



Vlaanderen
is materiaalbewust



KOSTENSTUDIE TOTEM

FINANCIËLE ANALYSE VAN MILIEU-IMPACT OPTIMALISATIES
VAN GEBOUWEN

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

OVAM.VLAANDEREN.BE

**SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER**

OVAM

KOSTENSTUDIE TOTEM

Financiële analyse van milieu-impact optimalisaties van gebouwen Publicatiedatum/18.05.2025

DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|--|--|
| 1 <i>Titel van publicatie:</i>
Kostenstudie TOTEM | 2 <i>Verantwoordelijke uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i> D/2025/5024/17 | 4 <i>Trefwoorden:</i>
TOTEM, kostenstudie, milieu-impact
optimalisatie, ereloonkosten, |
| 5 <i>Samenvatting:</i>
Dit rapport beschrijft de financiële impact op de bouwkost en de ereloonkost ten gevolge van de invoering van een TOTEM-verplichting bij nieuwbouw. | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 102 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i> 9 tabellen, 80 figuren |
| 8 <i>Datum publicatie:</i> 2025 | 9 <i>Prijs*:</i> / |
| 10 <i>Auteurs:</i>
Prof. Dr. Ir. Arch. Karen Allacker (KU Leuven),
Dr. Ir. Arch. Damien Trigaux (KU Leuven),
Dr. Ir. Arch. Evelien Verellen (KU Leuven),
Nathan Verstappen (KU Leuven),
Ir. Arch. Joost Declercq (archipelago),
Ir. Arch. Arnaud Vander Donckt (archipelago) | 11 <i>Contactpersonen:</i>
Elke Meex, Evi Rossi (OVAM) |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i> / | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden. U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: ovam.vlaanderen.be

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

Samenvatting.....	8
Abstract	12
Begrippenlijst.....	16
1. Projectbeschrijving.....	17
1.1 Situering	17
1.2 Doel van de studie	17
2. Voorstelling case studies.....	18
2.1 Halfopen woning SuFiQuaD	18
2.2 Appartementsgebouw SuFiQuaD	19
2.3 Schoolgebouw COZEB 3-EN2	20
2.4 Kantoorgebouw Belorta	20
3. Methodiek kostenberekening.....	21
3.1 Levenscycluskost	21
3.2 Huidige waarde en economische parameters	22
3.3 Energieverbruik en energiekosten	24
3.4 Restwaarde	24
3.5 Ereloonkosten	25
3.6 Geïmplementeerde gebouwelementen	28
4. Resultaten	29
4.1 Bouwkosten volgens "business as usual" (BAU)	29
4.1.1 Inleiding	29
4.1.2 Halfopen woning SuFiQuaD	30
4.1.3 Appartementsgebouw SuFiQuaD	33
4.1.4 Schoolgebouw COZEB 3-EN2	36
4.1.5 Kantoorgebouw Belorta	39
4.1.6 Conclusies	42
4.2 Restwaarde	43
4.2.1 Inleiding	43
4.2.2 Halfopen woning SuFiQuaD	43
4.2.3 Appartementsgebouw SuFiQuaD	44
4.2.4 Kantoorgebouw Belorta	44
4.2.5 Schoolgebouw COZEB 3-EN2	45
4.2.6 Conclusies	45
4.3 Ereloonkosten volgens "business as usual" (BAU)	45
4.3.1 Inleiding	45
4.3.2 Ereloonkosten ontwerp en werfopvolging	46
4.3.3 Ereloonkosten TOTEM modellering	46
4.4 Bouwkosten materiaaloptimalisatie	48

4.4.1	Inleiding	48
4.4.2	Methodologie materiaaloptimalisatie	48
4.4.3	Halfopen woning	49
4.4.4	Appartementsgebouw	51
4.4.5	Schoolgebouw	53
4.4.6	Kantoorgebouw	55
4.4.7	Conclusies	57
4.5	Ereloonkosten materiaaloptimalisatie	58
4.5.1	Inleiding	58
4.5.2	Ereloonkosten ontwerp en werfopvolging	58
4.5.3	Ereloonkosten TOTEM modellering	59
4.5.4	Conclusies	62
4.6	Bouwkosten ontwerptimalisatie	63
4.6.1	Inleiding	63
4.6.2	Methode ontwerptimalisaties	63
4.6.3	Halfopen woning	64
4.6.4	Schoolgebouw	70
4.6.5	Gevoeligheidsanalyse afwerkingsmaterialen	76
4.6.6	Gevoeligheidsanalyse glaspercentage	79
4.6.7	Conclusies	82
4.7	Ereloonkosten ontwerptimalisatie	82
4.7.1	Inleiding	82
4.7.2	Ereloonkosten ontwerp en werfopvolging	82
4.7.3	Ereloonkosten TOTEM modellering	84
4.7.4	Conclusies	86
4.8	Gevoeligheidsanalyse discontovoet	88
4.8.1	Inleiding	88
4.8.2	Resultaten	88
4.8.3	Conclusies	88
4.9	Gevoeligheidsanalyse afvalverwerking	89
4.9.1	Inleiding	89
4.9.2	Resultaten	89
4.9.3	Conclusies	90
5.	Conclusies kostenstudie.....	90
5.1	Bouwkosten	90
5.2	Erelonen	94
5.3	Kritische bedenkingen	95
6.	Aftoetsing resultaten met literatuur.....	96
6.1	Studies uit Nederland	96
6.2	VEKA kostenoptimale studies	98

