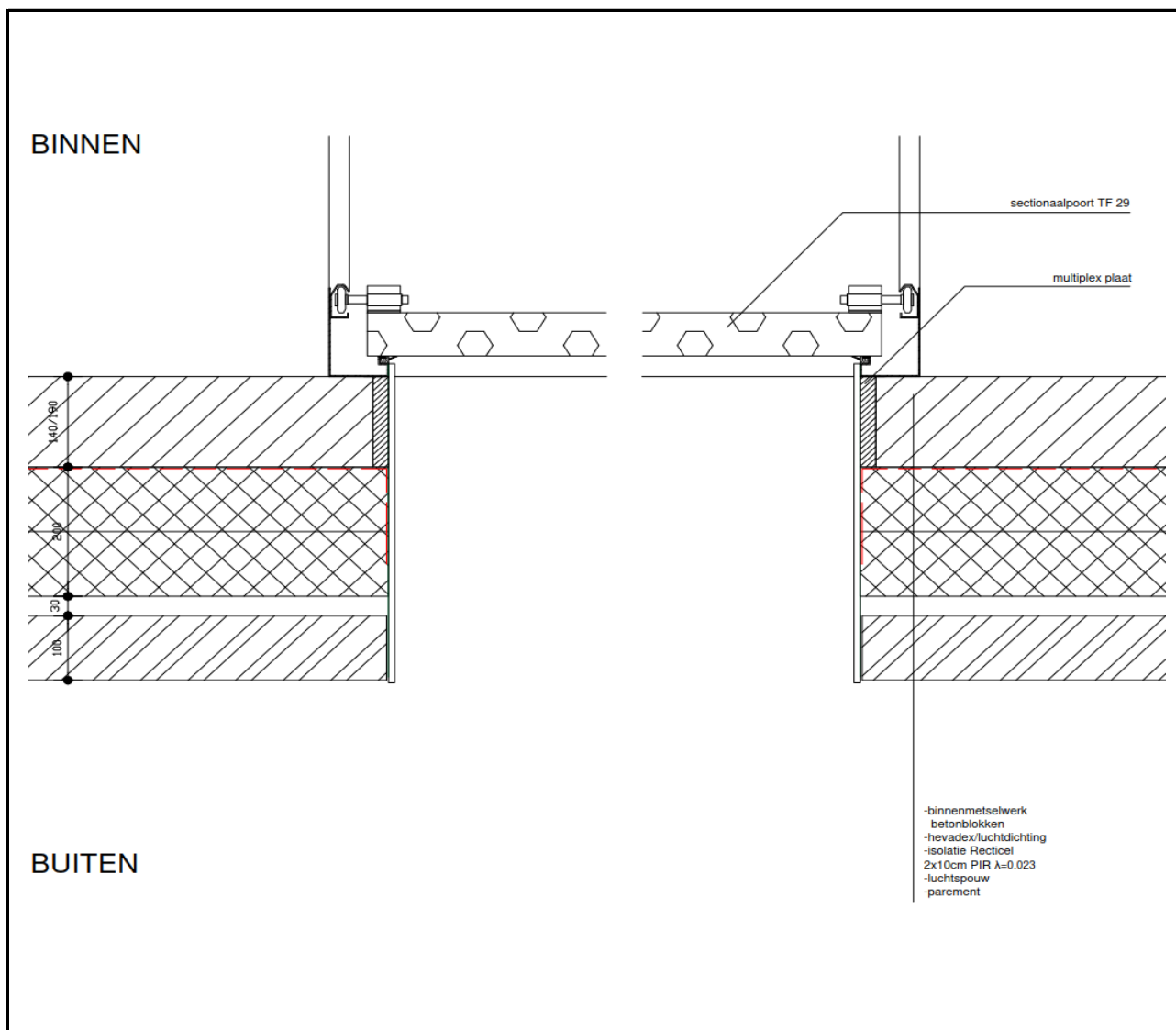


Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 4'
 Naam detail: Aansluiting bovenkant thv buitenpoort



Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen X	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	--	--	---

Toelichting:
 Doordat hier geen thermische onderbreking in de buitenpoort aanwezig is, is er gebruik gemaakt van een isolerend tussendeel. Hierdoor is alleen een minimale koudebrug aanwezig door de multiplex plaat die gemonteerd is aan de sectionaalpoort.

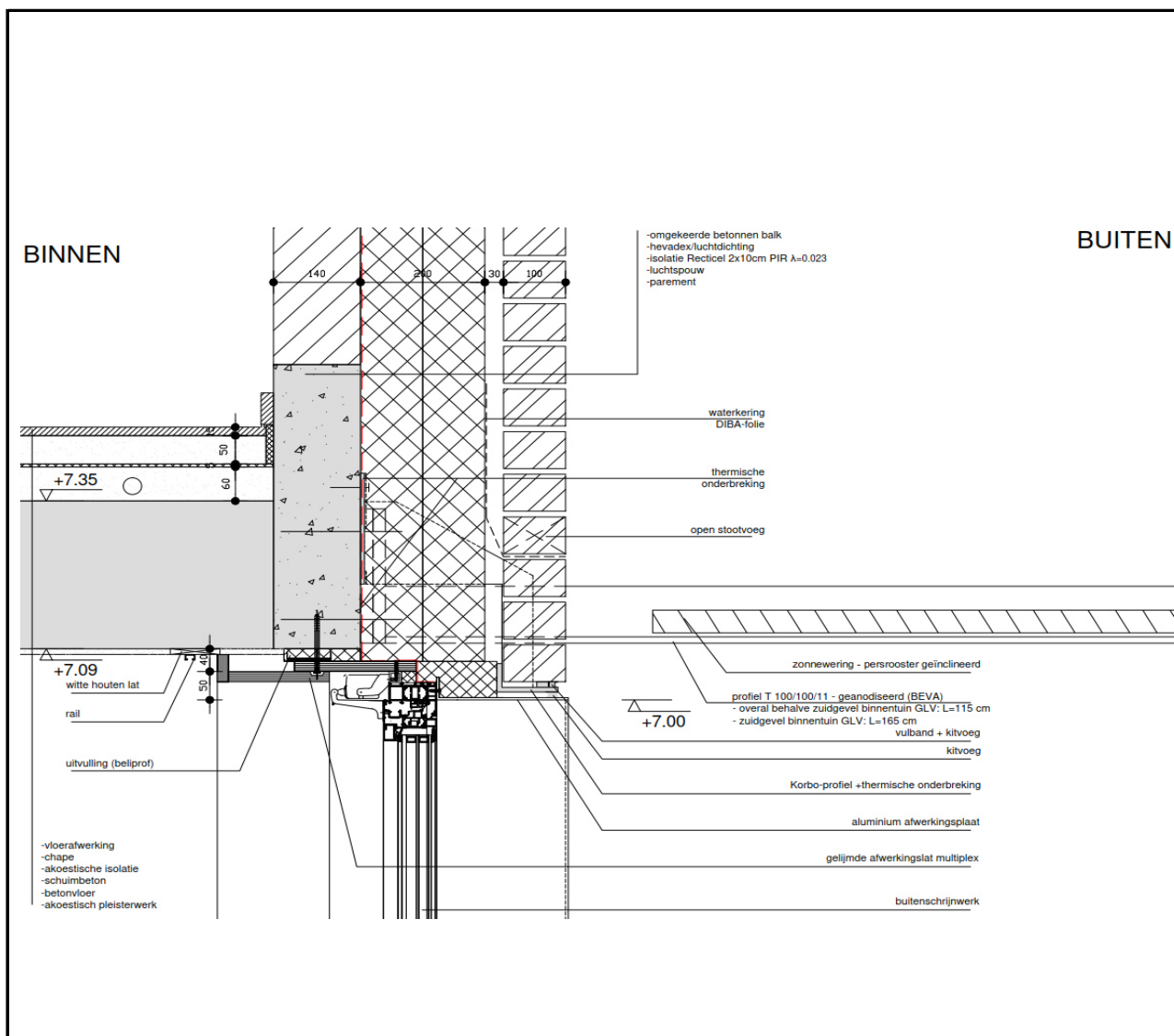


Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 4"
 Naam detail: Aansluiting zijkanen thv buitenpoort



Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
	X		0,10 W/m.K

Toelichting:
 De poort is aan de binnenkant van de muur bevestigd, dit houdt in dat de koude lucht rechtstreeks via de binnenmuur naar binnen kan gaan. Hier kan gebruik worden gemaakt van een thermische onderbreking of verplaatsing van de buitenpoort.



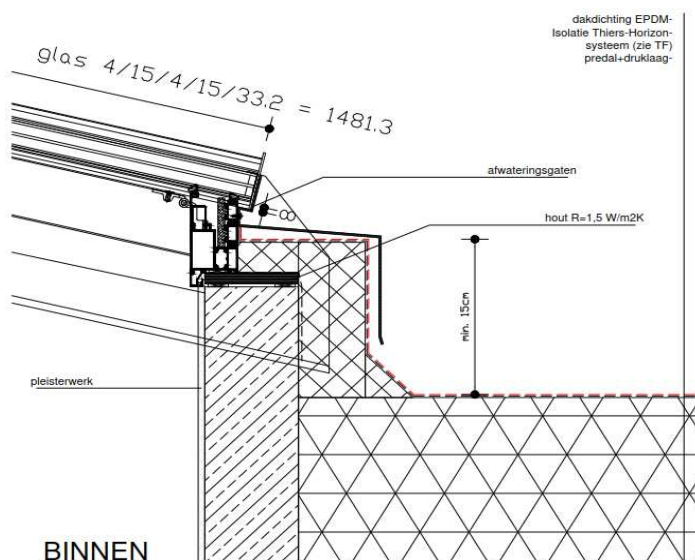
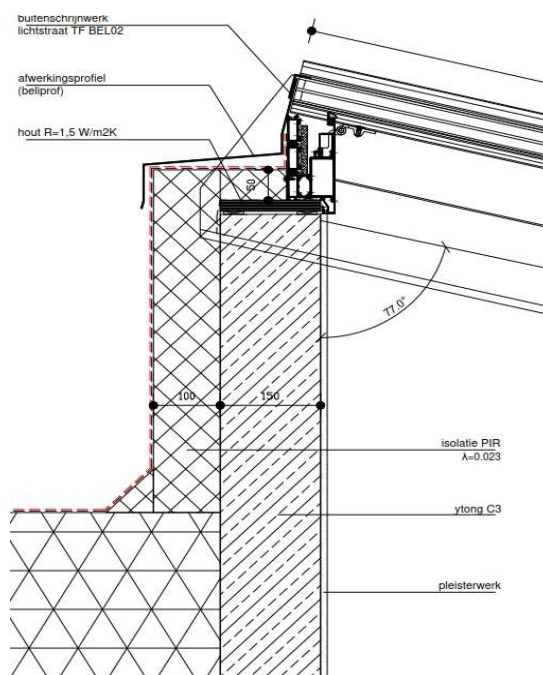
Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 5
 Naam detail: Bevestiging zonnewering



Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:
 De isolatielaag volgens basisregel 1 zonder thermische onderbreking is niet voldoende. Om het detail EPB - aanvaard te krijgen zal de strook isolatie de volledige thermische onderbreking van het kozijn moeten bedekken of de isolatiestrook moet minimaal de helft van de normale isolatie zijn.

BUITEN



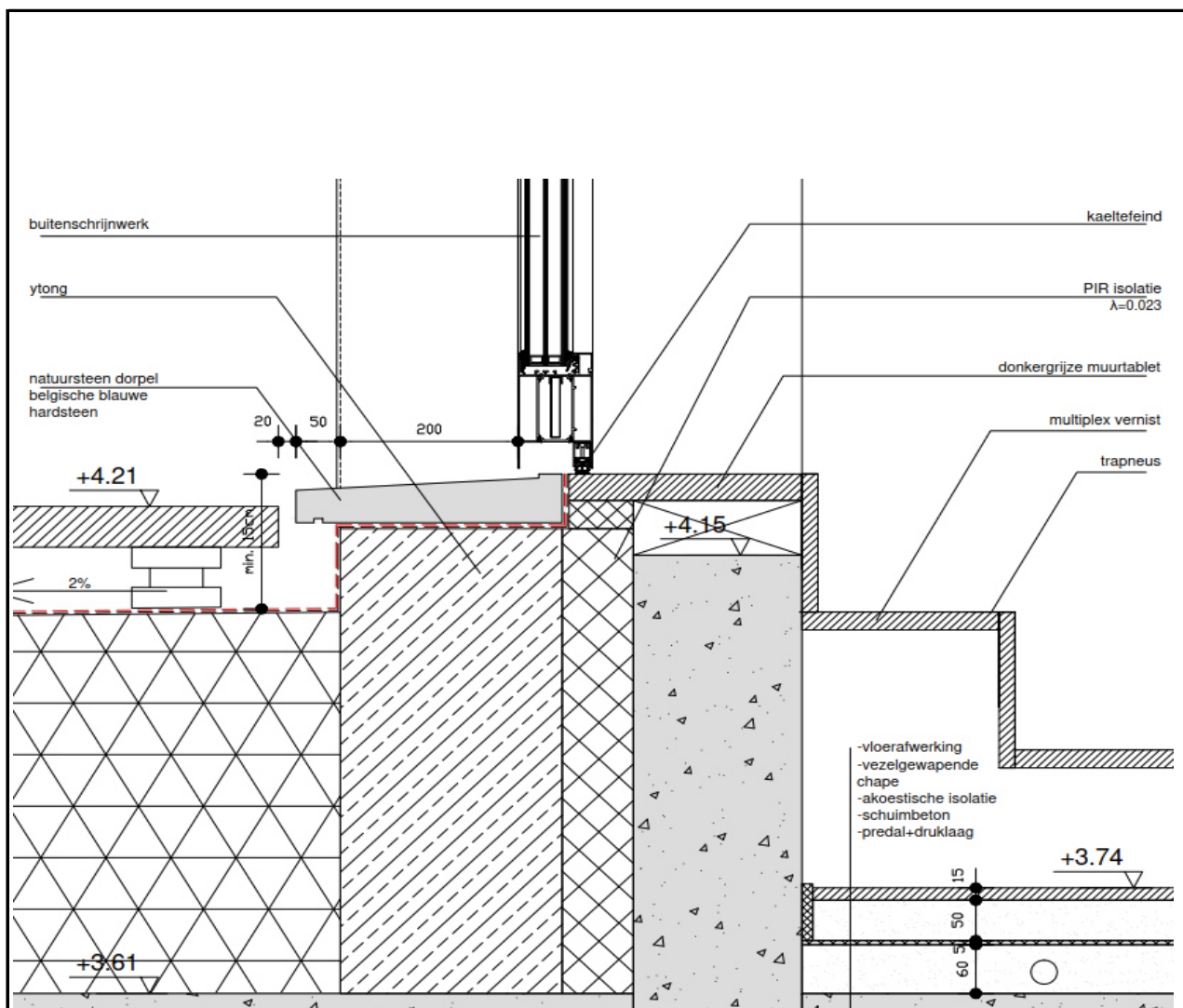
BINNEN

Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 7
 Naam detail: Aansluiting lichtstraat

STRABAG

Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype Ψ_e lim. 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:
 In het kozijn is een thermische onderbreking toegepast. Deze staat niet in direct contact met de isolatielaag van het dak. Hier is een lichte koudebrug aanwezig. Deze is meegenomen in de waarde van het daklicht.

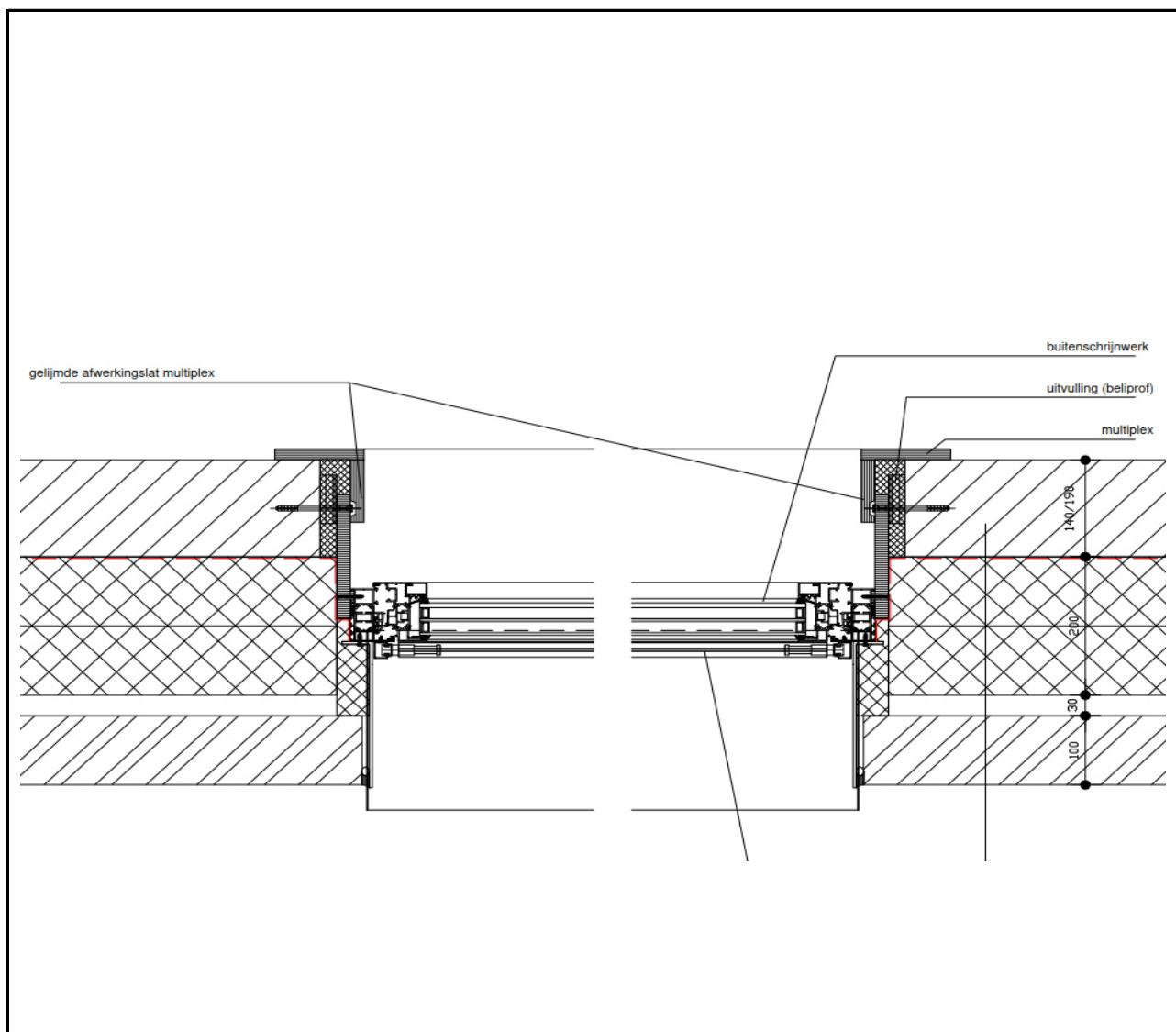


Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 10'
 Naam detail: Dakterras blok C thv buitendeur

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen X	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De hardstenen dorpel zorgt voor een koudebrug richting de trap binnen. Deze is geminimaliseerd door het gebruik van een isolatiestuk onder de trap. Echter zit de thermische onderbreking van de deur niet in aanraking met de isolatiestrook van de muur. Dit houdt in dat hier een koudebrug ontstaat.

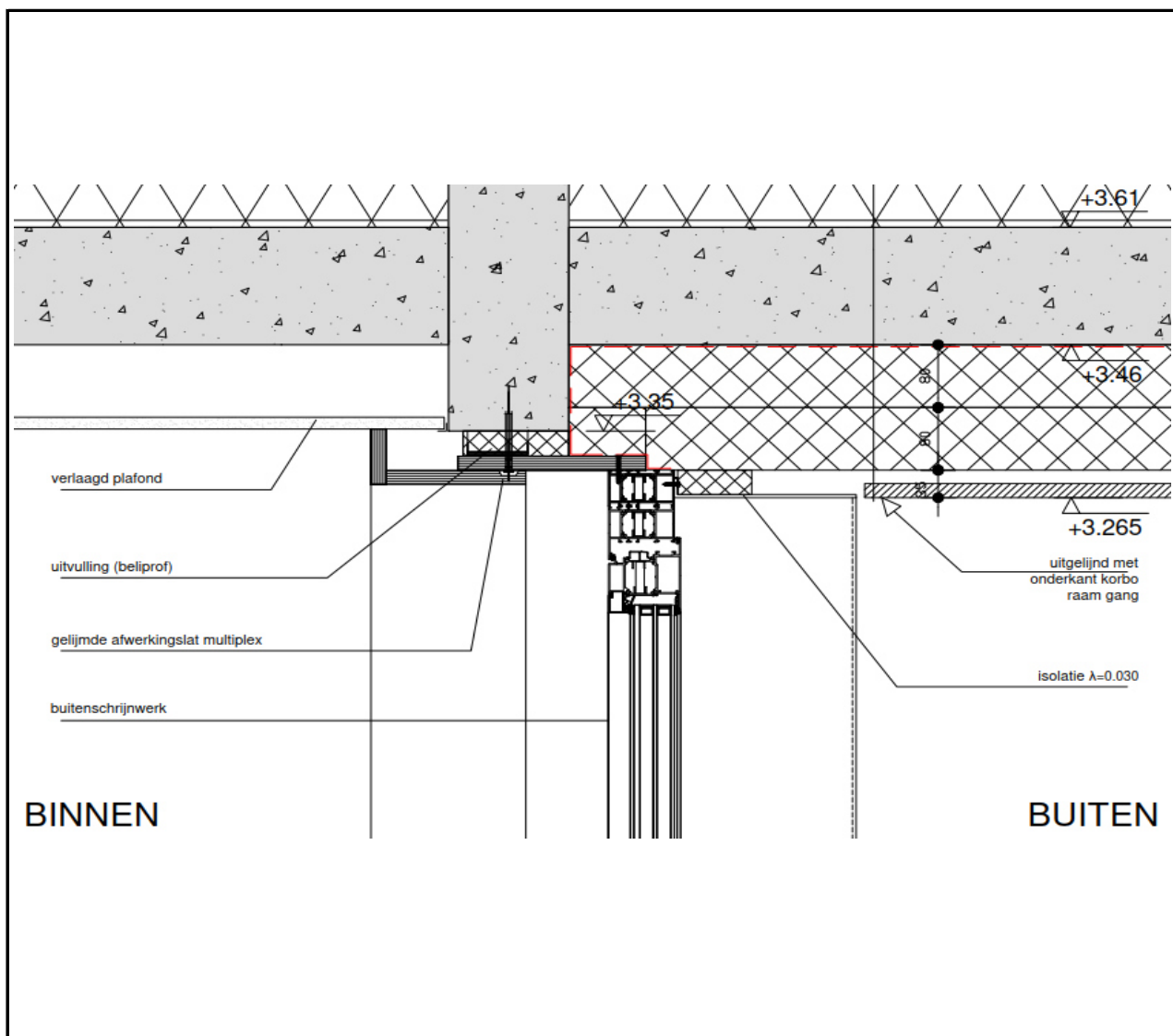


Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 12
 Naam detail: Raam met screen

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
X			0,10 W/m.K

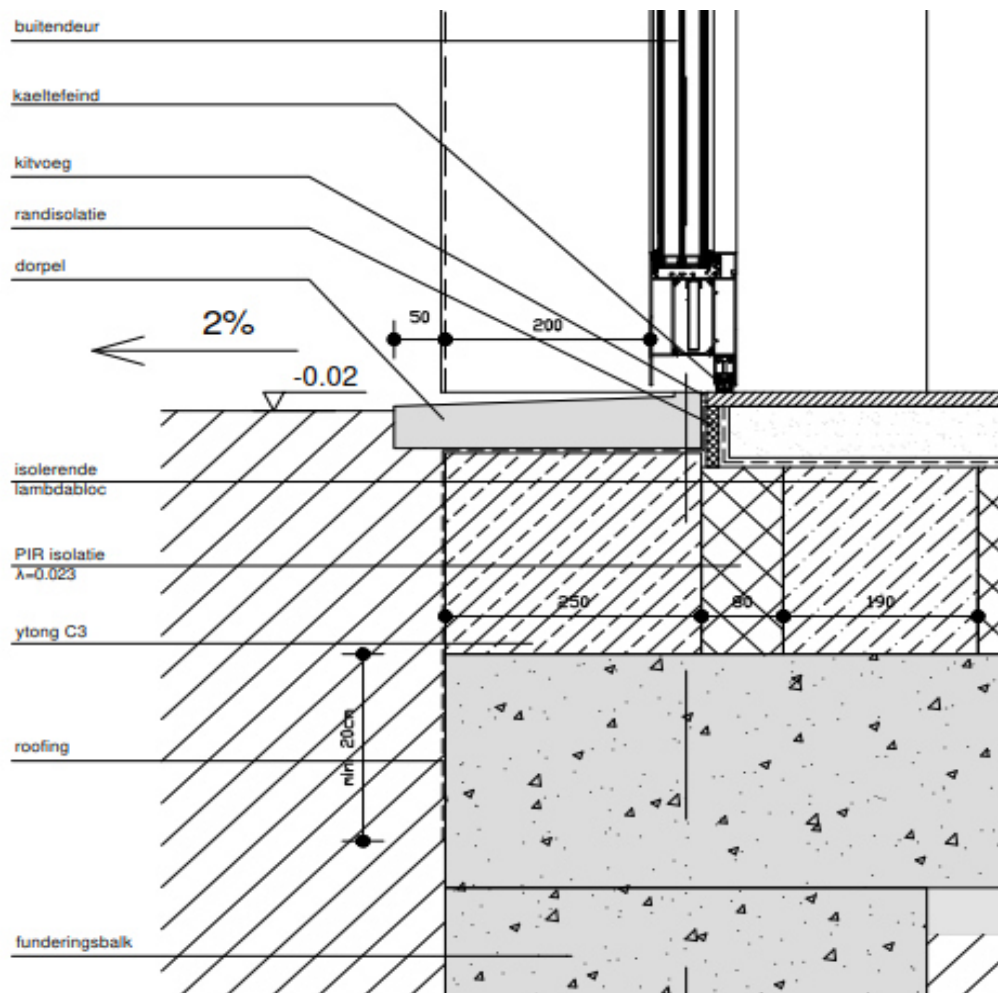
Toelichting:
 De thermische onderbreking staat in volledig contact met de isolatielaag van de wand. Hierdoor is basisregel 1 van toepassing en goed uitgevoerd.



Naam school:	KTA Zwijndrecht	
Plannummer:	13'	
Naam detail:	Aansluiting raam thv luifel	

Toetsing:	Basisregel 1	Basisregel 2	Basisregel 3	Grenswaarde
	Minimale contactlengte thermische onderdeel	Tussenvoeging isolerende delen	Weg van minste weerstand	Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
	X			0,10 W/m.K

Toelichting:
 Om de koudebrug tussen het profiel en de buitenlucht grotendeels te voorkomen is er een isolatiestrook toegevoegd. Het kozijn kan ook nog met de thermische onderbreking volledig tegen de isolatie van de wand aanzitten om aan basisregel 1 te voldoen.

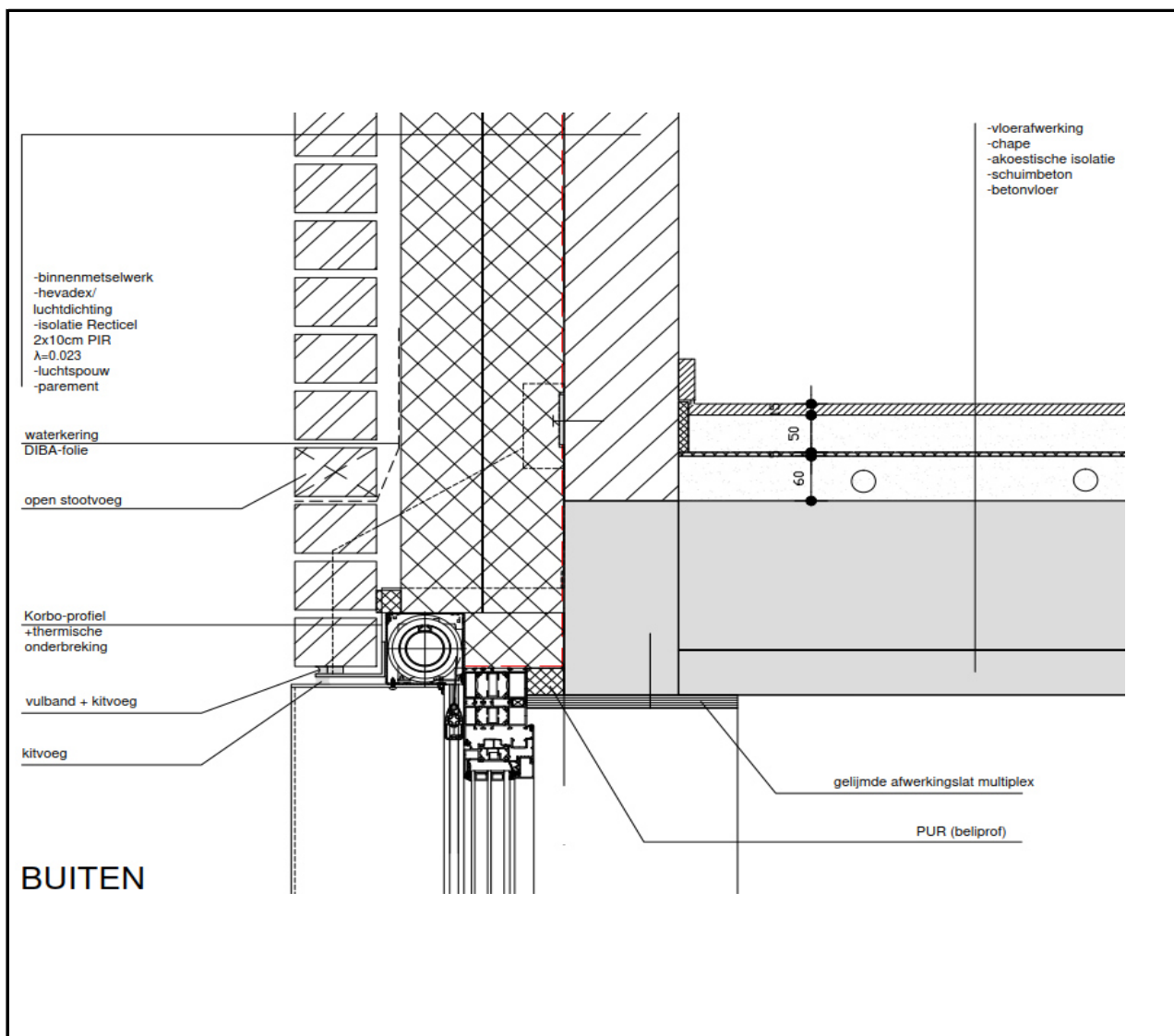


Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 16
 Naam detail: Aansluiting onderkant buitendeur



Toetsing: Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K
---	---	---	--

Toelichting:
 Achter de hardstenen dorpel is goed gebruikt gemaakt van randisolatie, hierdoor wordt de koudebrug wel verkleint maar niet volledig weggehaald. Doordat bij de deur de thermische onderbreking geen isolatie raakt wordt dit detail als niet EPB - aanvaard beschouwd.

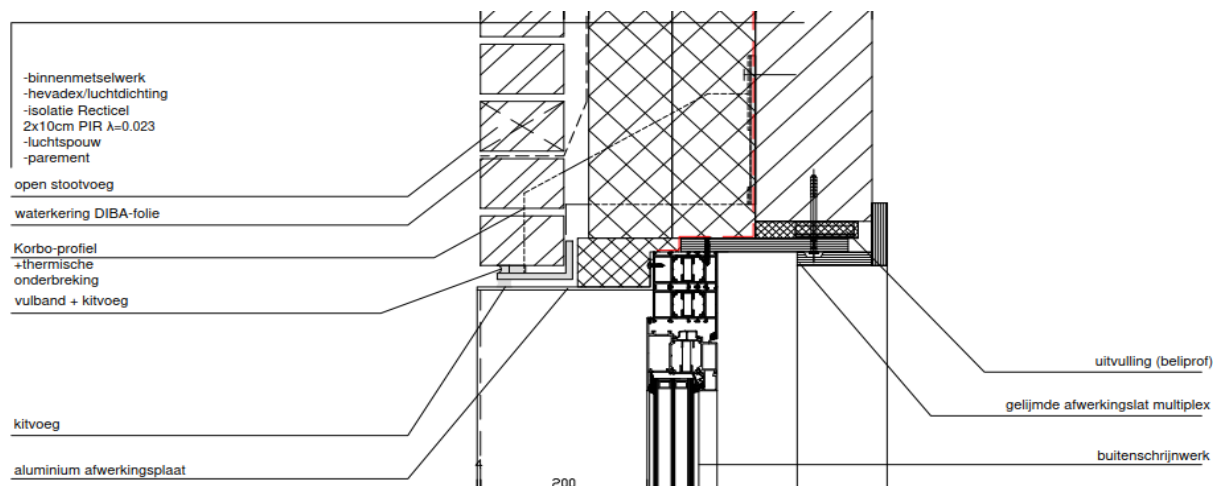


Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 18
 Naam detail: Aansluiting bovenkant raam gang GLV



Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 In dit detail is goed gebruik gemaakt van basisregel 1. Hierin is de thermische onderbreking van het kozijn volledig bedekt door de isolatie van de wand.



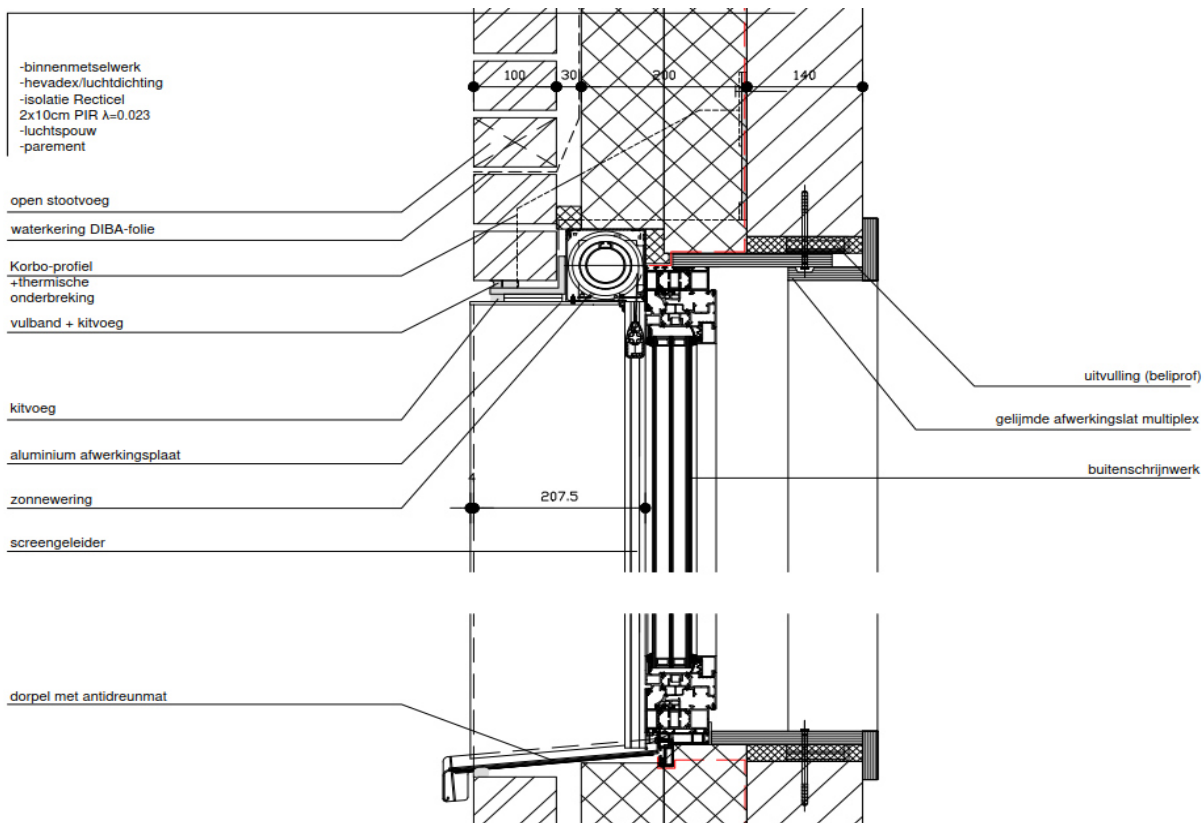
Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 20
 Naam detail: Aansluiting bovenkant thv buitendeur

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype Ψ_e lim.
X			0,10 W/m.K

Toelichting:

De thermische onderbreking van het kozijn staat niet in volledig contact met de isolatie van de wand. Hierdoor is het detail niet EPB - aanvaard.



Naam school: KTA Zwijndrecht
 Plannummer: 24
 Naam detail: Aansluiting bovenkant/ onderkant thv raam

STRABAG

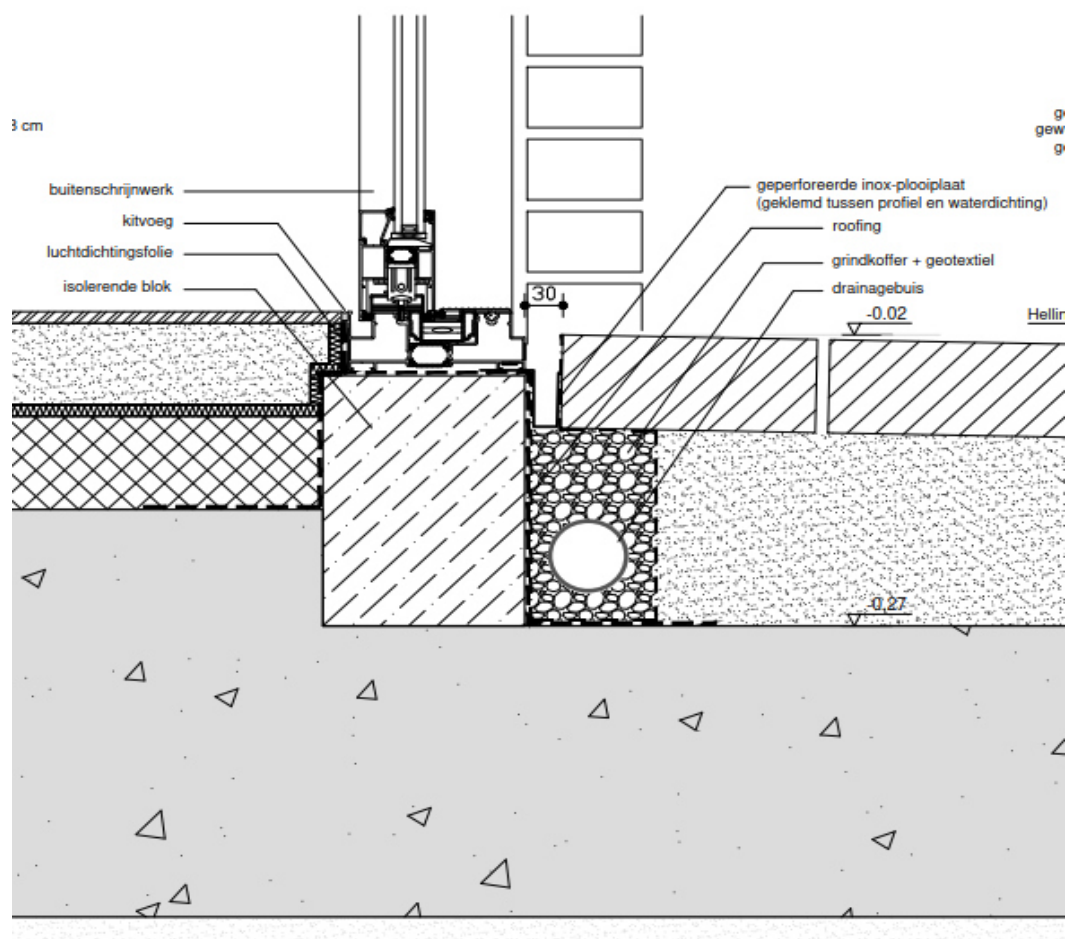
Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
X			0,10 W/m.K

Toelichting:

De thermische onderbreking zit niet in volledig contact met de isolatielaag van de wand. De multiplexplaat zorgt voor zowel in de boven- als onderdorpel voor een koudebrug.

Bijlage 07

Details: St. Jan

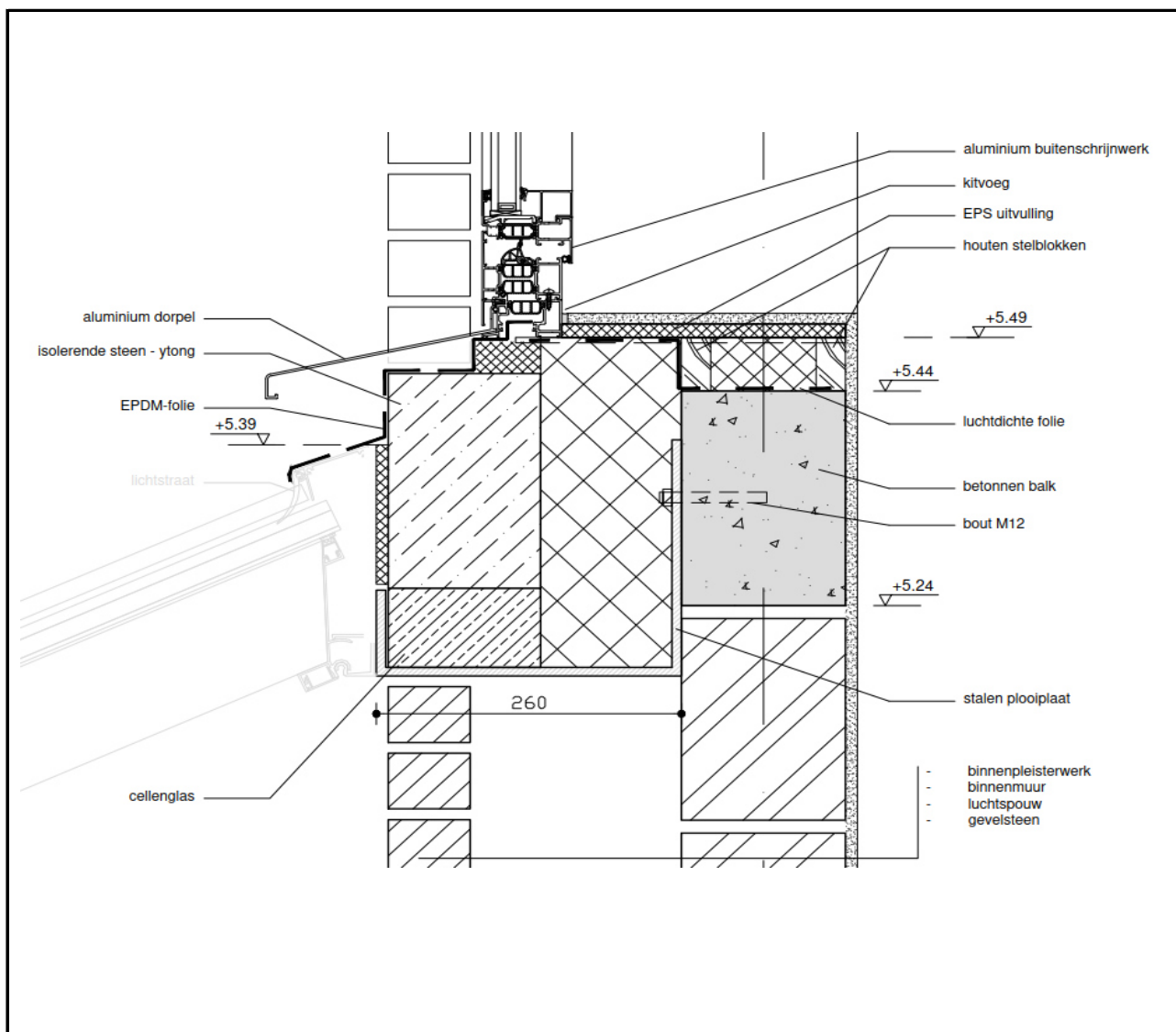


Naam school: St. Jan
 Plannummer: 1
 Naam detail: Funderingsaanzet thv schuifraam onder overdekte zone

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen X	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,05 W/m.K

Toelichting:
 Hier is goed gebruik gemaakt van basisregel 2. Door het isolerende blok toe te voegen onder het kozijn is de weg van de minste weerstand weggevalen en kan er geen koudebrug worden gevormd vanuit de fundering.

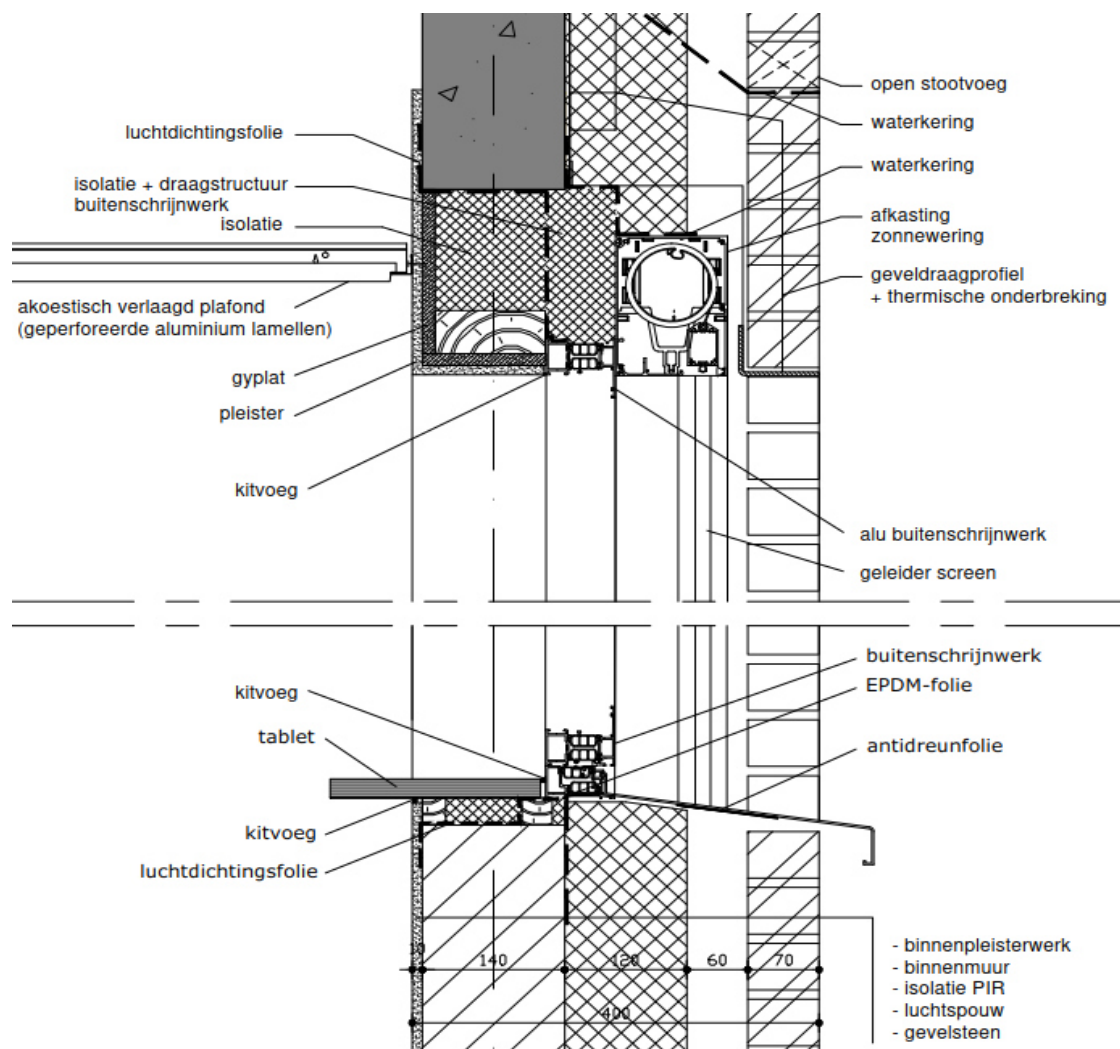


Naam school: St. Jan
 Plannummer: 2
 Naam detail: Aansluiting lichtstraat en plat dak

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen X	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Door het isolerende blok toe te voegen wordt basisregel 2 goed gehanteerd. Echter is er nog wel een koudebrug bij het kozijn van de lichtstraat. Als deze ook wordt geïsoleerd voldoet deze ook aan de basisregels.