7.	Aanbevelingen TOTEM.....	98
	Bibliografie.....	101
	Bijlage 1 werkdocumenten (digitaal).....	103
	Bijlage 2 materiaaloverzicht en hotspotanalyse (digitaal)	103

SAMENVATTING

Probleemstelling en doelstelling

Met de herziene EPBD-richtlijn van de Europese Commissie wordt een verplichting ingevoerd met betrekking tot de berekening van de levenscyclus CO₂-impact van gebouwen (European Union 2024). Deze verplichting geldt vanaf 2028 voor grote nieuwe gebouwen (> 1000 m²) en vanaf 2030 voor alle nieuwe gebouwen. Deze studie beoogt de toename in financiële kosten, zowel bouwkosten als ereloonkosten, als gevolg van deze nieuwe regelgeving te berekenen.

Methode

Vier casestudies worden geanalyseerd: een halfopen woning (< 1000 m²), een appartementsgebouw (> 1000 m²), een schoolgebouw (> 1000 m²) en een kantoorgebouw (> 1000 m²). Eerst worden de bouw- en ereloonkosten voor het huidige Business-As-Usual (BAU) scenario bepaald. Vervolgens worden de kosten voor verschillende optimalisatiescenario's berekend:

1. Materiaaloptimalisatie op basis van een hotspotanalyse (OPTIM 1)
2. Compactere ontwerpvariant (OPTIM 2)
3. Houtskeletvariant (OPTIM 3)
4. Biogebaseerde variant (OPTIM 4)
5. Combinatie van de compactere en de biogebaseerde variant (OPTIM 5)

De BAU- en OPTIM 1-scenario's worden voor alle vier gebouwen berekend, terwijl de andere scenario's alleen voor de woning en de school worden geanalyseerd. Toekomstige kosten worden geactualiseerd naar 2024 op basis van een reële discontovoet van 2%. Alle bouwkosten zijn exclusief technieken en vast meubilair, terwijl bij de berekening van de erelonen een vaste kost per m² wordt ingerekend voor de technieken en het vast meubilair, om een onderschatting van de erelonen te voorkomen.

Resultaten

BAU scenario

De vloeren zorgen voor de grootste impact bij de vier gebouwen, zowel qua financiële kosten als milieu-impact. De initiële fase (A1-A5) maakt een groot deel uit van de totale kosten en milieu-impact. Bij financiële kosten komen hier schoonmaak en onderhoud bij. Bij de milieu-impact heeft het energieverbruik tijdens de gebruiksduur ook een belangrijke bijdrage. De vervangingen zijn de derde grootste oorzaak van zowel de financiële kosten als de milieu-impact.

Het ereloon is opgesplitst in twee delen: ontwerp- en werfopvolging, en TOTEM-modellering. Het ereloon voor ontwerp en werfopvolging is afhankelijk van de investeringskost, complexiteit en grootte van het project. De ereloonkost per m² is redelijk gelijkaardig voor de vier cases. Het ereloon voor TOTEM-modellering weegt zwaarder bij de woning vanwege de relatief kleinere investeringskost.

OPTIM 1 - Materialen

Door de materiaalloptimalisatie kunnen aanzienlijke milieu-impact reducties worden gerealiseerd. De reducties van de totale milieuscore variëren van 20% in het schoolgebouw tot 29% in het appartementsgebouw. Het vervangen van isolatie- en binnenafwerkingsmaterialen resulteerde in grote reducties. Zonder het type constructie te veranderen waren de structurele elementen in veel gevallen al optimaal. Bij vergelijking met de levenscycluskosten blijkt dat voor sommige materialen de kosten dalen, terwijl ze voor andere stijgen. De totale levenscycluskosten stijgen in de vier casestudies, met een toename van 4% in het kantoorgebouw tot 24% in het appartementsgebouw.