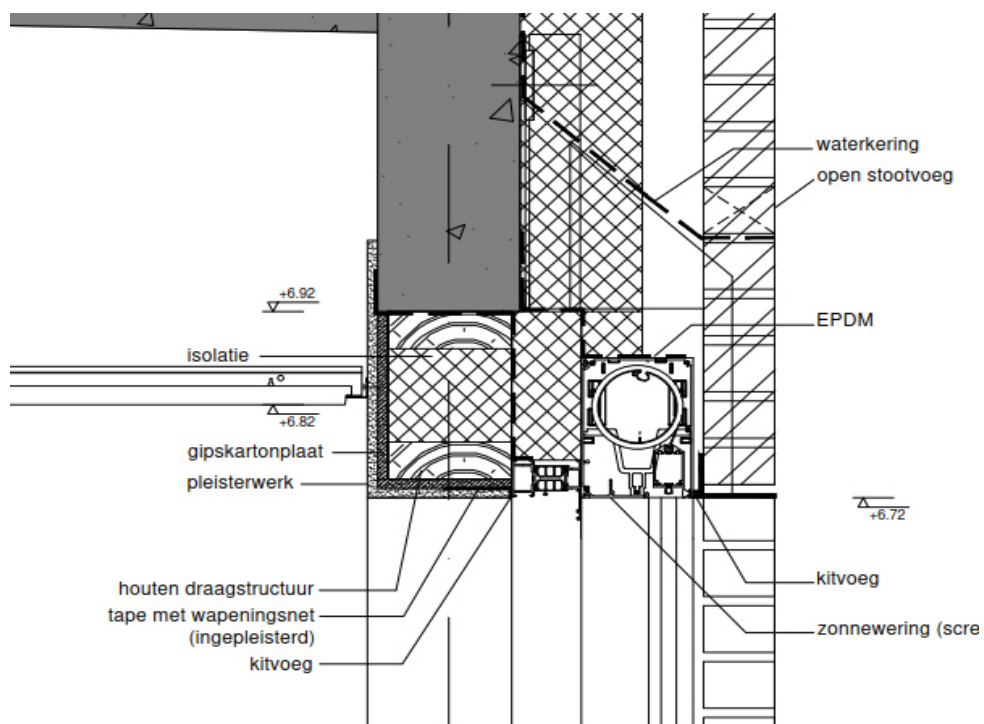
Naam school: St. Jan
 Plannummer: 3
 Naam detail: Aansluiting buitenschrijnwerk

STRABAG

Toetsing:	Basisregel 1	Basisregel 2	Basisregel 3	Grenswaarde
	Minimale contactlengte thermische onderdeel	Tussenvoeging isolerende delen	Weg van minste weerstand	Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
	X			0,10 W/m.K

Toelichting:

Basisregel 1 is hier bij de bovendorpel goed gehanteerd. De isolatielaag bedekt de volledige thermische onderbreking van het kozijn. Echter is dit bij de onderdorpel niet ver genoeg doorgetrokken waardoor er een koudebrug is ontstaan.

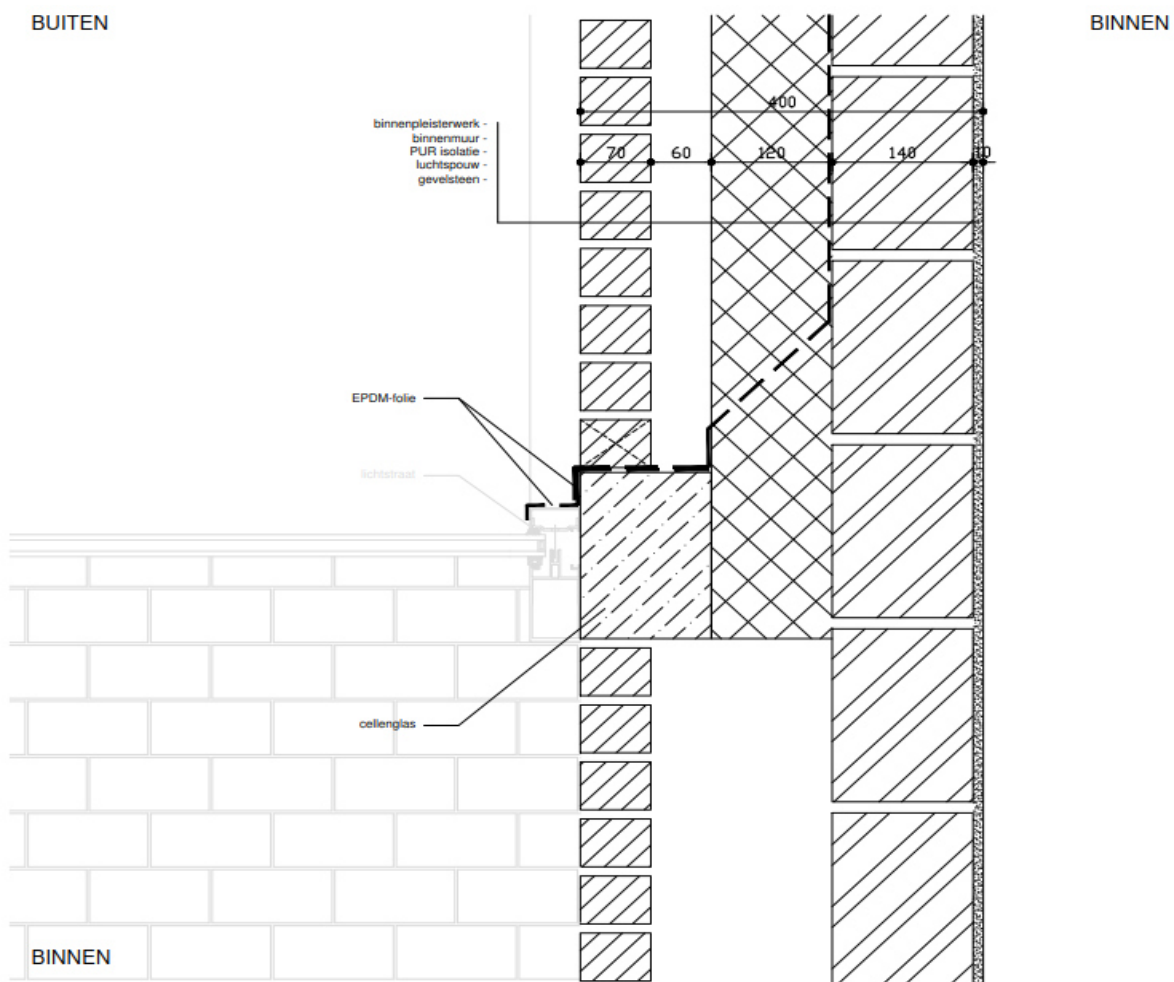


Naam school: St. Jan
 Plannummer: 5
 Naam detail: Aansluiting buitenschrijnwerk

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Basisregel 1 is hier bij de bovendorpel niet goed toegepast. De isolatielaag bedekt de volledige thermische onderbreking van het kozijn niet.



Naam school: St. Jan
 Plannummer: 9
 Naam detail: Aansluiting schuine zijde lichtstraat met
 naastliggende muur

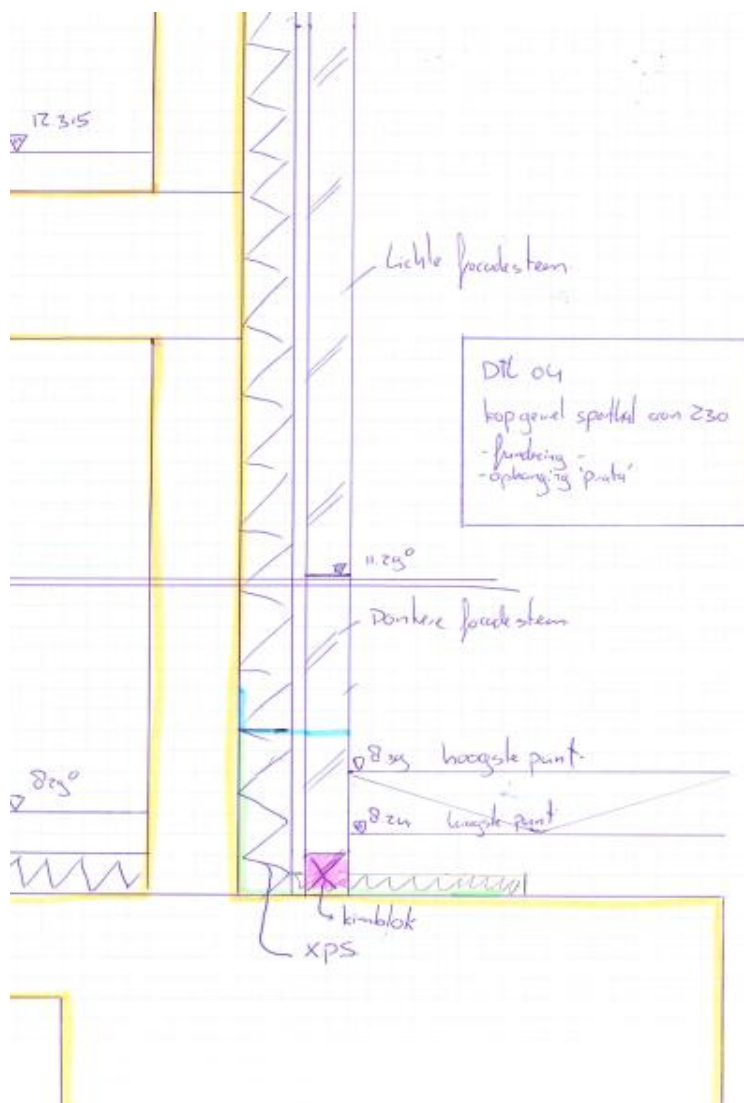
STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte thermische onderdeel	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$
X	X		0,10 W/m.K

Toelichting:
 Door het isolerende blok toe te voegen wordt basisregel 2 goed gehanteerd. Echter is er nog wel een koudebrug bij het kozijn van de lichtstraat. Als deze ook wordt geïsoleerd voldoet deze ook aan de basisregels.

Bijlage 08

Details: Ten Doorn, gebouw Z41

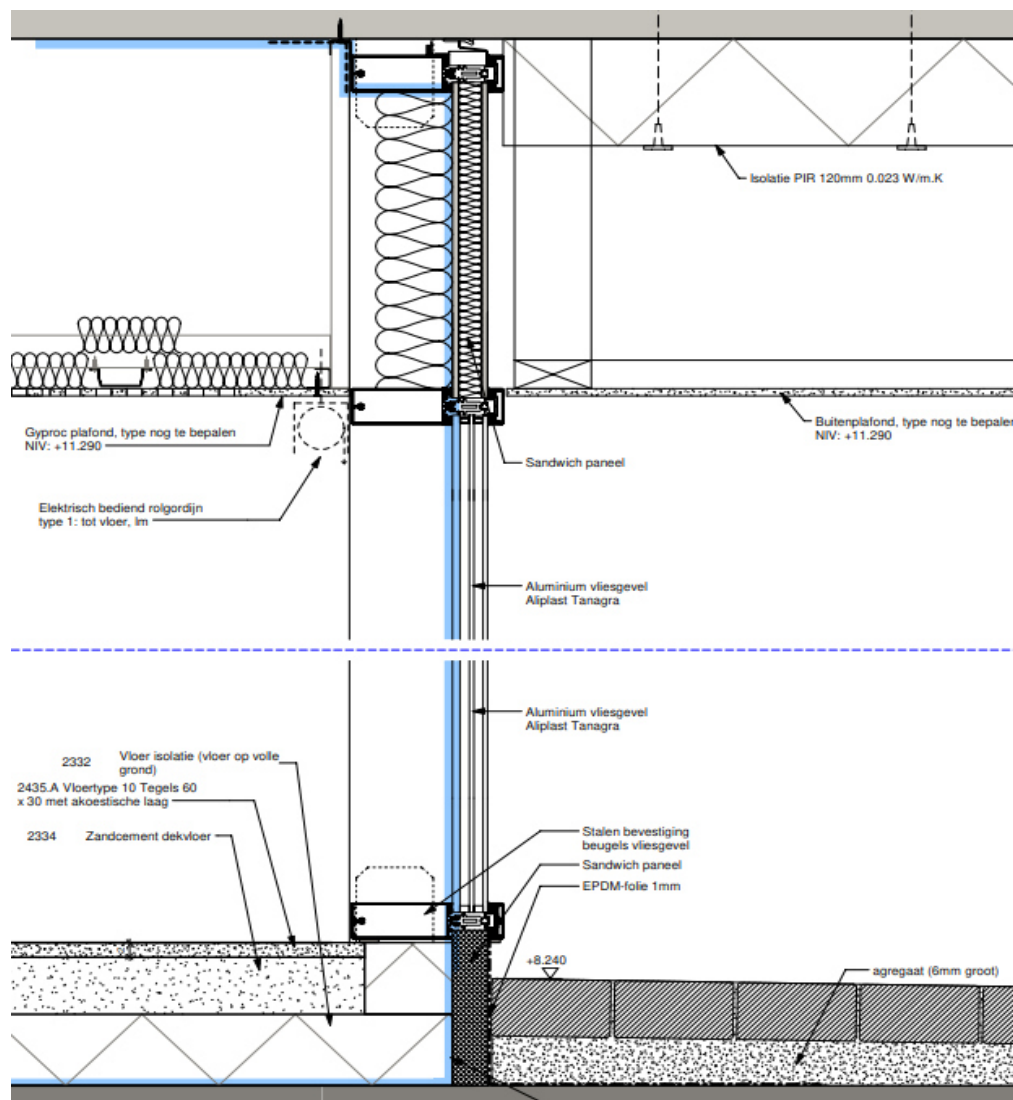


Naam school: Ten Doorn, gebouw Z41
 Plannummer: 04
 Naam detail: Fundering sporthal

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte isolatielagen	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand X	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,05 W/m.K

Toelichting:
 De weg van de minste weerstand is korter dan 1 meter. Dit houdt in dat dit detail niet voldoet aan basisregel 3. Dit is makkelijk aan te passen door de isolatielaag verder door te trekken naar beneden zodat de weg van de minste weerstand wordt verlengd. Dit zodat de weg langer dan 1 meter wordt en het detail EPB - aanvaard wordt door basisregel 3.

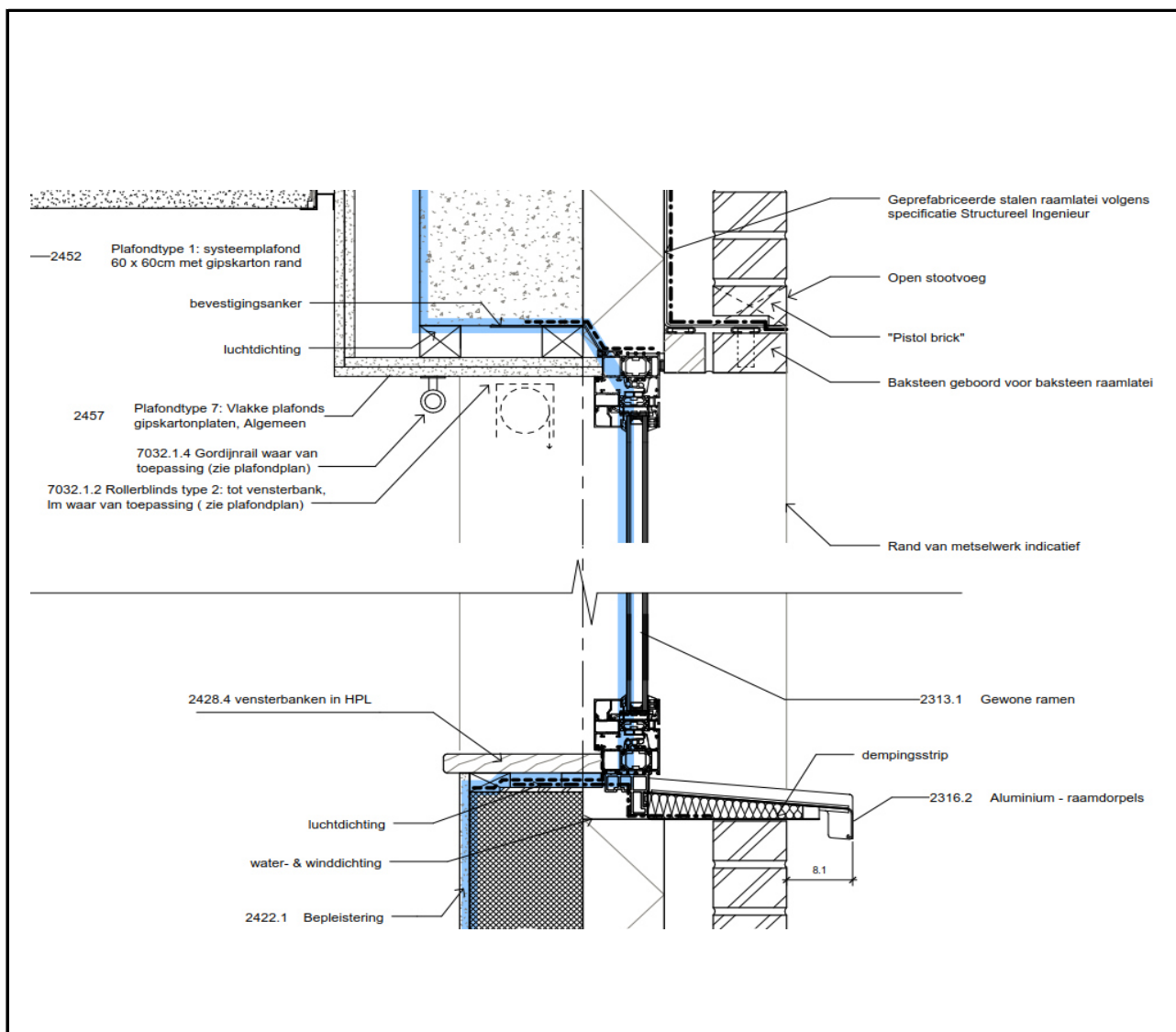


Naam school: Ten Doorn, gebouw Z41
 Plannummer: 5A
 Naam detail: Doorsnede vliesgevel

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte isolatielagen X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 Het kozijn loopt volledig over in het onderstaande sandwichpaneel. Mocht hier een koudebrug aanwezig zijn dan ligt dit aan het sandwichpaneel. Deze psiwaarde moet binnen de gestelde norm vallen.



Naam school: Ten Doorn, gebouw Z41
 Plannummer: 504-D-1020
 Naam detail: Raam in metselwerk

STRABAG

Toetsing:			
Basisregel 1 Minimale contactlengte isolatielagen X	Basisregel 2 Tussenvoeging isolerende delen	Basisregel 3 Weg van minste weerstand	Grenswaarde Bouwknooptype $\Psi_{e \text{ lim.}}$ 0,10 W/m.K

Toelichting:
 De isolatielaag van de wand loopt niet volledig door tot in het kozijn. Dit houdt in dat aan basisregel 1 niet wordt voldaan. Als dit aan zowel de onder- als bovendorpel wordt aangepast wordt dit detail EPB - aanvaard.

Bijlage 04

Deelrapport 3: Toepassing optimalisatie in praktijk

Scholen van morgen

Deelrapportage

toepassing optimalisatie in praktijk

Jordy Cleijman

21 mei 2019, Versie 5.0

Rapport geschreven voor de opleiding Bouwkunde

HZ University of Applied Sciences te Middelburg

STRABAG te Antwerpen





Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)

Scholen van morgen

Deelrapportage toepassing optimalisatie in praktijk



Middelburg, Hogeschool Zeeland University of Applied Sciences

21 mei 2019, Versie 5.0

'Bouwkundig Ingenieur'

Semester 2, leerjaar 4

Geschreven door:

Jordy Cleijman 00071059

Onder begeleiding van:

1^e Dhr. B. Vercooteren, Docent Bouwkunde

2^e Dhr. T. Altena, Docent Bouwkunde

Mevr. L. Kolijn-de Silva, Adviseur
Bouwfysica & Duurzaamheid

Begrippen- en afkortingenlijst

Bouwschil	- De bouwschil wordt gezien als de verzamelnaam voor de wand-, vloer- en dakopbouw. Dit is dus de scheiding tussen de verwarmde verblijfsruimte en de buitenlucht.
EPB – aanvaarde bouwknoten	- Dit zijn koudebruggen die voldoen aan minimaal één basisregel van EPB.
Luchtdichtheid	- Dit houdt in dat het gebouw zo gebouwd wordt dat er zo goed als geen lucht in of uit het gebouw kan. (Nederlandse encyclopedie, z.j.)
Niet EPB – aanvaarde bouwknoten	- Volledige koudebruggen die niet voldoen aan de basisregels van de EPB.
Thermische onderbreking	- Een thermische onderbreking zorgt ervoor dat de koudebrug niet volledig door kan lopen in de constructie. Mocht er een koudebrug lopen dan weerhoudt de thermische onderbreking de koude lucht om binnen te komen.
U – waarde	- De U-waarde geeft aan hoe een volledige scheidingsconstructie, zoals een wand of een dak, geïsoleerd is. Laat de wand veel warmte door, dan ligt de U-waarde hoog. Is de wand goed geïsoleerd, dan heeft die een lage U-waarde. (Het Vlaams Energieagentschap, z.j.)
λ - waarde	- De lambdawaarde is de warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal en wordt uitgedrukt in W/K. Hoe hoger de lambdawaarde is, hoe slechter het materiaal isoleert.

Inhoudsopgave

Begrippen- en afkortingenlijst.....	III
1. Inleiding	1
2. Hoe kan de optimalisatie van de energieprestatie in de praktijk worden gerealiseerd?	2
2.1 Optimalisatie Bouwknopen	2
2.2 Optimalisatie U – Waarden	4
2.3 Optimalisatie Luchtdichting.....	11
3. EPB-vergelijking	12
4. Deelconclusie.....	16
Bibliografie	17
Figuren- en tabellenlijst.....	18
Figuren.....	18
Tabellen	18
Bijlagen	19

1. Inleiding

In de recent opgeleverde schoolgebouwen, gerealiseerd door STRABAG, is gebleken dat er verbetermogelijkheden liggen op het gebied van het optimaliseren van de bouwschil. Met de bouwschil wordt onder andere de bouwkundige constructies van de schoolgebouwen bedoeld zoals de wand-, vloer- en dakopbouw, maar ook de eventuele koudebruggen. Om te bepalen wat er geoptimaliseerd kan worden, is er in *Deelonderzoek 1* een analyse gemaakt van de reeds opgeleverde schoolgebouwen. Daaropvolgend is er in *Deelonderzoek 2*, een diepere analyse gemaakt op de uitgekozen scholen. Deze scholen zijn in dit rapport gefilterd tot detailtypes.