De ereloonkosten voor het ontwerp en de werfopvolging volgen dezelfde trend als de investeringskost. Het ereloon voor de TOTEM-modellering ligt een stuk hoger voor de optimalisatie, aangezien er een hotspot-analyse en bijkomende modelleringen in TOTEM zijn gebeurd.

OPTIM 2 - Compact

Door de woning compacter te maken, daalt de milieu-impact en levenscycluskost van het gebouw sterk (-27% voor de milieu-impact en -25% voor de financiële kost). Per vierkante meter zijn deze milieu-impact en levenscycluskosten echter ongeveer gelijk met het BAU-scenario. De reden is de reductie van de vloeroppervlakte bij de compacte variant, waardoor de elementratio's stijgen. Dit benadrukt het belang om in TOTEM niet alleen de impact per m² te rapporteren, maar ook voor het hele gebouw. Bij de school bleef de bruikbare vloeroppervlakte constant, waardoor deze vaststelling zich hier niet voordoet. Bij de school zorgt compact bouwen voor een verlaging van de milieu-impact met 8% en een verlaging van de levenscycluskost met 6%.

De ereloonkost voor het ontwerp en de werfopvolging volgt dezelfde trend als de investeringskost. Het ereloon voor de TOTEM-modellering ligt slechts een beetje hoger voor de compacte variant. Er is bijkomend werk om de woning en de school compacter te ontwerpen en een beetje werk om de nieuwe hoeveelheden in te vullen in TOTEM.

OPTIM 3 - Hout

Door de structuur aan te passen naar een houtskeletstructuur, daalt de levenscyclusmilieu-impact van de woning met 20% en van de school met 18% per m². Dit resulteert bij de woning in een daling van de levenscycluskost van 13% en bij de school in een daling van 6%.

De ereloonkost voor ontwerp en de werfopvolging volgt dezelfde trend als de investeringskost en daalt voor de school met 3% en stijgt voor de woning met 4%. Het ereloon voor de TOTEM-modellering ligt hoger aangezien de woning en de school herontworpen moeten worden volgens een houtskeletbouw-systeem en vervolgens ook opnieuw gemodelleerd dienen te worden in TOTEM.

OPTIM 4 - Bio

In deze optimalisatie wordt de houtskeletvariant op basis van biogebaseerde materialen uitgewerkt. Dit leidt tot een reductie van de milieu-impact bij de school van 23% en bij de woning tot een reductie van 29% ten opzichte van het BAU-scenario, maar met een financiële meerkost van 9% voor de woning en 10% voor de school over de volledige levensduur.

De ereloonkost voor ontwerp en werfopvolging volgt dezelfde trend als de investeringskost. Bij de woning is er een stijging van 5% en bij de school van 2%. Het ereloon voor de TOTEM-modellering ligt hoger aangezien de woning en de school herontworpen moeten worden, zo veel mogelijk gebruik makend van biogebaseerde materialen, en vervolgens ook gemodelleerd moeten worden in TOTEM.

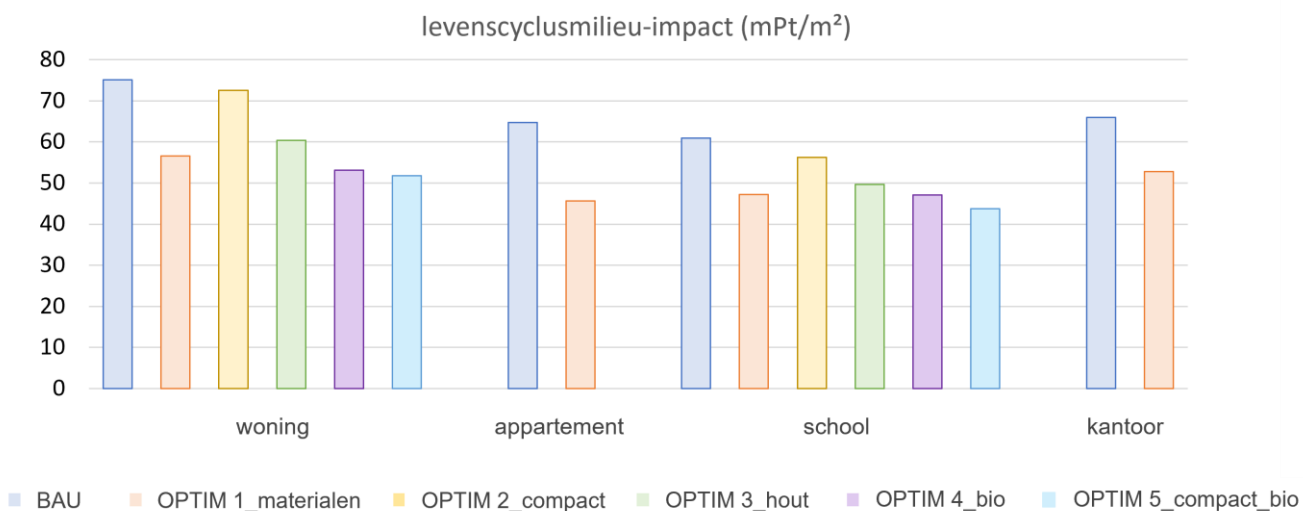
OPTIM 5 - Compact + Bio

Vanuit milieu-oogpunt levert de combinatie van compact bouwen en biogebaseerd bouwen het beste resultaat. Financieel gezien zou een betere uitkomst behaald worden door compact bouwen te combineren met de houtskeletvariant. Op gebouwniveau kan de milieu-impact met 28% (school) tot 31% (woning) worden verlaagd. De levenscycluskost van de woning stijgt met 11%, terwijl deze bij de school met 3% stijgt.

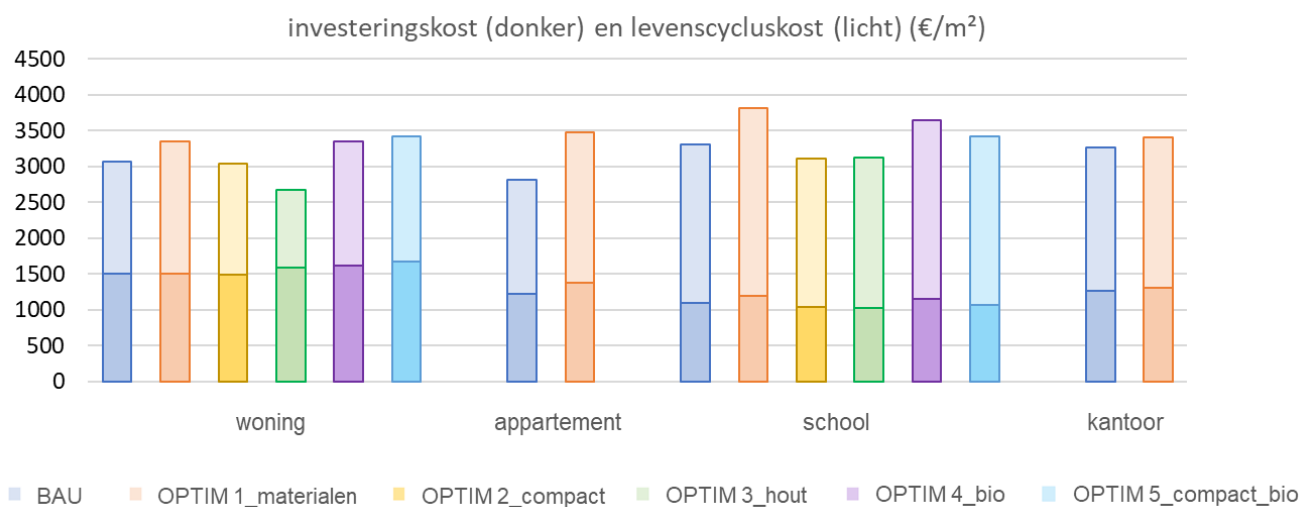
De ereloonkost voor het ontwerp en de werfopvolging ligt lager dan voor het BAU-scenario aangezien er compacter gebouwd wordt. De besparing hiervan is groter dan de stijging van de investeringskost door het gebruik van biogebaseerde materialen en resulteert in een daling van 19% bij de woning en van 1% bij de school. Het ereloon gekoppeld aan de TOTEM-modellering is gelijkaardig aan dat van de materiaaloptimalisatie in OPTIM1. Er moet namelijk op twee fronten geoptimaliseerd worden, compactheid en biogebaseerde materialen.

Conclusies

De studie toont aan dat door materiaal- en ontwerptoptimalisaties significante reducties (tot 30%) in de levenscyclus milieu-impact van gebouwen bereikt kunnen worden. Hoewel sommige strategieën leiden tot meerkosten, zijn er ook optimalisatiescenario's die tot reducties in investeringskosten en/of levenscycluskosten kunnen leiden. Dit benadrukt het belang om al in de vroege ontwerpfasen de milieu-impact en kosten van ontwerpbeslissingen af te wegen.