Aan de hand van de details uit het vorige deelonderzoek is gebleken dat veel bouwknopen bij de venster- en deuraansluitingen zitten en bij de funderingsaanzetten. In dit laatste deelonderzoek voor het optimaliseren van de bouwschil komen de meest voorkomende details aan bod. Deze worden op diverse manieren geoptimaliseerd en daarna getoetst aan de hand van de EPB-eisen. Hieruit blijkt dan of de optimalisatie het juiste effect heeft op de EPB-waarde zoals aan het begin van het onderzoek is vooropgesteld.

2. Hoe kan de optimalisatie van de energieprestatie in de praktijk worden gerealiseerd?

De optimalisatie van de bouwschil kan op verschillende manieren. Zoals in de vorige deelrapportages al beschreven staat heeft dit voornamelijk te maken met de bouwknopen. Ook kan de bouwschil verbeterd worden aan de hand van de lagere U-waarden van de toegepaste materialen, maar ook door de luchtdichtheid van het gebouw. In het vorige deelonderzoek staan de ambities van de diverse waarden beschreven. Door de details EPB – aanvaard te maken en de ambities uit *Deelonderzoek 2* toe te passen, wordt de bouwschil geoptimaliseerd. In dit deelonderzoek worden deze elementen samengevoegd en in een EPB – verslag verwerkt om zo de vergelijking te maken tussen de ‘oude’ en de ‘nieuwe’ berekening.

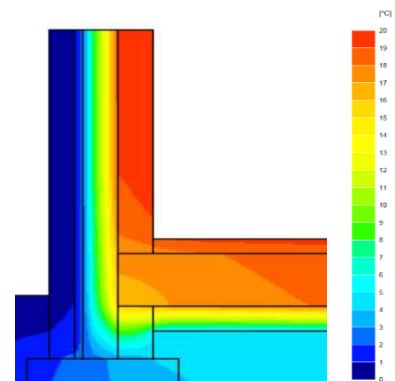
2.1 Optimalisatie Bouwknopen

Voor het optimaliseren van de bouwknopen is er gekeken naar de digitale details die beschikbaar waren van de zeven onderzochte schoolgebouwen. De details worden getoetst aan de hand van de basisregels zoals in *Deelrapport 2* is omschreven. Aan de hand van die eerder gegeven toelichting zijn de details aangepast en in het programma Trisco geladen om zo de warmtestroom binnen het detail te zien. Deze warmtestroom in de geoptimaliseerde details zijn weergegeven in een aparte *Bijlage 02*. Een korte toelichting per onderdeel met een voorbeeld staan hieronder omschreven.

Funderingsaanzetten

Om de bouwknop funderingsaanzetten te optimaliseren, kan er gebruik worden gemaakt van twee verschillende basisregels. Allereerst kan ervoor gekozen worden om de weg van de minste weerstand toe te passen. Dit houdt in dat de koude lucht een minimale afstand van 1 meter mag overbruggen alvorens het de binnenzijde van het gebouw betreedt.

Daarnaast kan er gekozen worden voor een thermische onderbreking in de bouwschil. Op deze manier wordt de thermische snede niet onderbroken. Het toevoegen van een isolerend deel kan zowel boven als onder de vloer worden toegepast. Doordat dit gedeelte ook een dragende functie zal hebben, wordt er gekozen voor een isolerend constructief blok. Dit onderdeel zal een minder goede lambdawaarden hebben dan de overige isolerende delen, maar meer dan een dragende constructie.

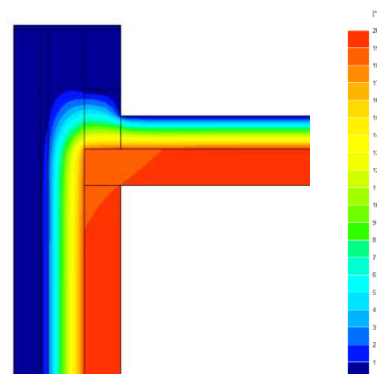


Figuur 2 Voorbeeld warmtestroom in funderingsaanzet (eigen figuur)

Hoe de warmtestroom loopt bij een thermische onderbreking als deze onder de vloer geplaatst is, is te zien in *Figuur 2*. Het verschil in temperatuur van buiten naar binnen is vanaf 0 graden Celsius tot en met 20 graden Celsius. Hierin is af te lezen dat er geen koudebrug is in de constructie. Tevens is het detail EPB – aanvaard door de thermische onderbreking. In *Bijlage 02* is ook te zien dat de berekende Psi – waarde van de constructie voldoet aan de Psi max.

Dakaansluitingen

Om de bouwknop dakaansluitingen te optimaliseren, kan er eigenlijk gebruik worden gemaakt van maar één basisregel. Dit is het toevoegen van een thermische onderbreking. Doordat bij bijna alle scholen gebruik is gemaakt van een plat dak, wordt ook bij het optimaliseren van de bouwkundige details een plat dak gesimuleerd. Het platte dak kan op diverse manieren worden gerealiseerd, zo kan dit met een betonnen of stalen vloer. Tevens kan de thermische onderbreking ook nog verschillen in materiaal. Er kan net als bij de fundering een isolerende steen worden gekozen, maar er kan ook een houtskeletbouw (HSB) element worden geplaatst.

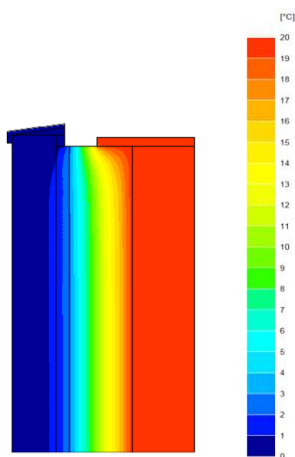


Figuur 3 Voorbeeld warmtestroom in dakaansluiting (eigen figuur)

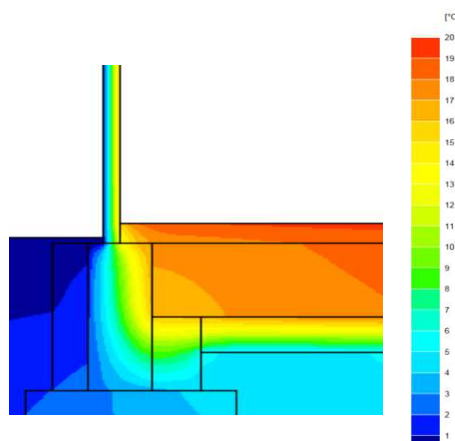
In *Figuur 3* is de warmtestroom te zien bij een geoptimaliseerd dakranddetail met een betonvloer en het gebruik van een isoleren constructief deel. Het verschil in temperatuur van buiten naar binnen is vanaf 0 graden Celsius tot en met 20 graden Celsius. Hierin is af te lezen dat er geen koudebrug is in de constructie. Tevens is het detail EPB – aanvaard door de thermische onderbreking. In *Bijlage 02* is ook te zien dat de berekende Psi – waarde van de constructie voldoet aan de Psi max.

Venster- en deuraansluitingen

Om de bouwknopen venster- en deuraansluitingen te optimaliseren, kan alleen basisregel één worden toegepast. Dit komt doordat deze basisregel speciaal is afgestemd op venster- en deuraansluitingen. Bij vensters kunnen er drie mogelijke details ontstaan, zo zijn er de boven-, onder- en zijaansluitingen op de bouwschil. Dit geldt ook voor een deuraansluiting, alleen is hier de onderdorpel gecompliceerder omdat een dorpel van een deur vaak beloopbaar moet zijn. Voor al deze details geldt de regel dat de thermische onderbreking van het kozijn volledig in contact moet staan met de isolatieschil van de gevel. Door bij sommige details een ander kozijntype te kiezen, kan dit al snel worden gerealiseerd. Voor de vensters en de deuren is hier een voorbeeld gegenereerd, deze zijn te zien in *Figuur 4* en *Figuur 5*.



Figuur 4 Voorbeeld warmtestroom in vensteraansluiting (eigen figuur)



Figuur 5 Voorbeeld warmtestroom in deuraansluiting (eigen figuur)

Het verschil in temperatuur van buiten naar binnen is vanaf 0 graden Celsius tot en met 20 graden Celsius. Hierin is te zien dat de kozijnen niet zijn meegenomen in de berekening. Dit is gedaan omdat de kozijnen geen koudebrug opleveren. Om het detail EPB – aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de wand. In *Bijlage 02* is ook te zien dat de berekende Psi – waarde van de constructie voldoet aan de Psi max.

2.2 Optimalisatie U – Waarden

De U-waarden kunnen op verschillende manieren worden geoptimaliseerd zoals in de tweede deelrapportage is omschreven. Zo kan er geoptimaliseerd worden op de volgende punten:

- Wanden
- Vloeren
- Daken
- Glas

Deze verschillende punten worden in dit hoofdstuk verder toegelicht voor de mogelijke optimalisaties. Het optimaliseren van de U-waarden gebeurt door de materialen te verbeteren die worden toegepast. De beste manier om de U-waarden te optimaliseren is het verbeteren van de isolatie die wordt toegepast. Hierin zijn ook nog verschillende soorten isolatie zoals: glaswol, steenwol, PUR, PIR, EPS en XPS. Deze diverse isolatiesoorten zijn hieronder kort toegelicht en in een vergelijkingstabel gezet om zo een goed overzicht te krijgen per soort isolatie, deze vergelijkingstabel staat in *Bijlage 03*.

Glaswol

Glaswolisolatie (te zien in *Figuur 6*) bestaat uit gerecycleerde glasscherven en uit zuiver zand. Deze isolatiesoort is verkrijgbaar in zowel dekens als in platen. Doordat glaswol een zachte structuur heeft, is het ideaal om oneffenheden weg te werken.

Dit type isolatie kan gebruikt worden voor de isolatie van een dak, vloer of muren. Glaswol wordt gebruikt voor zowel thermische als akoestische isolatie. Een nadeel is wel dat als glaswol in contact komt met vocht het snel in isolatiewaarde daalt. Overige voor- en nadelen zijn beschreven in *Tabel 1*.



Figuur 6 Glaswol (Isolatieplaten, z.j.)

Tabel 1 Voor- en nadelen glaswol (Isolatieplaten, z.j.)

Voordelen +	Nadelen -
- Makkelijk te plaatsen - Brandveilig, klasse A2, S1, d0 - Goedkoop - Recycleerbare isolatie	- Het verwerken gaat niet makkelijk, hierbij komen vezels vrij die kunnen zorgen voor irritatie aan ogen, huid en luchtwegen

Steenwol

Steenwol (te zien in *Figuur 7*) is afkomstig van vulkanisch gesteente, dit wordt gesmolten en later tot een wolpakket gesponnen. Naast gesteente zitten er ook harsen en oliën in, dit om de platen ook waterafstotend te maken.

Ook dit type isolatie kan gebruikt worden voor zowel het dak als de vloer en de muren. Steenwol heeft niet alleen invloed op thermisch gebied, maar ook grote voordelen op gebied van brandwering en geluidsisolatie. Doordat dit product een mineraal product is, is de isolatie volledig rot- en schimmelvrij. Overige voor- en nadelen zijn beschreven in *Tabel 2*.



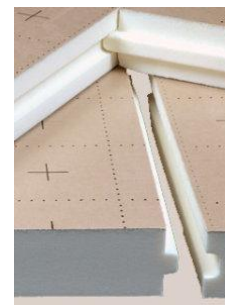
Figuur 7 Steenwol (Isolatieplaten, z.j.)

Tabel 2 Voor- en nadelen steenwol (Isolatieplaten, z.j.)

Voordelen +	Nadelen -
- Dampopen materiaal - Isolatiewaarde blijft behouden - Geluids- en brandwerend - Beter te verwerken dan glaswol	- Hogere aankoop prijs dan glaswol

PUR

PUR-isolatieplaten (te zien in *Figuur 8*) zijn gemaakt van polyurethaan. Deze vorm van isolatie is niet alleen in platen verkrijgbaar, maar ook het bekende PUR-schuim. De isolatieplaten zijn opgebouwd uit synthetische materialen, ook kunststof genoemd. De PUR-platen hebben een tand- en groefstelsel. Door dit stelsel is het niet alleen makkelijk om de platen op en tegen elkaar te plaatsen, maar dit stelsel voorkomt ook kiering tussen de isolatieplaten. Op deze manier is er een betere verbinding tussen de platen en is er minder warmteverlies. De PUR-isolatieplaten zijn net als de glas- en steenwol te bevestigen op de daken, de vloeren en de wanden. De voor- en nadelen zijn beschreven in *Tabel 3*.



Figuur 8 PUR-platen (Isolatieplaten, z.j.)

Tabel 3 Voor- en nadelen PUR (Isolatieplaten, z.j.)

Voordelen +	Nadelen -
- Grote platen - Voorzien van een dampscherm - Makkelijk bewerkbaar	- Harde platen, dus weinig bewegingsruimte bij een ruwe muur - De oppervlakte waarop geïsoleerd wordt, moet droog en stofvrij zijn - De ruimte moet wind- en waterdicht zijn

PIR

PIR-isolatieplaten (te zien in *Figuur 9*) zijn harde schuimstof platen die veel op PUR-platen lijken. Het grootste verschil is dat PIR-platen brand technisch veiliger zijn doordat er bij deze platen minder schadelijke rook vrijkomt. De PIR-platen worden voor zowel het isoleren van het dak, de vloeren en de wanden gebruikt. Doordat de isolatiewaarde van dit materiaal erg goed is, kunnen de platen met een relatief dunne dikte een hoge isolatiewaarde creëren. Overige voor- en nadelen zijn beschreven in *Tabel 4*.



Figuur 9 PIR-platen (Isolatieplaten, z.j.)

Tabel 4 Voor- en nadelen PIR (Isolatieplaten, z.j.)

Voordelen +	Nadelen -
- PIR neemt geen vocht op - De meeste platen zijn inclusief dampscherm - Makkelijk te verwerken - Hoge isolatiewaarde - Goede brandvertragende eigenschappen	- De productie is niet milieubewust - PIR is lastig te recyclen

EPS

EPS-isolatieplaten (te zien in *Figuur 10*) staan voor geëxpandeerd polystyreen isolatieplaten. Doorheen het proces van EPS ontstaan er vele luchtbelletjes. Door deze luchtbelletjes, bevatten deze platen veel stilstaande lucht waardoor het materiaal erg licht is en zeer goed isoleert. Deze isolatieplaten kunnen toegepast worden voor zowel het dak als de vloeren en de wanden. De platen kunnen zowel vlak als in een tand- en groefvariant worden geproduceerd. Door de tand- en groefverbinding toe te passen worden de naden goed afgewerkt tegen koudebruggen. Overige voor- en nadelen zijn beschreven in *Tabel 5*.



Figuur 10 EPS platen (Isolatieplaten, z.j.)

Tabel 5 Voor- en nadelen EPS (Isolatieplaten, z.j.)

Voordelen +	Nadelen -
- Goedkoop - Kan goed tegen vocht - Goed te verwerken - Brandveilig - Rot- en schimmelvrij - Drukvast	- Doordat het basismateriaal van de EPS-platen kunststof is, is dit materiaal niet het meest milieuvriendelijk - Het materiaal is erg vormvast. Kan niet makkelijk in elkaar worden gevouwen als een wol

XPS

XPS-isolatieplaten (te zien in *Figuur 11*) wordt ook wel polystyreen hardschuim genoemd. XPS is een kunststof isolatiemateriaal met een tand- en groefverbinding. De XPS-platen worden voor veel isolatie mogelijkheden toegepast zoals kelders, wanden, daken en vloeren. Doordat de platen uit een gesloten cellenstructuur bestaan, zijn er veel voordelen aan dit materiaal zoals te zien is in *Tabel 6*.



Figuur 11 XPS platen (Isolatieplaten, z.j.)

Tabel 6 Voor- en nadelen XPS (Isolatieplaten, z.j.)

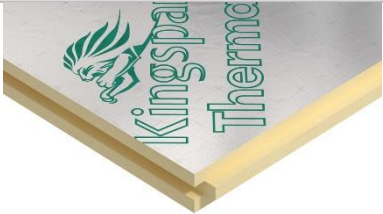
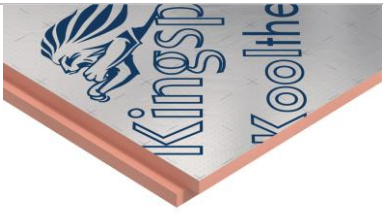
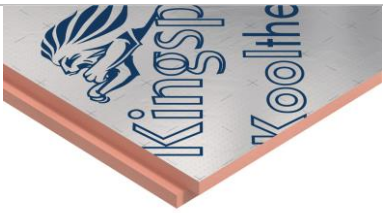
Voordelen +	Nadelen -
- Hoge isolatiewaarde - Goed vochtbestendig - Schimmelvrij - Goed te verwerken - Drukvast - Hoge dampdoorlatendheid	- Brandbaar - Duur materiaal

Wanden

Uit het vorige onderzoek is gebleken dat de wanden nu een gemiddelde U-waarde hebben van 0,23 W/m². K. Het ambitieniveau is vastgelegd op 0,20 W/m². K. Zoals in het bovenstaande subhoofdstuk al te zien is, is dat er veel verschillende opbouw mogelijkheden zijn voor de wanden. De diversiteit zit hem dan voornamelijk in de afwerking van de wand en in het gebruik van isolatiemateriaal. Binnen dit subhoofdstuk zullen er materialen naar voor worden gehaald die de ambitie van STRABAG behalen.

De diverse isolatiematerialen zijn in *Bijlage 03* toegelicht. Uit deze isolatiematerialen is een selectie gemaakt voor de wanden. Hierbij is gekeken naar de lambdawaarden van de verschillende types isolatie, dit zodat de ambitiewaarden goed te behalen vallen. De drie uitgekozen isolatietypes staan hieronder in *Tabel 7* weergegeven.

Tabel 7 Types wandisolatie (eigen tabel)

Type	Fabrikant	Afbeelding	Lambdawaarden [W/mK]	Richtprijs per m ²
Therma TW50	Kingspan		0,022	€ 60,00
Kooltherm K8	Kingspan		0,020	€ 41,00
Kooltherm K108	Kingspan		0,018	€ 42,00

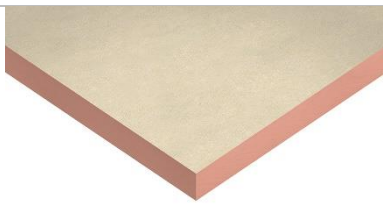
Zoals te zien is in de bovenstaande tabel is er drie keer gekozen voor een isolatieplaat van Kingspan. Dit doordat deze PIR-isolatie een hoogwaardig product is waarmee je met een relatief dunne isolatieplaat een hoge isolatiewaarde kan behalen. Door deze techniek te gebruiken zorgt het er wel voor dat de isolatieplaten een stuk duurder zijn, maar dit scheelt weer in het ontwerp van het gebouw qua ruimte.

Vloeren

Uit het vorige onderzoek is gebleken dat de vloeren nu een gemiddelde U-waarde hebben van 0,20 W/m². K. Het ambitieniveau is vastgelegd op 0,18 W/m². K. De diversiteit van de vloeren zit hem voornamelijk in het isolatiemateriaal wat is toegepast. Binnen dit subhoofdstuk zullen er materialen naar voor worden gehaald die de ambitie van STRABAG behalen.

De diverse isolatiematerialen zijn in *Bijlage 03* toegelicht. Uit deze isolatiematerialen is een selectie gemaakt voor de vloeren. Hierbij is gekeken naar de lambdawaarden van de verschillende types isolatie, dit zodat de ambitiewaarden goed te behalen vallen. De drie uitgekozen isolatietypes staan hieronder in *Tabel 8* weergegeven.

Tabel 8 Types vloerisolatie (eigen tabel)

Type	Fabrikant	Afbeelding	Lambdawaarden [W/mK]	Richtprijs per m ²
Therma TF70	Kingspan		0,022	€ 52,00
Kooltherm K3	Kingspan		0,020	€ 41,00
Solidek HL	Kingspan		0,029	€ 18,00

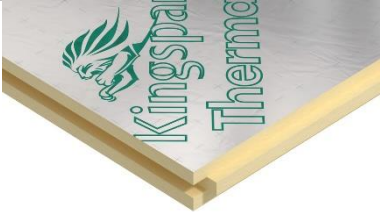
Ook bij de vloeren is te zien dat alle isolatiematerialen van de fabrikant Kingspan zijn, echter zijn hier niet alle isolatiematerialen van PIR. Er zijn twee types van PIR en één van EPS. Het verschil tussen deze twee varianten is duidelijk te zien in de lambdawaarden en in de richtprijs die is aangegeven. Doordat de lambdawaarde van het EPS-materiaal beduidend hoger ligt dan de andere materialen is de EPS-isolatie ook vele malen goedkoper. Om bij deze producten de ambitiewaarde te behalen zal van de EPS-platen meer materiaal benodigd zijn dan van de overige producten.

Daken

Uit het vorige onderzoek is gebleken dat de daken nu een gemiddelde U-waarde hebben van $0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Het ambitieniveau is vastgelegd op $0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. De diversiteit van de daken begint al met de vraag of het een plat of hellend dak is. Daarnaast zit er ook hier weer verschil in het isolatiemateriaal dat is toegepast. Binnen dit subhoofdstuk zullen er materialen naar voor worden gehaald die de ambitie van STRABAG behalen.

De diverse isolatiematerialen zijn in *Bijlage 03* toegelicht. Uit deze isolatiematerialen is een selectie gemaakt voor de daken. Hierbij is gekeken naar de lambdawaarden van de verschillende types isolatie, dit zodat de ambitiewaarden goed te behalen vallen. De drie uitgekozen isolatietypes staan hieronder in *Tabel 9* weergegeven.

Tabel 9 Types dakisolatie (eigen tabel)

Type	Fabrikant	Afbeelding	Lambdawaarden [W/mK]	Richtprijs per m ²
TP 138	Knauf		0,032	€ 17,00
Therma Hellend dak	Kingspan		0,022	€ 55,00
Therma Plat dak	Kingspan		0,025	€ 62,00

Zoals in de bovenstaande tabel te zien is, is hier gebruik gemaakt van twee fabrikanten. Zo is er voor de PIR-isolatiematerialen de fabrikant Kingspan en voor de glaswolisolatie, de fabrikant Knauf. Net als bij de vloeren is ook bij de daken een groot verschil te zien in de lambdawaarden en de richtprijzen. Tevens is hier een onderscheid gemaakt in platte en hellende daken. Binnen de categorieën platte en hellende daken zijn er meer verschillende soorten alleen de lambdawaarden komen overeen met elkaar. (KINGSPAN, z.j.) (Knauf, z.j.)

Glas

Uit het vorige onderzoek is gebleken dat het glas nu een gemiddelde U-waarde heeft van $1,03 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Het ambitieniveau is vastgelegd op $\pm 1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Deze ambitie waarde staat gelijk aan het best presterende HR++ glas.

HR glas wordt ook wel hoog rendementsglas genoemd, de plusjes achter HR staan voor het isolatievermogen van het glas. Hoe meer plusjes hoe beter het glas isoleert. Het gebruik van dubbelglas houdt in dat er verschillende lagen glas aan elkaar worden gemaakt en tussen deze twee lagen wordt een speciaal edelgas gespoten, dit is om de isolatiewaarde zo hoog mogelijk te maken en de U-waarden zo laag mogelijk te houden.

(Te zien op Figuur 12) (HR glas, z.j.)



Figuur 12 HR++ glas (HR glas, z.j.)

Het HR++ glas is het beste dubbelglas dat verkrijgbaar is, na dit type wordt er een overgang gemaakt naar het triple glas dat ook een stuk duurder is. De U-waarden van het HR++ glas liggen tussen de $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ en de $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Deze twee waarden zijn beide onbehandeld dus op het glas kan er ook nog een speciale coating worden aangebracht om de U-waarden nog beter te laten uitkomen. Maar tot nu toe is de U-waarde al behaald door het HR++ glas toe te passen. (Joost de Vree, z.j.)

2.3 Optimalisatie Luchtdichting

Als luchtdichtheid van een gebouw is een ambitiewaarde van $V_{50} = < 2,0 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ vooropgesteld. De gemiddelde V_{50} waarden van de geanalyseerde scholen ligt op $4,03 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. Om ervoor te zorgen dat de gebouwen deze ambitiewaarde behalen zijn er verschillende mogelijkheden, deze worden in dit subhoofdstuk toegelicht.

Algemeen

Een luchtdichte constructie zorgt ervoor dat warme lucht binnen en de koude lucht buiten blijft. Door ongewenste luchtstromen tegen te gaan, verhoogt het wooncomfort en de energie-efficiëntie waardoor de verwarmingskosten dalen. Luchtdichtheid gaat ook het verval van het gebouw tegen. Door luchtdicht te bouwen, worden er ook veel punten gescoord op vlak van het E-peil. De luchtdichtheid van een gebouw hangt vaak ook samen met de manier van ventileren van een gebouw om zo schade wegens vocht te voorkomen.

De meting van de luchtdichtheid van een gebouw gebeurt aan de hand van een 'blower-doortest'. Dit houdt in dat alle ramen, buitendeuren en andere wanddoorbrekingen van een gebouw gesloten worden. Daarna wordt er aan de hand van een ventilator een drukverschil van 50 Pascal (Pa) tussen de binnen- en buitenkant van het gebouw gecreëerd, zo'n ventilator is te zien in *Figuur 13*. Om daarna de waarde van de luchtdichtheid van het gebouw te meten, wordt er nagegaan hoe het drukverschil op peil gehouden kan worden.



Figuur 13 Ventilator blower-doortest (Isover, z.j.)

Binnen het luchtdicht bouwen zijn er verschillende mogelijkheden. In *Bijlage 04* staan een aantal voorbeelden met diverse leveranciers, uit onder andere het Vario-systeem, hoe en op welke manier een gebouw luchtdicht gemaakt kan worden. Er wordt veel gebruik gemaakt van folies en verschillende tapes of soorten kit. (Isover, z.j.) (Blowerproof, z.j.) (Soudal, z.j.)

Om ervoor te zorgen dat het gebouw de ambitiewaarde voor luchtdichting bereikt, moet ervoor gezorgd worden dat alle afdichtingen goed aangebracht worden met de juiste folies en de bijbehorende tape. Als hiervoor gezorgd wordt, kan de score op de EPB flink verbeteren.

3. EPB-vergelijking

Om te bepalen of er inderdaad een optimalisatie is bekomen door de verschillende veranderingen van materialen en manier van bouwen, wordt er teruggegrepen naar de EPB-files. Van drie scholen die reeds onderzocht zijn, zijn de EPB-eindverklaringen ingevuld met de werkelijke situatie van de nieuwbouw. Om een goede vergelijking te maken, worden de bouwschil onderdelen per onderdeel toegevoegd om te bekijken op welk vlak de meeste winst te behalen valt. Zo wordt de bestaande situatie eerst vergeleken met de oplossing van de bouwknopen (te zien in *Figuur 14*), daarna met de optimalisatie van de U-waarden (te zien in *Figuur 15*) en tot slot met de optimalisatie van de luchtdichting (te zien in *Figuur 16*). Hieronder staan de drie gegeven scholen met de eindverklaring en de veranderde waarden aan de hand van de optimalisaties. Eerst staan de waarden van de optimalisatie apart vermeld zodat duidelijk te zien is op welk vlak de bouwschil het meest is verbeterd, daarna is een duidelijk eindresultaat van alle optimalisaties samen op gelijst.

De bouwknopen van een project worden in de EPB-software aangepast of toegevoegd zoals in de onderstaande *Figuur 14* te zien is. Doordat er bij het *Hoofdstuk optimaliseren bouwknopen* maar drie types details zijn uitgewerkt, worden ook alleen deze drie uit het programma verwijderd om zo een optimaal beeld te geven van de realiteit.

Projectgegevens

- Gemeentelijke Basisschool
- Bouwknopen**
- Overzicht EPB-eisen

K-peil Volumes

Selecteer een K-peil volume: Deelproject 1 - K-peil volume1

Bouwknopen

Optie voor de invoer van bouwknopen: Optie B

Alle niet-EPB-aanvaarde lineaire bouwknopen en alle puntbouwknopen worden gedetailleerd ingevoerd, EPB-aanvaarde lineaire bouwknopen mogen ingevoerd worden.

Keuze voor psi- en chi-waarden

☐ Voor het geselecteerde K-peil zijn er gecombineerde bouwknopen

☐ Enkel rekenen met waarden bij ontstentenis

☒ Zowel rekenen met numerieke waarden als met waarden bij ontstentenis

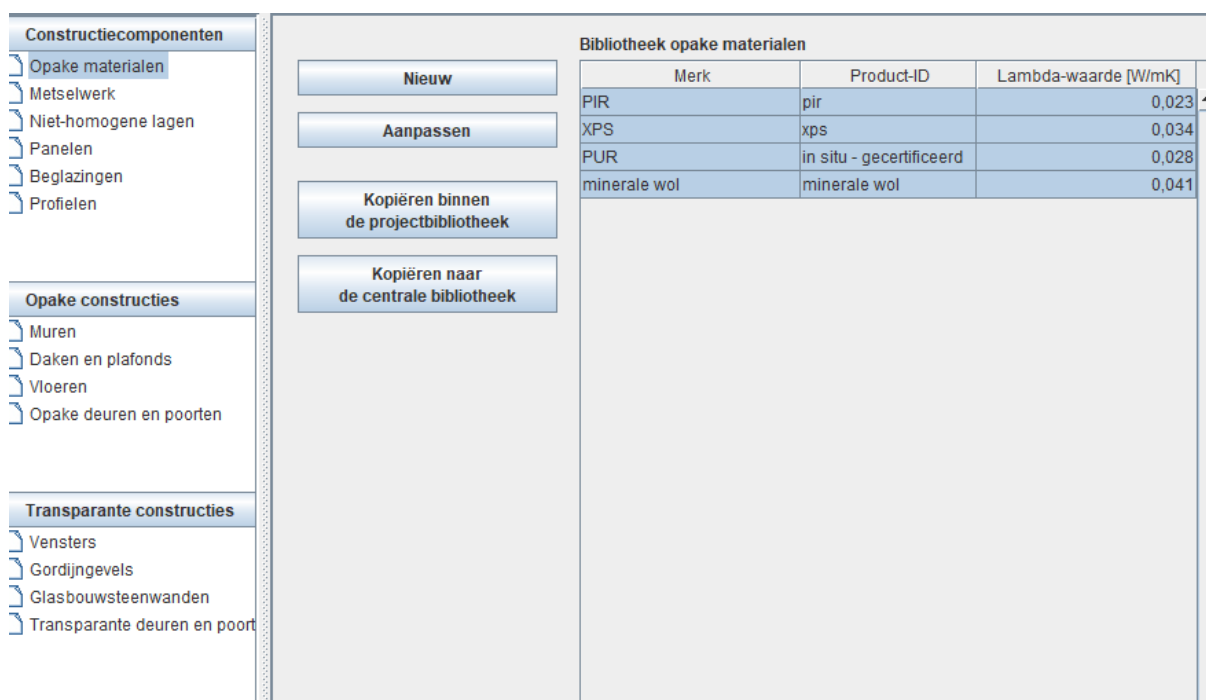
Om de begrenzing van een bouwknop aan te vullen, selecteert u de bouwknop.

Nr	WBO/NUM	Naam	Type bouwknop	Type onderbreking	Psi [W/mK]	Psi Lim [W/m...]	Lengte [m]
1	WBO	metselwerkconsolies	VensterDeurAansluiti...	Thermisch en puntsgewi...	0,50	0,10	30,21
2	WBO	metselwerkconsolies - ...	VensterDeurAansluiti...	Thermisch en puntsgewi...	0,50	0,10	17,73
3	NUM	Dakaansluiting	BuitenAndere		0,17	0,00	72,19
4	NUM	Dakaansluiting - asb	BuitenAndere		0,17	0,00	61,40
5	NUM	Omtrek fundering lamb...	Funderingsaanzetten		-0,02	0,05	74,24
6	NUM	Omtrek fundering lamb...	Funderingsaanzetten		-0,02	0,05	39,32
7	WBO	IPN gedeeltelijk door is...	BuitenAndere	Andere tabel 2	0,15	0,00	86,40

Bouwknop toevoegen Bouwknop verwijderen Bouwknop kopiëren

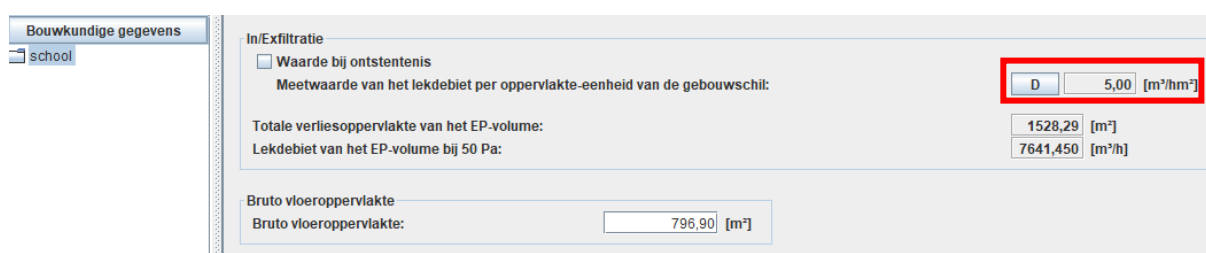
Figuur 14 Voorbeeld weergave EPB software – bouwknopen (eigen figuur)

De U-waarden van een project worden in een bibliotheek opgeslagen in de EPB-software zoals in de onderstaande *Figuur 15* is weergegeven. Zoals te zien is staan de lambdawaarden relatief hoog voor wat er in het *Hoofdstuk optimaliseren U-waarden* is gegenereerd. Al deze waarden worden dan ook aangepast naar de nieuwe situatie van 0,022 W/mK. Dit is ongeveer de gemiddelde waarde van de aangepaste isolatiematerialen.



Figuur 15 Voorbeeld weergave EPB software – U-waarden (eigen figuur)

De ambitie voor de luchtdichting van een gebouw is teruggebracht naar 2,0 m³/h.m². In veel scholen ligt deze waarde vele malen hoger. Door de materialen toe te passen en luchtdicht te bouwen zal deze waarde snel behaald worden en zal dus in de EPB-software worden toegevoegd. De waarde zal worden gewijzigd in het rode blokje in de onderstaande *Figuur 16*.



Figuur 16 Voorbeeld weergave EPB software – luchtdichting (eigen figuur)

De Oogappel

Het project CL99 De Oogappel (te zien in *Figuur 17*) is een nieuwbouwproject te Appelterre uit het jaar 2016 en is ontworpen door een architectenassociatie. De Oogappel is een basisschool met sporthal en heeft een totale omvang van 1.153 m².

Deze school viel in *Deelvraag 1* onder de kleine scholen. Deze school is gekozen om de vergelijking te zien tussen oud en nieuw. Dit is omdat er op deze school veel winst te behalen valt in verband met luchtdichting. In *Tabel 10* staan de verschillende optimalisaties per onderwerp beschreven met hierbij de daling in E-peil punten. Bij deze school zijn ook niet alle bouwknopen geoptimaliseerd. Zo staan er nog bouwknopen open met bouwknoottype buiten andere. Als deze bouwknopen ook nog worden geoptimaliseerd wordt het E-peil nog verbeterd.

Tabel 10 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Oogappel (eigen tabel)

	E-peil	K-peil
Originele waarden	E 54	K 24
Optimalisatie bouwknopen	E 53	K 23
Optimalisatie U-waarden	E 53	K 23
Optimalisatie luchtdichting	E 51	K 24
Alle optimalisaties samen	E 49	K 22



Figuur 17 CL99 De Oogappel (Projecten, 2018)

De Wegel

Het project CL32 De Wegel (te zien in *Figuur 18*) is een nieuwbouwproject te Eeklo uit het jaar 2015 en is ontworpen door THV KROS. De Wegel is een basisschool met een inpandige sporthal en heeft een totale omvang van 3.240 m².

Deze school viel in *Deelvraag 1* onder de middelgrote scholen. Deze school is gekozen om de vergelijking te zien tussen oud en nieuw. Dit is omdat er op deze school veel winst te behalen valt in verband met de optimalisatie van bouwknopen. In *Tabel 11* staan de verschillende optimalisaties per onderwerp beschreven met hierbij de daling in E-peil punten.

Tabel 11 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Wegel (eigen tabel)

	E-peil	K-peil
Originele waarden	E 63	K 28
Optimalisatie bouwknopen	E 60	K 25
Optimalisatie U-waarden	E 61	K 24
Optimalisatie luchtdichting	E 60	K 28
Alle optimalisaties samen	E 56	K 21



Figuur 18 CL32 De Wegel (Projecten, 2018)

GITO Tervuren

Het project CL84 GITO Tervuren (te zien in *Figuur 19*) is een nieuwbouwproject te Tervuren uit het jaar 2017 en is ontworpen door Stéphane Beel Architecten. Dit gebouw is een school voor middelbaar onderwijs en heeft een totale omvang van 8.099 m². In deze totale oppervlakte zitten drie functies namelijk de schoolfunctie, sportfunctie en refterfunctie.



Figuur 19 CL84 GITO Tervuren (Projecten, 2018)

Deze school viel in *Deelvraag 1* onder de middelgrote scholen. Deze school is gekozen om de vergelijking te zien tussen oud en nieuw.

Dit is omdat er op deze school veel winst te behalen valt in verband met de optimalisatie van bouwknopen. In *Tabel 12* staan de verschillende optimalisaties per onderwerp beschreven met hierbij de daling in E-peil punten. Bij deze school zijn ook niet alle bouwknopen geoptimaliseerd. Zo staan er nog bouwknopen open met bouwknootype balkon en luifels. Als deze bouwknopen ook nog worden geoptimaliseerd wordt het E-peil nog verbeterd.

Tabel 12 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, GITO Tervuren (eigen tabel)

	E-peil	K-peil
Originele waarden	E 56	K 25
Optimalisatie bouwknopen	E 55	K 24
Optimalisatie U-waarden	E 53	K 21
Optimalisatie luchtdichting	E 54	K 25
Alle optimalisaties samen	E 50	K 20

4. Deelconclusie

Aan de hand van deze deelrapportage kan er antwoord gegeven worden op de volgende deelvraag: “Hoe kan de optimalisatie van de energiestaat in de praktijk worden gerealiseerd?”

De ambities die waren vastgesteld in *Deelrapportage 2* zijn in deze deelrapportage doorgetrokken op een dieper niveau. De waarden voor de bouwknoten, U-waarden en luchtdichting zijn verder uitgezocht en toegepast op drie eerder geanalyseerde schoolgebouwen.

Allereerst is er gekeken naar de digitale details die aanwezig waren van de betrokken schoolgebouwen, deze zijn samengevoegd en geordend volgens types. Zo zijn de types funderingsaanzetten, venster- en deuraansluitingen en dakaansluiting naar boven gekomen als de te optimaliseren details. Voor de optimalisatie is gekeken naar de eerder toegelichte basisregels waaraan een detail moet voldoen om EPB – aanvaard te worden. Om er zeker van te zijn dat de details daadwerkelijk EPB – aanvaard zijn, zijn deze door het programma Trisco gehaald. Dit is een software om de warmtestroom in een detail te zien. Hierin is duidelijk te zien dat de grootste bouwknoten EPB – aanvaard zijn gemaakt.

De volgende optimalisatie was in de U-waarden, deze waren voornamelijk gericht op de isolatiematerialen die waren toegepast in de schoolgebouwen. Ook hier is een onderscheid gemaakt in de wanden, vloeren en daken van de bouwschil. Hiervoor zijn de verschillende soorten isolatiematerialen zoals glaswol, steenwol, EPS, XPS, PIR en PUR verder toegelicht. Hierbij zijn de verschillende lambdawaarden vergeleken met ook een richtprijs per m². Uit deze vergelijking is gekomen dat voor ieder onderdeel van de bouwschil het beste PIR kan worden toegepast, dit is omdat dit materiaal kwalitatief zeer goed is en er valt een lage lambdawaarde te behalen met een relatief dunne plaat. De gemiddelde lambdawaarden van de geoptimaliseerde isolatieplaten is rond de 0,020 W/mK.

Tot slot is er gekeken naar de U-waarden van het glas en naar de waarden van de luchtdichting van een gebouw. De ambitie voor het glas was gezet op een waarde van 1,0 W/m².K, daarom is er ook gekozen voor het best presterende HR ++ glas. Dit glas haalt een waarde van ± 1,0 W/m².K en is dus geschikt om de ambitie te behalen. Om de luchtdichtheid te behalen zijn er diverse onderdelen waar naar gekeken moet worden. Denk bijvoorbeeld aan luchtdichte folies, tapes en soorten kit.

Uiteindelijk is na alle optimalisatiemogelijkheden de vergelijking gemaakt tussen de oude waarden en de nieuwe waarden. Hiervoor zijn drie scholen gekozen die op ieder vlak geoptimaliseerd konden worden. Tevens zijn de drie scholen gecategoriseerd in de groottes die in *Deelrapportage 1* aanbod kwamen. Zo is er van iedere categorie één school die wordt getoetst. De toetsing gebeurt aan de hand van de EPB-software. Hier is de huidige situatie in gezet en per onderdeel is er aangegeven wat er wordt verbeterd. Uiteindelijk is er per school aangegeven hoeveel deze in E-peil punten is gezakt. Opvallend was dat bij iedere school een grote verbetering was in de bouwschil, maar dat het per school verschilt op welk vlak het E-peil het meeste vooruitgang boekt.

Bibliografie

- Blowerproof. (z.j.). *Producten*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van blowerproof.be:
<https://www.blowerproof.be/nl>
- Bollaert, S. (2015). Nieuwbouw Zorgcampus. *Verpleegsterschool*. STRABAG, Genk. Opgeroepen op februari 5, 2019, van
https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=24AAA50DAFFD63B8C12580880066021E&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Grobet, T. (2014). Masterplan vol vernieuwingen. *GO! School*. STRABAG, Ninove. Opgeroepen op februari 5, 2019, van
https://www.strabag.be/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=C278EFFBFC40FE09C12580880065FD48&men1=4&men2=1&sid=414&h=undefined
- Het Vlaams Energieagentschap. (z.j.). *EPB - aanvaarde bouwknopen*. Opgeroepen op april 04, 2019, van [energiesparen.be](https://www.energiesparen.be): <https://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-pedia/gebouw/bouwknopen/epb-aanvaarde-bouwknopen>
- HR glas*. (z.j.). Opgeroepen op mei 1, 2019, van [hoogrendementsglas-info.be](https://www.hoogrendementsglas-info.be):
www.hoogrendementsglas-info.be/wat-is-hr-glas.html
- Isolatieplaten*. (z.j.). Opgeroepen op mei 3, 2019, van [isolatie-info.be](https://www.isolatie-info.be): <https://www.isolatie-info.be/isolatieplaten>
- Isover (Red.). (z.j.). *Luchtdicht bouwen*. Opgeroepen op april 30, 2019, van Isover:
<https://iedereenben.be/documenten/Luchtdicht-bouwen.pdf>
- Joost de Vree. (z.j.). *dubbelglas*. Opgeroepen op mei 1, 2019, van [joostdevree.nl](https://www.joostdevree.nl):
<http://www.joostdevree.nl/shtmls/dubbelglas.shtml>
- Kingspan. (z.j.). *Isolatie assortiment*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van [kingspan.com](https://www.kingspan.com):
<https://www.kingspan.com/blx/nl-be/producten/isolatie>
- Knauf. (z.j.). *Glaswol*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van [knauf.be](https://www.knauf.be): <https://www.knauf.be/nl>
- Nederlandse encyclopedie. (z.j.). *begrip*. Opgeroepen op april 25, 2019, van [encyclo.nl](https://www.encyclo.nl):
<https://www.encyclo.nl/begrip/>
- Projecten*. (2018). Opgeroepen op april 02, 2019, van [scholenvanmorgen.be](https://www.scholenvanmorgen.be):
<https://www.scholenvanmorgen.be/projecten>
- Soudal. (z.j.). *Producten*. Opgeroepen op mei 7, 2019, van [soudalluchtdicht.be](https://www.soudalluchtdicht.be):
<http://www.soudalluchtdicht.be/>

Figuren- en tabellenlijst

Figuren

Figuur 1 ZOL Verpleegsterschool, Genk (Bollaert, 2015)	II
Figuur 2 Voorbeeld warmtestroom in funderingsaanzet (eigen figuur)	2
Figuur 3 Voorbeeld warmtestroom in dakaansluiting (eigen figuur)	3
Figuur 5 Voorbeeld warmtestroom in deuraansluiting (eigen figuur)	3
Figuur 4 Voorbeeld warmtestroom in vensteraansluiting (eigen figuur)	3
Figuur 6 Glaswol (Isolatieplaten, z.j.)	4
Figuur 7 Steenwol (Isolatieplaten, z.j.)	4
Figuur 8 PUR-platen (Isolatieplaten, z.j.)	5
Figuur 9 PIR-platen (Isolatieplaten, z.j.)	5
Figuur 10 EPS platen (Isolatieplaten, z.j.)	6
Figuur 11 XPS platen (Isolatieplaten, z.j.)	6
Figuur 12 HR++ glas (HR glas, z.j.)	10
Figuur 13 Ventilator blower-doortest (Isover, z.j.)	11
Figuur 14 Voorbeeld weergave EPB software – bouwknopen (eigen figuur)	12
Figuur 15 Voorbeeld weergave EPB software – U-waarden (eigen figuur)	13
Figuur 16 Voorbeeld weergave EPB software – luchtdichting (eigen figuur)	13
Figuur 17 CL99 De Oogappel (Projecten, 2018)	14
Figuur 18 CL32 De Wegel (Projecten, 2018)	14
Figuur 19 CL84 GITO Tervuren (Projecten, 2018)	15

Tabellen

Tabel 1 Voor- en nadelen glaswol (Isolatieplaten, z.j.)	4
Tabel 2 Voor- en nadelen steenwol (Isolatieplaten, z.j.)	4
Tabel 3 Voor- en nadelen PUR (Isolatieplaten, z.j.)	5
Tabel 4 Voor- en nadelen PIR (Isolatieplaten, z.j.)	5
Tabel 5 Voor- en nadelen EPS (Isolatieplaten, z.j.)	6
Tabel 6 Voor- en nadelen XPS (Isolatieplaten, z.j.)	6
Tabel 7 Types wandisolatie (eigen tabel)	7
Tabel 8 Types vloerisolatie (eigen tabel)	8
Tabel 9 Types dakisolatie (eigen tabel)	9
Tabel 10 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Oogappel (eigen tabel)	14
Tabel 11 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, De Wegel (eigen tabel)	14
Tabel 12 Vergelijking EPB-oud versus -nieuw, GITO Tervuren (eigen tabel)	15

Bijlagen

Bijlage 01: CU13739_DR 3_Versiebeheer_jcleijman_20190521

Bijlage 02: CU13739_DR 3_Warmtegeleiding Trisco_jcleijman_20190521

Bijlage 03: CU13739_DR 3_Vergelijkingstabel isolatie_jcleijman_20190516

Bijlage 04: CU13739_DR 3_Vergelijkingstabel luchtdichtheid_jcleijman_20190516

Bijlage 01

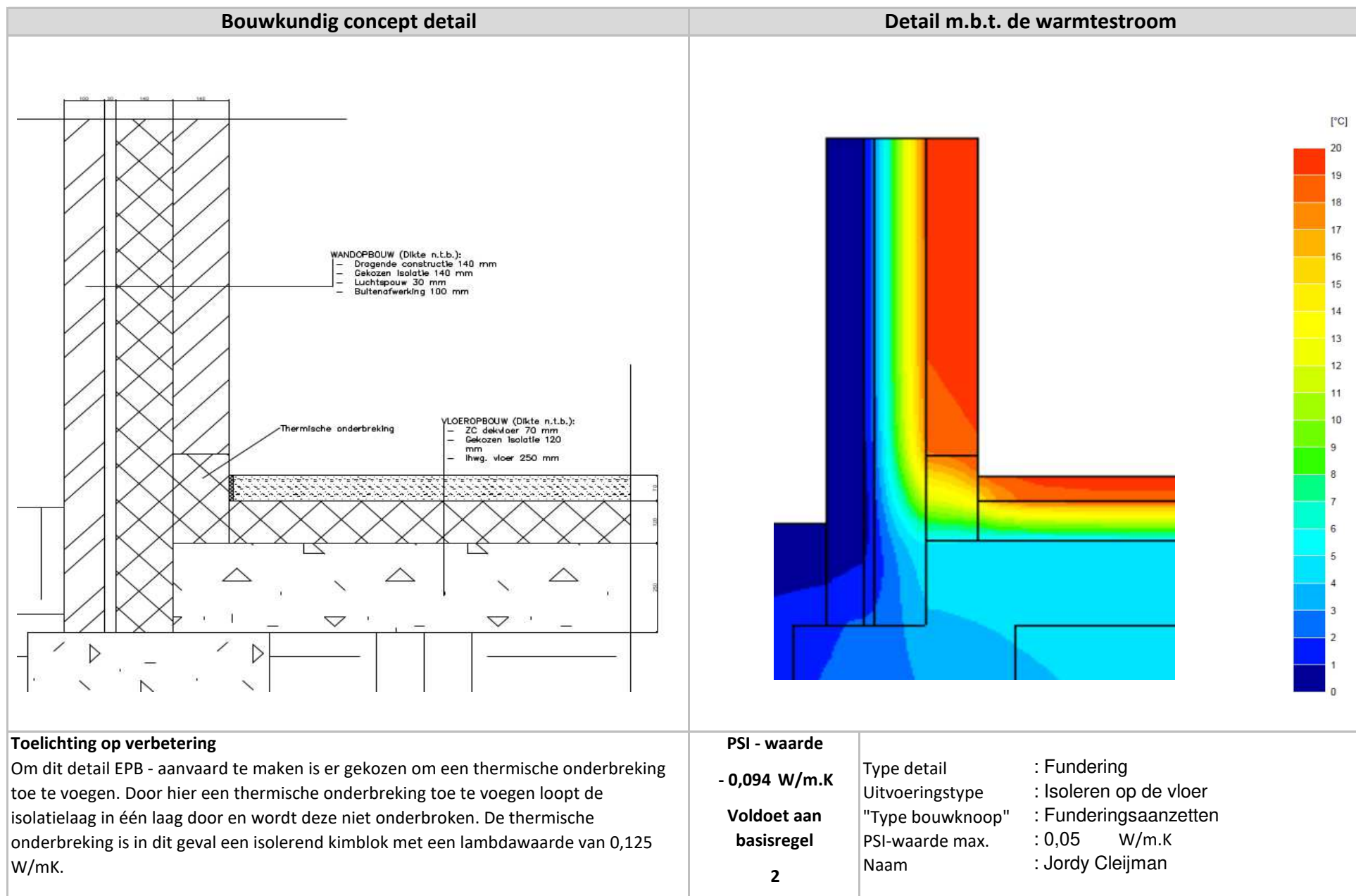
Versiebeheer

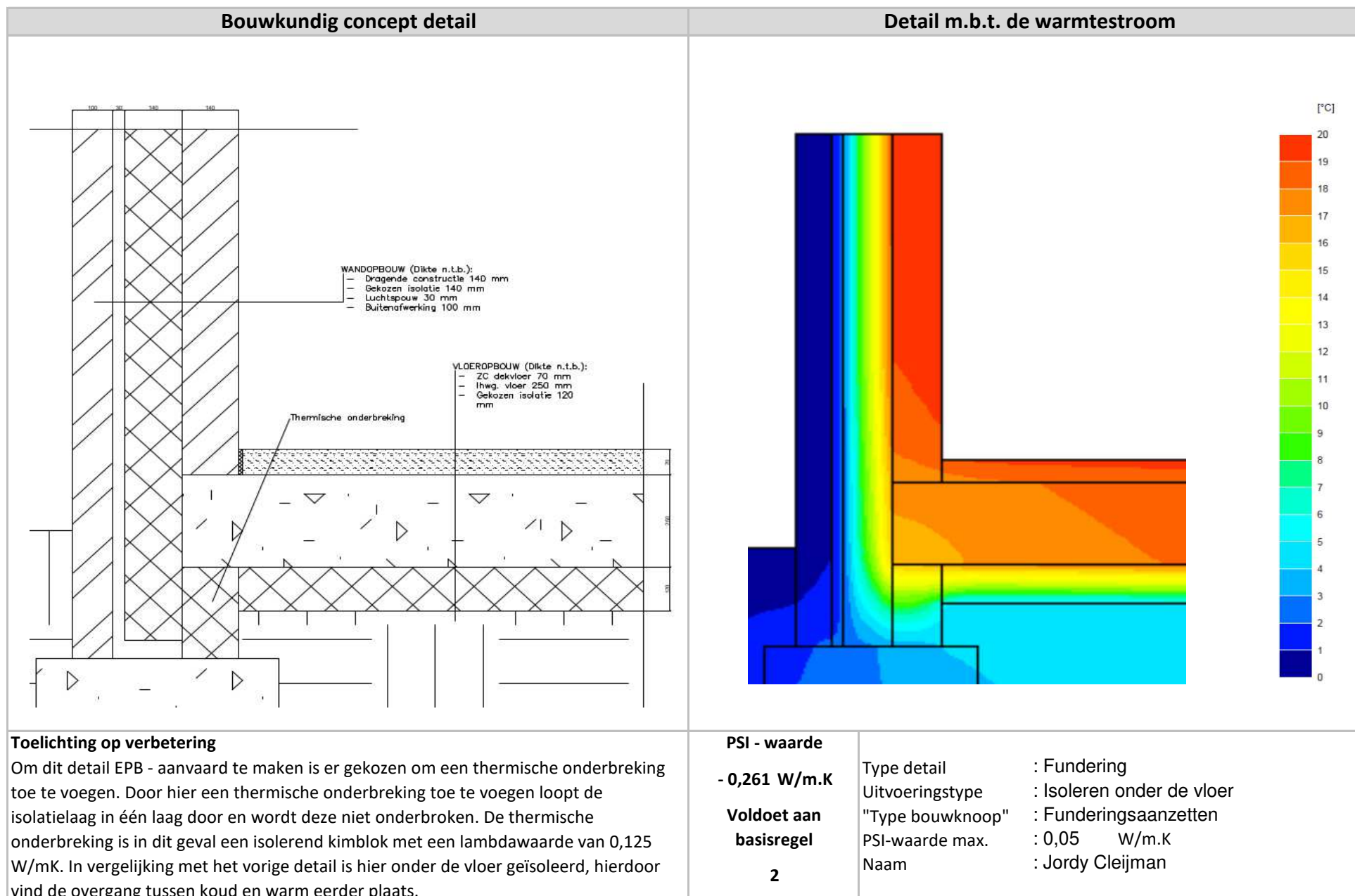
Bijlage 01: CU13739_DR 3_Versiebeheer_jcleijman_20190521

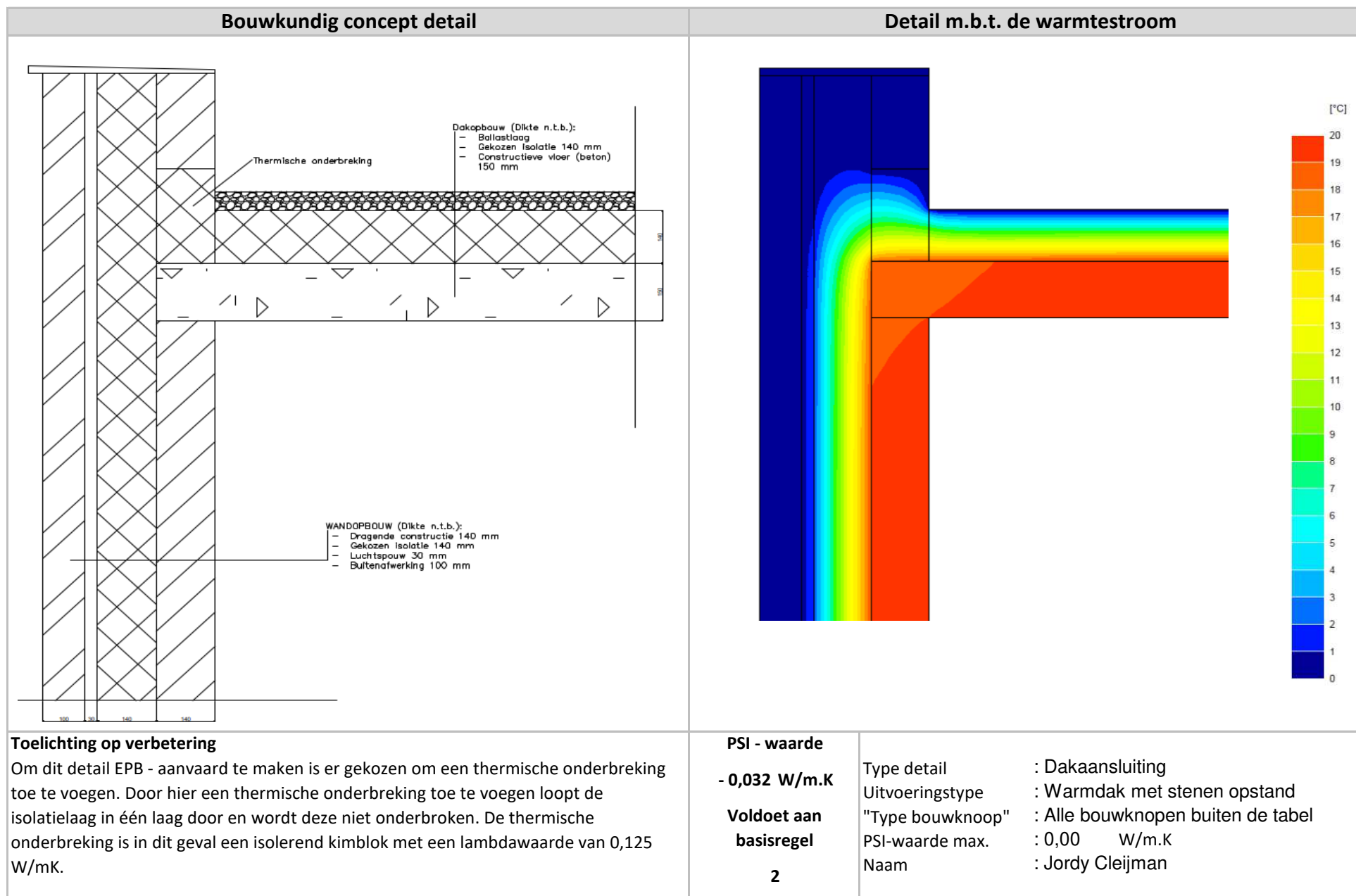
Versie nr.	Gepubliceerde datum	Naam	Datum ontvangen	Functie	Criteria
Versie 1.0	16-05-2019	3 ^e partij	17-05-2019	-	Spelling en opbouw rapport
Versie 2.0	17-05-2019	Gerald van den Berghen	17-05-2019	Student	Spelling en lay-out technische
Versie 3.0	17-05-2019	Roy Brevet	19-05-2019	Student	Spelling en lay-out technische
Versie 4.0	20-05-2019	Lindsay Koliijn - de Silva	21-05-2019	Stagebegeleider	Spelling, opbouw rapport en inhoud controleren
Versie 5.0	21-05-2019				

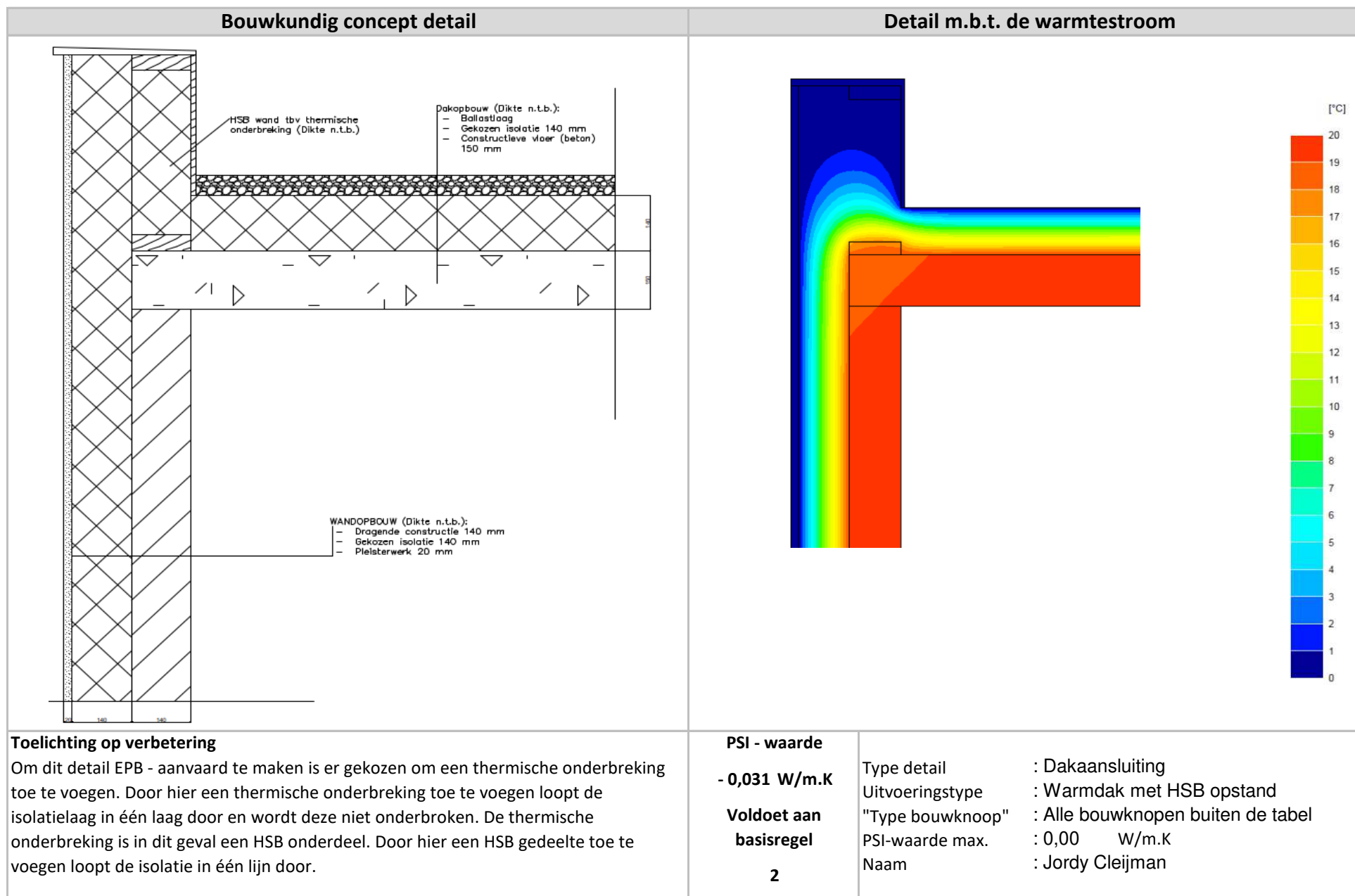
Bijlage 02

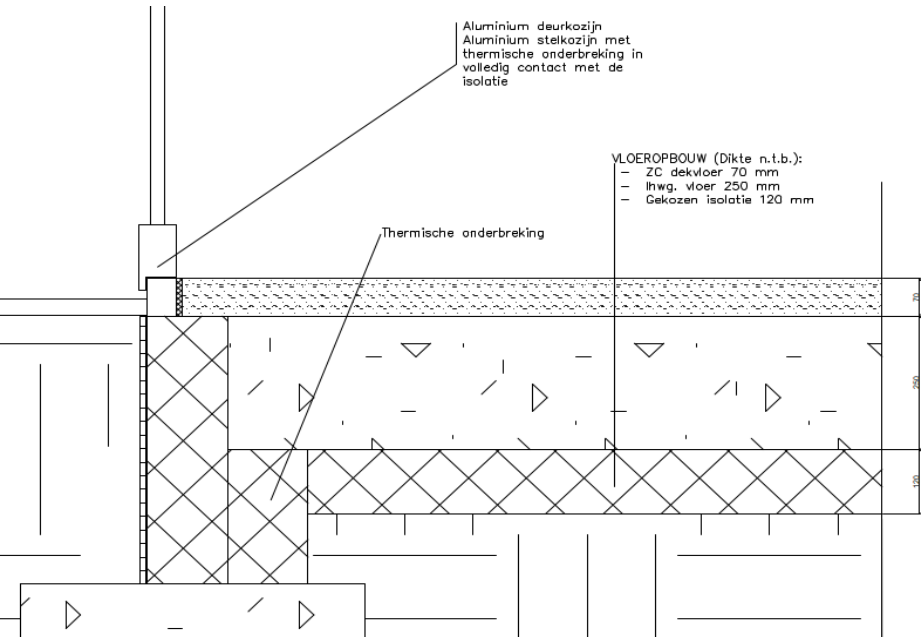
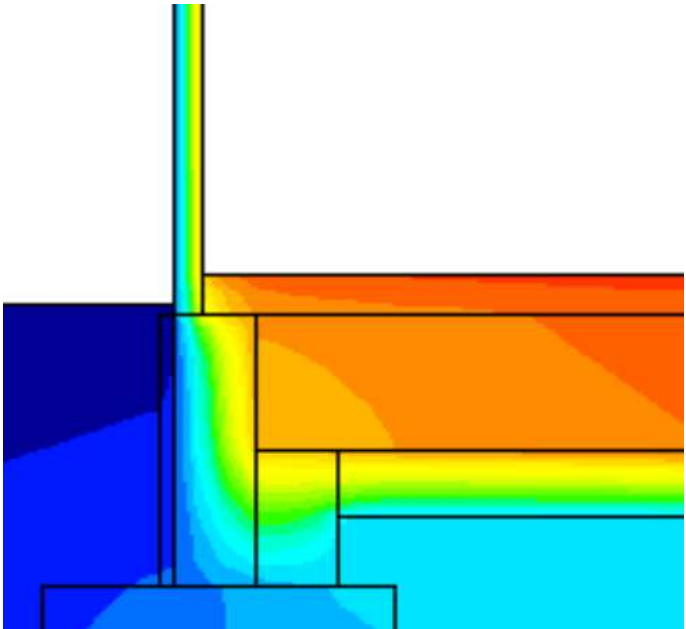
Warmtegeleiding Trisco

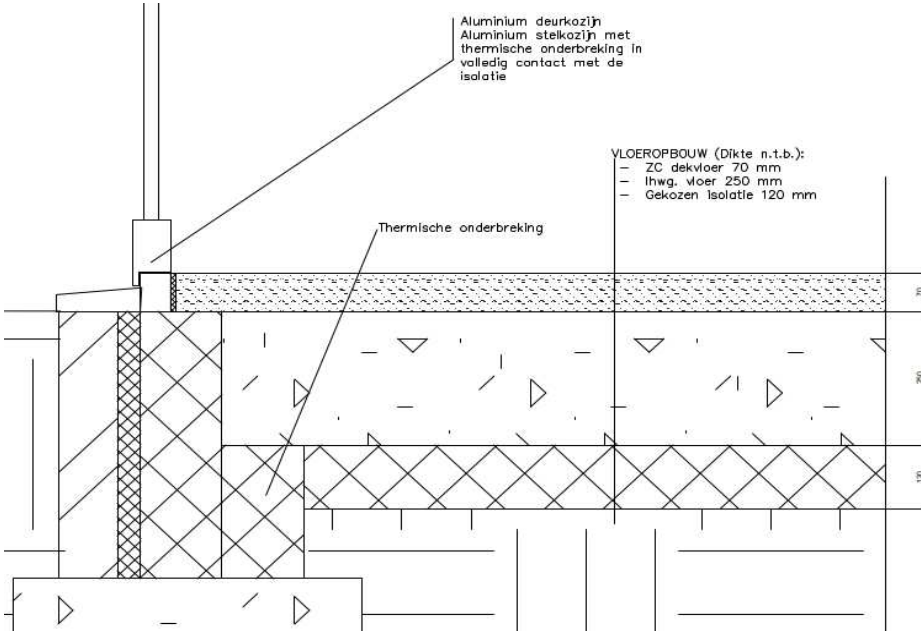
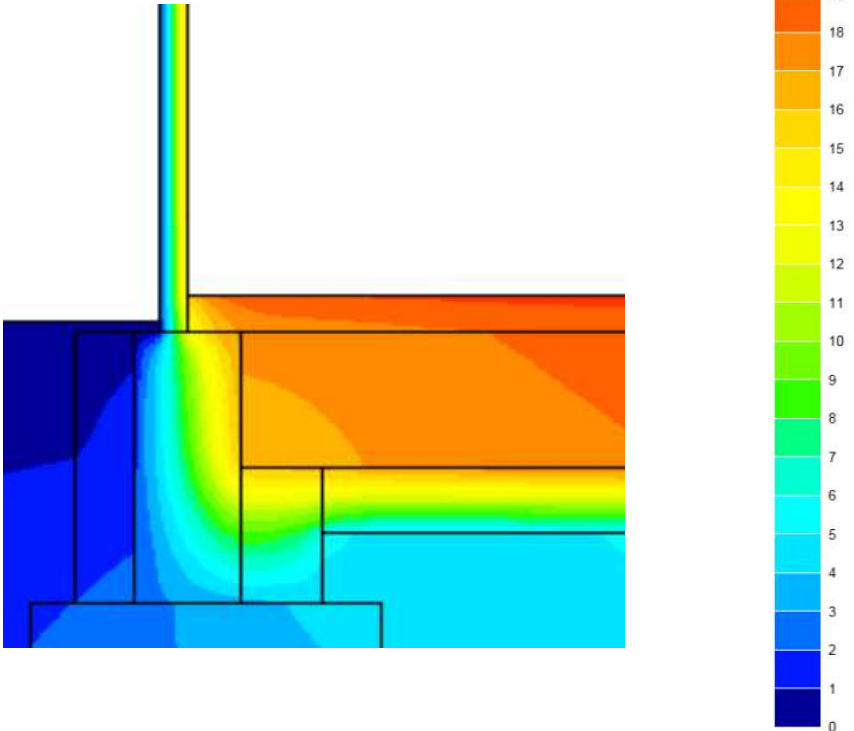


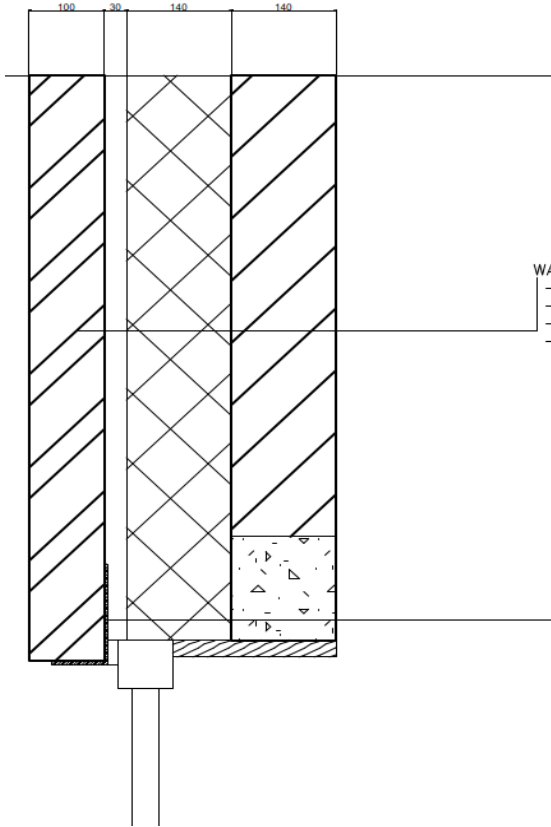
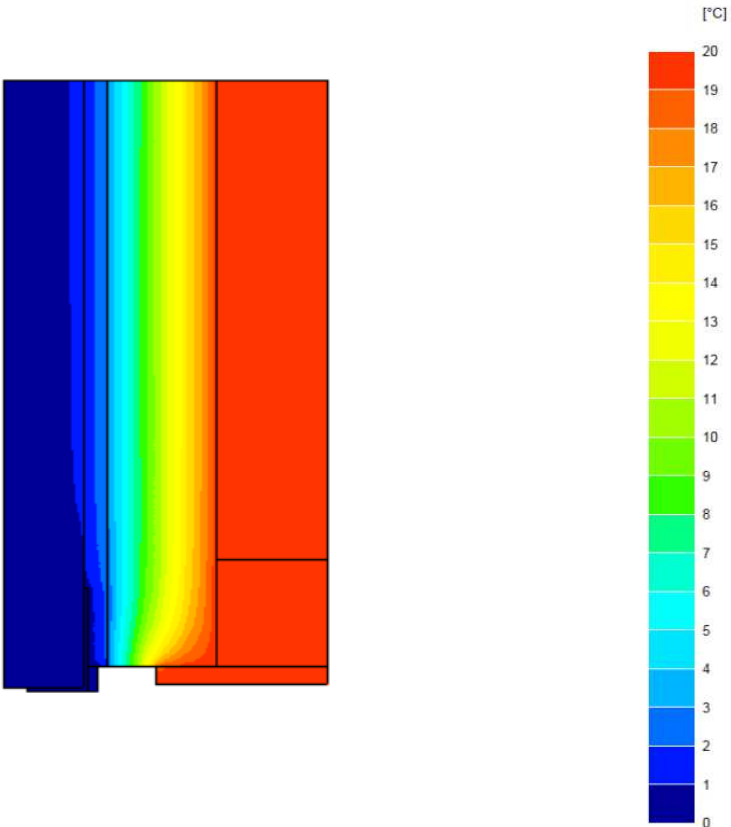


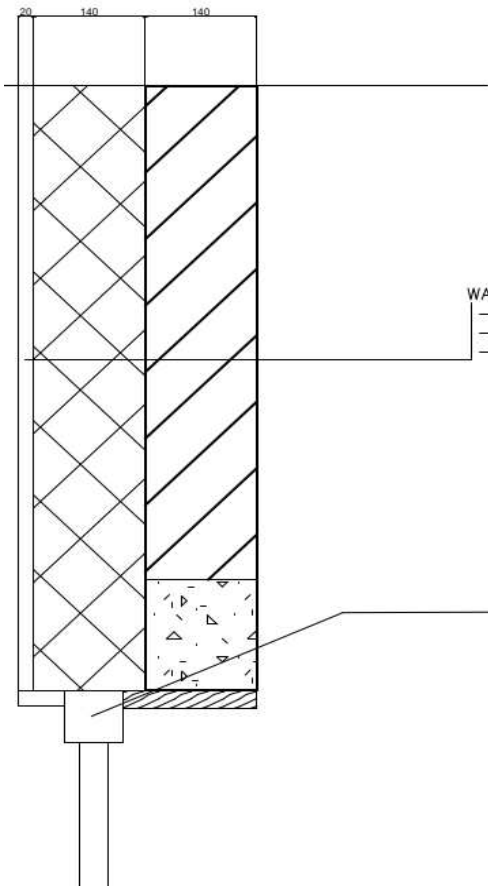
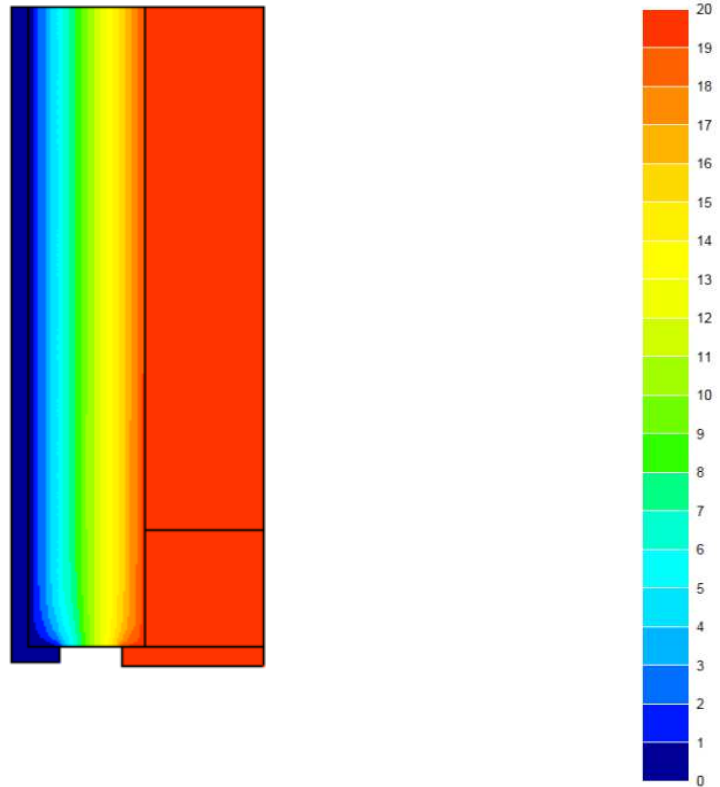


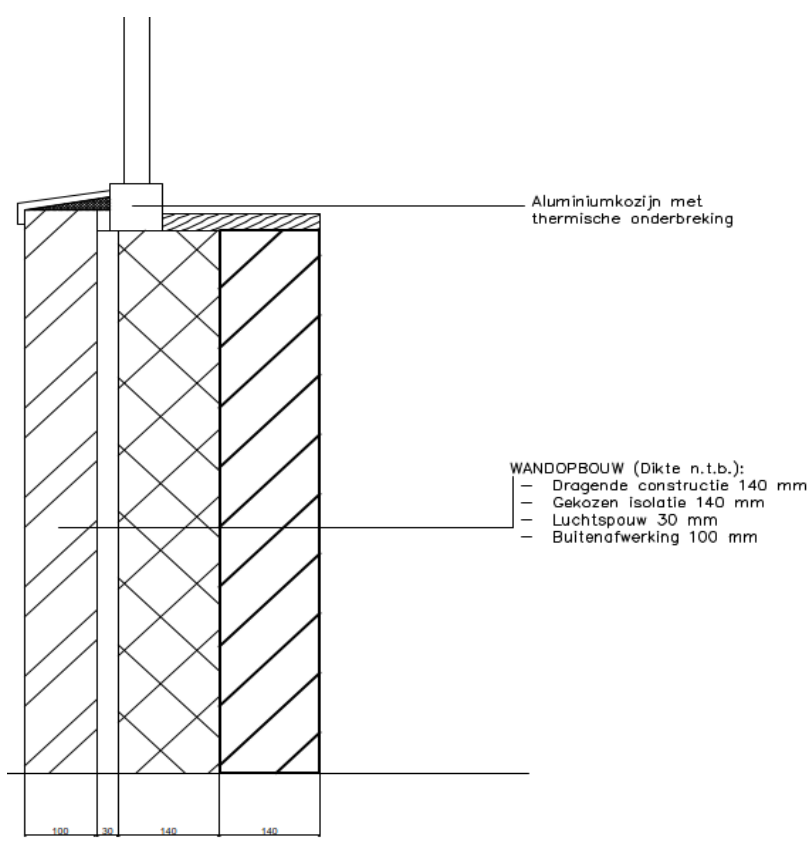
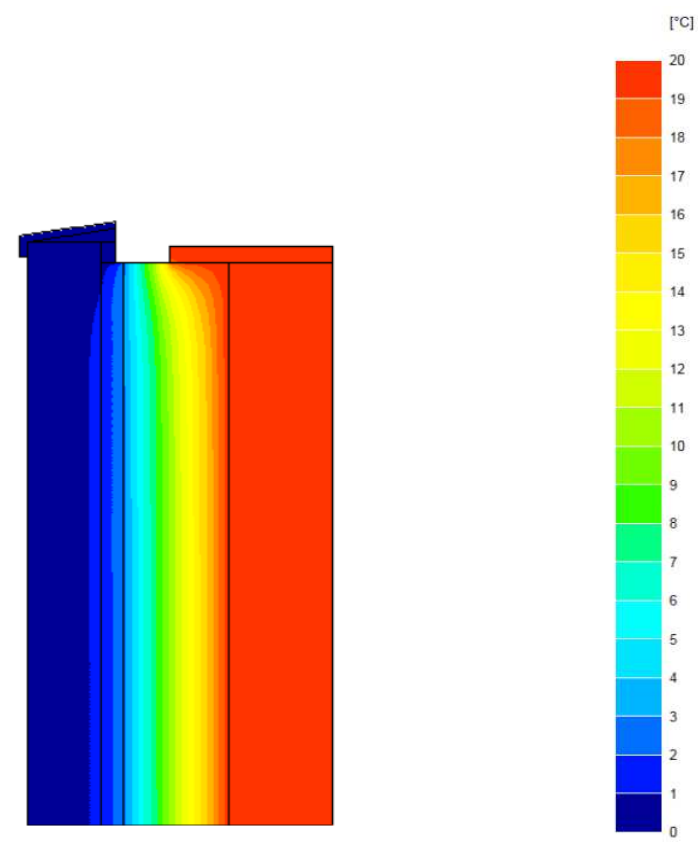


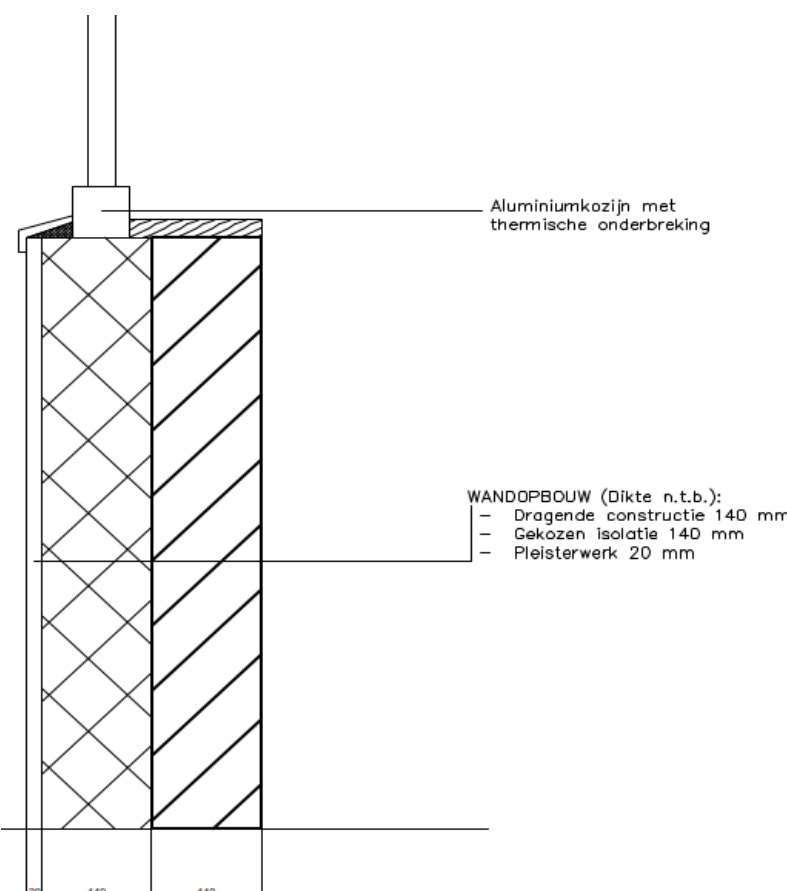
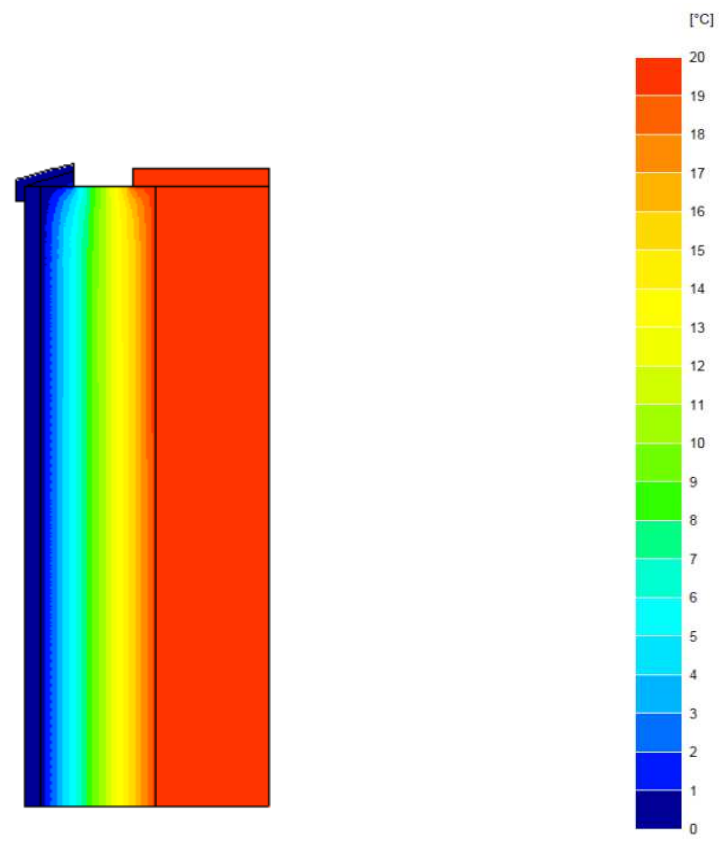
Bouwkundig concept detail	Detail m.b.t. de warmtestroom	
 Aluminium deurkozijn Aluminium stelkozijn met thermische onderbreking in volledig contact met de isolatie Thermische onderbreking VLOEROPBOUW (Dikte n.t.b.): - ZC dekvloer 70 mm - lhwg. vloer 250 mm - Gekozen isolatie 120 mm	 ["°C"] 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0	
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door gebruik te maken van een extra kozijn deel aan de onderkant i.p.v. een hardstenen dorpel kan dit worden toegepast.	PSI - waarde - 0,025 W/m.K Voldoet aan basisregel 1	Type detail : Onderaansluiting deur Uitvoeringstype : Met cementgebonden plaat "Type bouwknop" : Venster- en deuraansluitingen PSI-waarde max. : 0,10 W/m.K Naam : Jordy Cleijman

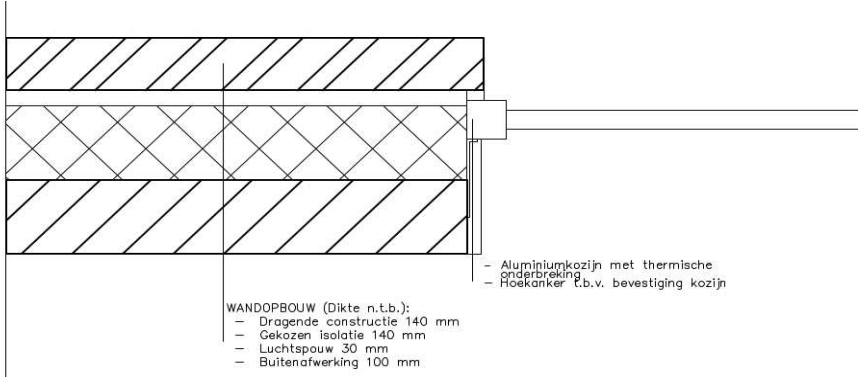
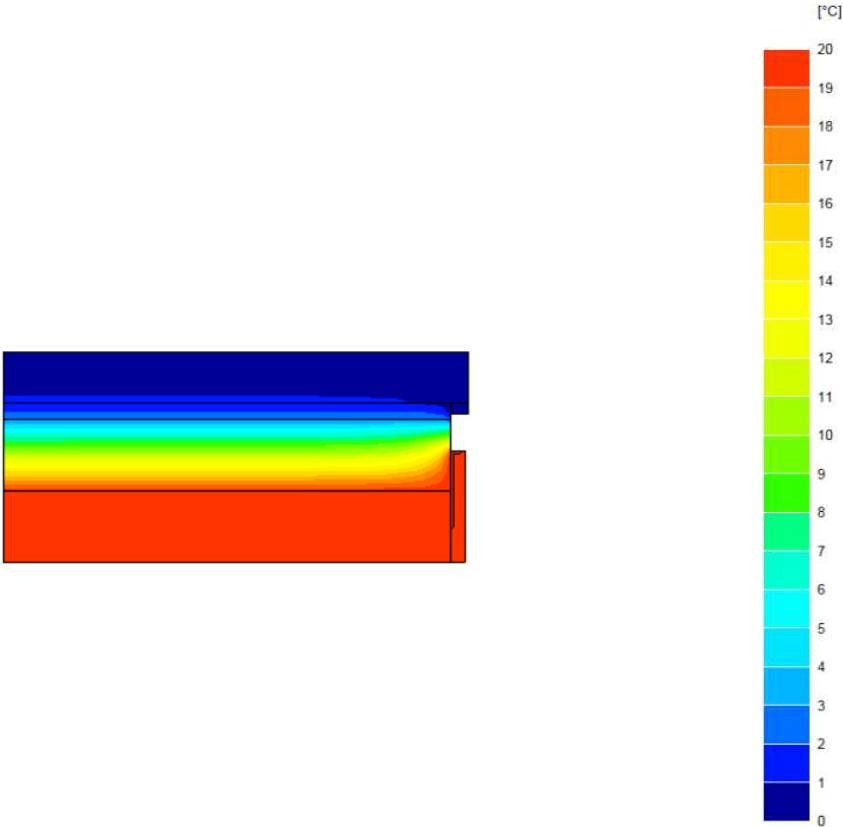
Bouwkundig concept detail	Detail m.b.t. de warmtestroom	
		
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door gebruik te maken van een extra kozijn deel aan de onderkant i.p.v. een hardstenen dorpel kan dit worden toegepast.	PSI - waarde - 0,036 W/m.K Voldoet aan basisregel 1	Type detail : Onderaansluiting deur Uitvoeringstype : Met metselwerk "Type bouwknop" : Venster- en deuraansluitingen PSI-waarde max. : 0,10 W/m.K Naam : Jordy Cleijman

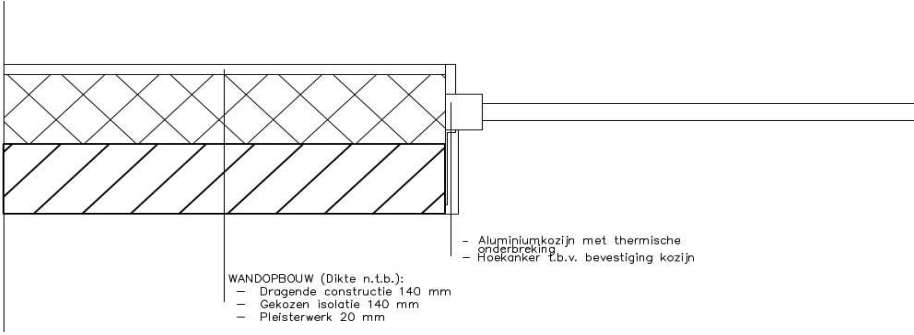
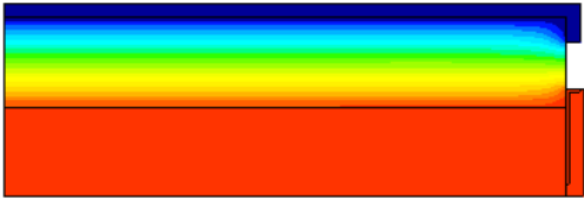
Bouwkundig concept detail		Detail m.b.t. de warmtestroom	
 WANDOPBOUW (Dikte n.t.b.): - Dragende constructie 140 mm - Gekozen isolatie 140 mm - Luchtsponw 30 mm - Buitenafwerking 100 mm - Stalenlatei - Aluminiumkozijn met thermische onderbreking - betonnenlatei			
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door het kozijn met ankers langs de binnenzijde te bevestigen wordt de thermische onderbreking van het kozijn niet onderbroken met de isolatielaag. In het resultaat van de warmtestroom is het kozijn niet meegenomen. Dit is gedaan omdat dit gedeelte EPB - aanvaard is en de waarden zijn al meegenomen in de U-waarde berekeningen.		PSI - waarde - 0,113 W/m.K Voldoet aan basisregel 1 Type detail : Boven aansluiting venster Uitvoeringstype : Met metselwerk "Type bouwknop" : Venster- en deuraansluitingen PSI-waarde max. : 0,10 W/m.K Naam : Jordy Cleijman	

Bouwkundig concept detail		Detail m.b.t. de warmtestroom	
 WANDOPBOUW (Dikte n.t.b.): - Dragende constructie 140 mm - Gekozen isolatie 140 mm - Pleisterwerk 20 mm - Stalenlatei - Aluminiumkozijn met thermische onderbreking - betonnenlatei			
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door het kozijn met ankers langs de binnenzijde te bevestigen wordt de thermische onderbreking van het kozijn niet onderbroken met de isolatielaag. In het resultaat van de warmtestroom is het kozijn niet meegenomen. Dit is gedaan omdat dit gedeelte EPB - aanvaard is en de waarden zijn al meegenomen in de U-waarde berekeningen.		PSI - waarde - 0,113 W/m.K Voldoet aan basisregel 1 Type detail : Bovenaansluiting venster Uitvoeringstype : Met pleisterwerk "Type bouwknop" : Venster- en deuraansluitingen PSI-waarde max. : 0,10 W/m.K Naam : Jordy Cleijman	

Bouwkundig concept detail		Detail m.b.t. de warmtestroom																			
																					
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door het kozijn met ankers langs de binnenzijde te bevestigen wordt de thermische onderbreking van het kozijn niet onderbroken met de isolatielaag. In het resultaat van de warmtestroom is het kozijn niet meegenomen. Dit is gedaan omdat dit gedeelte EPB - aanvaard is en de waarden zijn al meegenomen in de U-waarde berekeningen.		<table><tr><td>PSI - waarde</td><td></td></tr><tr><td>- 0,116 W/m.K</td><td></td></tr><tr><td>Voldoet aan basisregel</td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td></tr></table><table><tr><td>Type detail</td><td>: Onderaansluiting venster</td></tr><tr><td>Uitvoeringstype</td><td>: Met metselwerk</td></tr><tr><td>"Type bouwknop"</td><td>: Venster- en deuraansluitingen</td></tr><tr><td>PSI-waarde max.</td><td>: 0,10 W/m.K</td></tr><tr><td>Naam</td><td>: Jordy Cleijman</td></tr></table>		PSI - waarde		- 0,116 W/m.K		Voldoet aan basisregel		1		Type detail	: Onderaansluiting venster	Uitvoeringstype	: Met metselwerk	"Type bouwknop"	: Venster- en deuraansluitingen	PSI-waarde max.	: 0,10 W/m.K	Naam	: Jordy Cleijman
PSI - waarde																					
- 0,116 W/m.K																					
Voldoet aan basisregel																					
1																					
Type detail	: Onderaansluiting venster																				
Uitvoeringstype	: Met metselwerk																				
"Type bouwknop"	: Venster- en deuraansluitingen																				
PSI-waarde max.	: 0,10 W/m.K																				
Naam	: Jordy Cleijman																				

Bouwkundig concept detail	Detail m.b.t. de warmtestroom	
 Aluminiumkozijn met thermische onderbreking WANDOPBOUW (Dikte n.t.b.): - Dragende constructie 140 mm - Gekozen isolatie 140 mm - Pleisterwerk 20 mm 200 140 140		
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door het kozijn met ankers langs de binnenzijde te bevestigen wordt de thermische onderbreking van het kozijn niet onderbroken met de isolatielaag. In het resultaat van de warmtestroom is het kozijn niet meegenomen. Dit is gedaan omdat dit gedeelte EPB - aanvaard is en de waarden zijn al meegenomen in de U-waarde berekeningen.	PSI - waarde - 0,137 W/m.K Voldoet aan basisregel 1	Type detail : Onderaansluiting venster Uitvoeringstype : Met pleisterwerk "Type bouwknop" : Venster- en deuraansluitingen PSI-waarde max. : 0,10 W/m.K Naam : Jordy Cleijman

Bouwkundig concept detail	Detail m.b.t. de warmtestroom	
 WANDOPBOUW (Dikte n.t.b.): - Dragende constructie 140 mm - Gekozen isolatie 140 mm - Luchtspouw 30 mm - Buitenafwerking 100 mm - Aluminiumkozijn met thermische onderbreking - Roekanker t.b.v. bevestiging kozijn		
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door het kozijn met ankers langs de binnenzijde te bevestigen wordt de thermische onderbreking van het kozijn niet onderbroken met de isolatielaag. In het resultaat van de warmtestroom is het kozijn niet meegenomen. Dit is gedaan omdat dit gedeelte EPB - aanvaard is en de waarden zijn al meegenomen in de U-waarde berekeningen.	PSI - waarde - 0,116 W/m.K Voldoet aan basisregel 1	Type detail : Zijaansluiting venster Uitvoeringstype : Met metselwerk "Type bouwknop" : Venster- en deuraansluitingen PSI-waarde max. : 0,10 W/m.K Naam : Jordy Cleijman

Bouwkundig concept detail	Detail m.b.t. de warmtestroom	
 WANDOPBOUW (Dikte n.t.b.): - Dragende constructie 140 mm - Gekozen isolatie 140 mm - Pleisterwerk 20 mm - Aluminiumkozijn met thermische onderbreking - Hoekanker t.b.v. bevestiging kozijn		
Toelichting op verbetering Om dit detail EPB - aanvaard te maken moet de thermische onderbreking in volledig contact staan met de isolatielaag van de bouwschil. Door het kozijn met ankers langs de binnenzijde te bevestigen wordt de thermische onderbreking van het kozijn niet onderbroken met de isolatielaag. In het resultaat van de warmtestroom is het kozijn niet meegenomen. Dit is gedaan omdat dit gedeelte EPB - aanvaard is en de waarden zijn al meegenomen in de U-waarde berekeningen.	PSI - waarde - 0,136 W/m.K Voldoet aan basisregel 1	Type detail : Zijaansluiting venster Uitvoeringstype : Met pleisterwerk "Type bouwknop" : Venster- en deuraansluitingen PSI-waarde max. : 0,10 W/m.K Naam : Jordy Cleijman

Bijlage 03

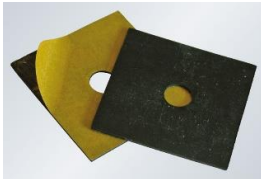
Vergelijkingstabel isolatie

Soorten isolatieplaten						
Soort isolatie	Type isolatie	Lambdawaarden		Richtprijs per m ²	Wanden	Vloeren
		[W/mK]				
Glaswol	Mupan façade	0,032	32,00 €	X		
Glaswol	Systemroll 1000	0,032	22,00 €	X		
Glaswol	Cavitec 032B	0,032	25,00 €	X		
Glaswol	TP 138	0,032	17,00 €			X
Steenwol	Rockfit mono	0,035	26,00 €	X		
Steenwol	Rockfit mono silver	0,035	31,00 €	X		
Steenwol	Rockfit duo	0,035	22,00 €	X		
	Rockfit premium			X		
Steenwol	silver	0,033	34,00 €			
Steenwol	Rockfit premium	0,033	30,00 €	X		
Steenwol	Rhinoxx	0,040	35,00 €			X
Steenwol	Rhinoxx D	0,043	36,00 €			X
PUR	Gespoten PUR	0,025	20,00 €	X	X	X
PIR	Therma TW50	0,022	60,00 €	X		
PIR	Therma TF70	0,022	52,00 €		X	
PIR	Therma dakplaten	0,025	45,00 €			X
PIR	Therma dakplaten	0,022	45,00 €			X
PIR	Kooltherm K3	0,020	41,00 €		X	
PIR	Kooltherm K5	0,020	41,00 €	X		
PIR	Kooltherm K8	0,020	41,00 €	X		
PIR	Kooltherm K108	0,018	42,00 €	X		
PIR	Kooltherm K8 plus	0,020	46,00 €	X		
PIR	Kooltherm K108 plus	0,018	48,00 €	X		
EPS	Solidek HL	0,029	18,00 €		X	
EPS	Polydek Plus	0,031	26,00 €	X		
XPS	XPS platen	0,032	20,00 €	X	X	X

Bijlage 04

Vergelijkingstabel luchtdichtheid

Vario systeem		
Vochtregulerende folies	Eigenschappen	Toepassingen
Vario KM-duplex 	- Folie versterkt met een kunststofvlies. - Vochtregulerend.	Voor het aanbrengen van een luchtdichte isolatielaag bij diverse constructieve elementen.
Winddichting	Eigenschappen	Toepassingen
Ecran Vario 	- Winddicht - regenbestendig	Dak folie voor hellende daken en wind-/vochtscherm voor houten structuren met geïntegreerde kleefband.
Kleef- en afdichting-producten	Eigenschappen	Toepassingen
Vario KB1 	- Enkelzijdige kleefband, met grote kleefkracht.	Extra breed, voor het luchtdicht vastkleven van naden tussen foliebanen.
Vario Doublefit 	- Afdichtingskit	Voor het afdichten van lucht- en winddichte aansluitingen met folie, tegen een ander constructiemateriaal.
Vario ProTape 	- Dubbelzijdige kleefband op rol, elastisch.	
Vario MultiTape SL 	- Flexibele kleefband, met tweedelige beschermlaag.	Voor het luchtdicht vastkleven van folie aan dakramen, leidingen en doorbrekingen van het dak.

Kleef- en afdichting-producten	Eigenschappen	Toepassingen
Vario TightTec 	- Voorgesneden folie-elementen	Voor een eenvoudige en luchtdichte uitvoering van bijvoorbeeld hoeken van ramen en deuren.
Mangete Passelec 	- Afsluitklever	Voor een luchtdichte afwerking van doorgangen van alle soorten leidingen door folie.

Blowerproof liquid

Materiaal	Eigenschappen	Toepassingen
Kwastbare versie 	- Luchtdichtheid <0,05 m³/h.m - Gespoten versie: tot 200 m² per dag - μ-waarde > 30.000/ > 70.000 - Dampdicht, goede brandklasse.	Op alle gebouw aansluitingen. Tevens is de gespoten variant erg handig bij grotere projecten.
Gespoten versie 		

Soudal		
Materiaal	Eigenschappen	Toepassingen
Vloeibare membranen 	- Lucht- en dampdicht - Zeer goede hechting - Blijvend elastisch - Overschilderbaar	- Doorvoeren - Naden, kieren en scheuren - Wand- vloeraansluitingen - Wand- plafondaansluitingen - Raamaansluitingen
Folies 	- Lucht- en waterdicht - Vochtregulerend - Drukgevoelig - Binnen als buiten toe te passen - Overpleisterbaar - Flexibel en scheurvast	- Raamaansluitingen
Lijmen 	- Goed verwerkbaar - Binnen als buiten toe te passen - Blijvend elastisch - Hoge kleefkracht - Uitstekende hechting op tapes etc.	- Raamaansluiting - Verlijmen van diverse soorten tapes
PU-schuim 	- Elastisch en duurzaam - Waterdamp doorlatend - Brandklasse B2 - Snelle doorharding	- Montage van ramen en deuren - Afdichting openingen in dakconstructie - Aanbrengen van geluiddempende laag - Optimaliseren isolatie
Zwelbanden 	- Combinatie van drie producten - Damp-open folie - Lucht- en winddicht - Zelfklevend	- Geschikt voor damp-open, slagregendichte en blijvende elastische afdichtingen. - Afdichtingen van uitzet- en bewegingsvoegen. Voegen tussen deur- en raamkozijnen en muur
Voegkitten 	- Zeer luchtdicht - Blijvend elastisch - Goed verwerkbaar - Kleurvast en waterdicht - Goede hechting - Overschilderbaar	- Luchtdichte voegen - Binnenvoegen bij raamaansluitingen - Voegen van vensterbanken etc.

Bijlage 05

Peerreview

Bewijslast peerreview

Peers

Tijdens de afstudeerperiode is er aan het begin van het semester een vaste feedback groep ontstaan, deze bestaat uit Gerald van den Berghen, Roy Brevet en Gijs Koole. Door deze feedback groep was er altijd een zekerheid voor het ontvangen en geven van duidelijke feedback op elkaars rapport. Naast deze studenten hebben ook de stagebegeleiders van zowel school als het bedrijf de deelrapporten vaak feedback bezorgt. Tevens heeft mijn moeder (aangegeven als 3^e partij in het versiebeheer) ieder rapport nagelezen op spellingsfouten en grammatica.

Documentatie bestanden

Om de feedback goed te documenteren is er gebruik gemaakt van een mappensysteem om de bestanden op te slaan. Deze mappenstructuur is te zien in *Figuur 1*. De feedback die verkregen is, is per rapport apart gezet voor een duidelijk overzicht. Tevens is er ook een map aangemaakt om per medestudent feedback te geven. Een voorbeeld hiervan staat in *Figuur 2*.

This PC > (F:) HZ JORDY > 006 Leerjaar 4 > 2.0 Bouwkundig Ingenieur > 7.0 Feedback

Name	Date modified	Type	Size
7.1 Plan van Aanpak	30/01/2019 7:33	File folder	
7.2 Deelvraag 1	28/03/2019 13:41	File folder	
7.3 Deelvraag 2	29/04/2019 12:20	File folder	
7.4 Deelvraag 3	29/04/2019 12:20	File folder	
7.5 Hoofdrapport	29/04/2019 12:20	File folder	
Verstuurd	20/02/2019 11:30	File folder	
Feedback op functioneren 08-05-2019	8/05/2019 8:56	PDF Document	192 KB
Feedback op functioneren 25-04-2019	25/04/2019 12:00	Microsoft Word D...	22 KB
Vercouteren bespreking	12/03/2019 10:42	Microsoft Word D...	13 KB

Figuur 1

This PC > (F:) HZ JORDY > 006 Leerjaar 4 > 2.0 Bouwkundig Ingenieur > 7.0 Feedback > Verstuurd

Name	Date modified	Type	Size
Gerald	20/02/2019 11:30	File folder	
Gijs	14/03/2019 7:00	File folder	
Roy	1/03/2019 7:07	File folder	

This PC > (F:) HZ JORDY > 006 Leerjaar 4 > 2.0 Bouwkundig Ingenieur > 7.0 Feedback > Verstuurd > Gerald

Name	Date modified	Type	Size
CU13739_Onderzoeksrapport V3_gvdberghen_190523_feedback Jordy	22/05/2019 20:07	PDF Document	2 252 KB
CU13739_Deelrapport deelvraag 3 V1_gvdberghen_190502_Feedback Jordy	7/05/2019 11:15	PDF Document	1 696 KB
CU13739_DP Proeflicentie Primavera_gvdberghen_190416_feedback Jordy	1/05/2019 9:42	PDF Document	1 944 KB
CU13739_Uitwerking deelvraag 2_gvdberghen_190308_Feedback Jordy	27/03/2019 9:27	PDF Document	6 823 KB
CU13739_Deelrapport Deelvraag 2 V1_gvdberghen_190308_Feedback Jordy	11/03/2019 8:43	PDF Document	2 402 KB
CU13739_Eindrapport fase 1 V1_gvdberghen_190129_Feedback Jordy 20190220	20/02/2019 11:30	PDF Document	4 050 KB

Figuur 2

Bewijslast ontvangen feedback

Als voorbeeld is de controle van spelling toegevoegd aan dit bestand om te laten zien hoe de verkregen feedback is verwerkt in het rapport. Hiervoor zijn de hoofdstukken Opzet onderzoek en Discussie als voorbeeld genomen. Deze eerste twee pagina's zijn de pagina's met feedback. Daarna volgen de twee aangepaste pagina's.

X

2. Opzet onderzoek

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bronnen van het onderzoek aangehaald en verder toegelicht. Hierin wordt ook een link aangegeven tussen de onderzoeksmethoden en de deelvragen zodat het onderzoek zelf beter te begrijpen is. Tevens wordt hier even kort ingegaan op de modellen waarop is getoetst.

2.1 Bronnen

Voor dit rapport is de hoofdbron www.energiesparen.be geweest. Via deze site staan alle gegevens voor de energieprestatie van België. Via deze bron kon er achterhaald worden aan welke regel- en wetgeving er moest worden voldaan bij nieuw te bouwen schoolgebouwen. Tevens hingen hier ook een aantal begrippen aan vast die in het volgende Hoofdstuk 3 Energieprestatie van België, worden toegelicht.

Tevens is er niet alleen een site gebruikt voor dit onderzoek, maar ook de database van STRABAG zelf is meerdere malen gebruikt voor informatie. Omdat het onderzoek voornamelijk over de vijftien reeds opgeleverde schoolgebouwen ging, werd de informatie uit de database van STRABAG gehaald. Aan de hand van de waarden en informatie die verkrijgbaar was, is er een analyse gemaakt van de scholen. Door te weten hoe STRABAG werkt kon het onderzoek hier op worden aangepast en worden vergeleken.

2.2 Methoden

In dit hoofdstuk wordt per deelvraag naar voren gehaald aan de hand van welk soort onderzoek de deelvraag is aangepakt. Hierbij staat een korte omschrijving van de aanpak en hoe deze wordt toegepast. Daarnaast wordt er eerst kort aangegeven hoe de onderzoeksperiode eruitziet.

Deelvraag 1

"Wat is de energieprestatie van de bestaande schoolgebouwen gerealiseerd door STRABAG?"

Deze deelvraag is beantwoord aan de hand van een analyserend onderzoek. Hiervoor worden de vijftien schoolgebouwen geanalyseerd en op gelijst in tabelvorm. Aan de hand van het beschrijvende onderzoek in deze deelvraag konden de bestaande waarden van de scholen worden toegelicht. Tevens is hier ook onderzocht hoe de normen en regelgeving in België te werk gaat. Dit is ook aan de hand van het beschrijvende onderzoek vastgelegd.

Deelvraag 2

"Hoe kan STRABAG de bouwschil optimaliseren zodat er beter gescoord kan worden op de EPB?"

Doormiddel van het analyserend en het beschrijvend onderzoek voort te zetten in deze deelvraag konden er per de aangegeven zeven schoolgebouwen dieper worden ingegaan op de detaillering. Deze details werden geanalyseerd op problemen en eventuele misstappen. Door deze punten goed te beschrijven kan er beter worden ingegaan op de informatie die nodig is om door te gaan naar de volgende deelvraag.

Deelvraag 3

"Hoe kan de optimalisatie van de energieprestatie in de praktijk worden gerealiseerd?"

Aan de hand van de eerder gebruikte onderzoeksmethode is ook deze deelvraag opgelost door middel van een beschrijvend onderzoek. Hier zijn alle uitkomsten van de voorgaande deelvragen in verwerkt en toegepast. In dit rapport zijn de ambitie niveaus van STRABAG vergeleken met de haalbaarheid van de producten. Zo zijn dus alle beschikbare materialen die de ambities kunnen behalen vastgelegd.

Jordy Cleijman
Eindrapportage Scholen van morgen
Versie 4.0

X 2

6. Discussie

Om ervoor te zorgen dat het onderzoek valide is, is ervoor gekozen om het onderzoek te focussen op vijftien schoolgebouwen die in de afgelopen jaren zijn gerealiseerd. Door reeds opgeleverde projecten te analyseren worden er geen verouderde werkmethoden gehanteerd. Hierdoor kunnen er aan projecten en gegevens dezelfde eisen worden gesteld, als aan de nieuwe producten.

Voor het onderzoek was er de gedachte dat de bouwschil makkelijk geoptimaliseerd kon worden. De vraag was alleen hoe. Aan de hand van dit onderzoek is het inderdaad gebleken dat er op veel punten nog veel te behalen valt in optimalisatie. Door de resultaten van het onderzoek ook daadwerkelijk toe te passen op eerder gerealiseerde schoolgebouwen werd het duidelijk hoeveel E-peil punten er nog te behalen vallen. Echter kan dit toegepast worden op meerdere schoolgebouwen. Voor dit onderzoek zijn er wegens tijd maar drie scholen opnieuw uitgewerkt. Deze kwamen alle drie met een positief resultaat, maar als de resultaten over meerdere scholen bekend zijn, kan er een betere conclusie worden getrokken.

Doordat de analyse van de gebouwen veel tijd in beslag nam, is de focus bij *Deelvraag 3* op de drie meest voorkomende types details gegaan. Dit was gedaan omdat deze de meeste invloed hadden op de EPB. Mocht er meer tijd zijn kan dit worden uitgebreid naar meerdere bouwknoottypes. Als er meerdere bouwknopen worden opgelost, wint STRABAG nog meer E-peil punten en worden de scholen duurzamer. Dit zou eventueel als een vervolg onderzoek kunnen dienen.

2. Opzet onderzoek

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bronnen van het onderzoek aangehaald en verder toegelicht. Hierin wordt ook een link aangegeven tussen de onderzoeksmethoden en de deelvragen zodat het onderzoek zelf beter te begrijpen is. Tevens wordt hier even kort ingegaan op de modellen waarop is getoetst.

2.1 Bronnen

Voor dit rapport is de hoofdbron www.energiesparen.be geweest. Via deze site staan alle gegevens voor de energieprestatie van België. Via deze bron kon er achterhaald worden aan welke regel- en wetgeving er moest worden voldaan bij nieuw te bouwen schoolgebouwen. Tevens hingen hier ook een aantal begrippen aan vast die in het volgende *Hoofdstuk 3 Energieprestatie van België*, worden toegelicht.

Tevens is er niet alleen een website gebruikt voor dit onderzoek, maar ook de database van STRABAG zelf is meerdere malen gebruikt voor informatie. Omdat het onderzoek voornamelijk over de vijftien reeds opgeleverde schoolgebouwen ging, werd de informatie uit de database van STRABAG gehaald. Aan de hand van de waarden en informatie die verkrijgbaar was, is er een analyse gemaakt van de scholen. Door te weten hoe STRABAG werkt kon het onderzoek hier op worden aangepast en worden vergeleken.

2.2 Methodes

In dit hoofdstuk wordt per deelvraag uitgelicht welk soort onderzoek werd gebruikt voor de aanpak van de deelvraag is aangepakt. Hierbij staat een korte omschrijving van de aanpak en hoe deze wordt toegepast. Daarnaast wordt er eerst kort aangegeven hoe de onderzoeksperiode eruitziet.

Deelvraag 1

"Wat is de energieprestatie van de bestaande schoolgebouwen gerealiseerd door STRABAG?"

Deze deelvraag is beantwoord aan de hand van een analyserend onderzoek. Hiervoor worden de vijftien schoolgebouwen geanalyseerd en opgelijst in tabelvorm. Aan de hand van het beschrijvende onderzoek in deze deelvraag konden de bestaande waarden van de scholen worden toegelicht. Tevens is hier ook onderzocht hoe de normering en regelgeving in België te werk gaat. Dit is ook aan de hand van het beschrijvende onderzoek vastgelegd.

Deelvraag 2

"Hoe kan STRABAG de bouwschil optimaliseren zodat er beter gescoord kan worden op de EPB?"

Door middel van het analyserend en het beschrijvend onderzoek voort te zetten in deze deelvraag konden er per de aangegeven zeven schoolgebouwen dieper worden ingegaan op de detaillering. Deze details werden geanalyseerd op problemen en eventuele misstappen. Door deze punten goed te beschrijven kan er beter worden ingegaan op de informatie die nodig is om door te gaan naar de volgende deelvraag.

Deelvraag 3

"Hoe kan de optimalisatie van de energieprestatie in de praktijk worden gerealiseerd?"

Aan de hand van de eerder gebruikte onderzoeksmethode is ook deze deelvraag opgelost door middel van een beschrijvend onderzoek. Hier zijn alle uitkomsten van de voorgaande deelvragen in verwerkt en toegepast. In dit rapport is ook gebruik gemaakt van nieuwe programma's die bekend waren in gebruik. Zo is er een EPB-programma gebruikt en het programma Trisco voor de warmtestroom.

6. Discussie

Om ervoor te zorgen dat het onderzoek valide is, is ervoor gekozen om het onderzoek te focussen op vijftien schoolgebouwen die in de afgelopen jaren zijn gerealiseerd. Door reeds opgeleverde projecten te analyseren worden er geen verouderde werkmethoden gehanteerd. Hierdoor kunnen er aan projecten en gegevens dezelfde eisen worden gesteld, als aan de nieuwe producten.

Vóór het onderzoek was er de gedachte dat de bouwschil makkelijk geoptimaliseerd kon worden. De vraag was alleen hoe. Aan de hand van dit onderzoek is het inderdaad gebleken dat er op veel punten nog veel winst te behalen valt in optimalisatie. Door de resultaten van het onderzoek ook daadwerkelijk toe te passen op eerder gerealiseerde schoolgebouwen werd het duidelijk hoeveel E-peil punten er nog te behalen vallen. Ook kan dit toegepast worden op meerdere schoolgebouwen. Voor dit onderzoek zijn er wegens tijdsgebrek maar drie scholen opnieuw uitgewerkt. Deze kwamen alle drie met een positief resultaat, maar als de resultaten over meerdere scholen bekend zijn, kan er een betere conclusie worden getrokken.

Doordat de analyse van de gebouwen veel tijd in beslag nam, is de focus bij *Deelvraag 3* op de drie meest voorkomende types details gegaan. Dit was gedaan omdat deze de meeste invloed hadden op de EPB. Mocht er meer tijd zijn kan dit worden uitgebreid naar meerdere bouwknoottypes. Als er meerdere bouwknopen worden opgelost, wint STRABAG nog meer E-peil punten en worden de scholen duurzamer. Dit zou eventueel als een vervolg onderzoek kunnen dienen.