Levenscyclus milieu-impact van de verschillende optimalisatie-scenario's voor elk van de vier gebouwen



Investeringskost (donker) en levenscycluskost (licht) van de verschillende optimalisatie-scenario's voor elk van de vier gebouwen

ABSTRACT

Problem statement and objective

With the revised EPBD directive of the European Commission, a requirement is introduced regarding the calculation of the lifecycle CO₂ impact of buildings (European Union 2024). This requirement will be implemented in two phases: from 2028 for large new buildings (> 1000 m²) and from 2030 for all new buildings. The aim of this study is to calculate the increase in financial costs, including construction costs and design fees, resulting from this new regulation.

Methodology

Four case studies are analyzed: a semi-detached house (< 1000 m²), an apartment building (> 1000 m²), a school building (> 1000 m²), and an office building (> 1000 m²). First, the construction and design fees for the current Business-As-Usual (BAU) scenario are determined. Subsequently, the costs for various optimization scenarios are calculated:

1. Material optimization based on a hotspot analysis (OPTIM 1)
2. More compact design variant (OPTIM 2)
3. Timber frame variant (OPTIM 3)
4. Bio-based variant (OPTIM 4)
5. Combination of the compact and bio-based variant (OPTIM 5)

The BAU and OPTIM 1 scenarios are calculated for all four buildings, while the other scenarios are analyzed only for the house and the school. Future costs are updated to 2024 based on a real discount rate of 2%. All construction costs are calculated excluding techniques and fixed furniture, while for the calculation of design fees, a fixed cost per m² is included for techniques and fixed furniture to avoid underestimating the design fees.

Results

BAU scenario

The floors contribute the most to the overall impact in all four buildings, both in terms of financial costs and environmental impact. The initial phase A1-A5 constitutes a significant portion of both the environmental impact and financial costs. In terms of financial costs, cleaning and maintenance are significant contributors. For the environmental impact, energy consumption during the use phase also plays an important role. Replacements are the third largest cause of both financial costs and environmental impact.

The design fees are divided into two parts: design and site supervision, and TOTEM modeling. The fees for design and site supervision depend on the investment cost, complexity, and size of the project. The fee cost per m² is

relatively similar for the four cases. The fee for TOTEM modeling is more significant for the house due to the relatively smaller investment cost.

OPTIM 1 – Materials

Through material optimization, significant reductions in environmental impact can be achieved. The reductions in the total environmental score range from 20% in the school building to 29% in the apartment building. Replacing insulation and interior finishing materials resulted in large reductions. Without changing the type of construction, the structural elements were often already optimal.

When comparing lifecycle costs, some materials show a decrease in costs, while others increase. The total lifecycle costs increase in the four case studies, with a rise of 4% in the office building to 24% in the apartment building.

The fees for design and site supervision follow the same trend as the investment cost. The fee for TOTEM modeling is significantly higher for the optimization, due to the hotspot analysis and additional modeling in TOTEM.

OPTIM 2 – Compact

By making the house more compact, both the environmental impact and lifecycle cost of the building are significantly reduced (-27% for environmental impact and -25% for financial cost). However, per square meter, these environmental impacts and lifecycle costs are approximately equal to the BAU scenario. This is due to the reduction of floor area in the compact variant, causing element ratios to increase. This highlights the importance of reporting impact not only per m² in TOTEM but also for the entire building. For the school, the useful floor area remained constant, so this observation does not apply. Compact building reduces the environmental impact by 8% and the lifecycle cost by 6% for the school.

The fees for design and site supervision follow the same trend as the investment cost. The fee for TOTEM modeling is only slightly higher for the compact variant. Additional work is needed to design the house and school more compactly and to fill in the new quantities in TOTEM.

OPTIM 3 – Timber

By switching the structure to a timber frame, the lifecycle environmental impact of the house decreases by 20% and of the school by 18% per m². This results in a reduction of the lifecycle cost for the house by 13% and for the school by 6%.

The fees for design and site supervision follow the same trend as the investment cost, decreasing by 3% for the school and increasing by 4% for the house. The fee for TOTEM modeling is higher since the house and school need to be redesigned according to a timber frame construction system and then remodeled in TOTEM.

OPTIM 4 - Bio

This optimization refines the timber frame variant with bio-based materials. This leads to a reduction in environmental impact by 23% for the school and 29% for the house compared to the BAU scenario. However, there is a financial cost increase of 9% for the house and 10% for the school over the entire lifecycle.

The fees for design and site supervision follow the same trend as the investment cost, with an increase of 5% for the house and 2% for the school. The fee for TOTEM modeling is higher since the house and school need to be redesigned using as many biobased materials as possible, and then remodeled in TOTEM.

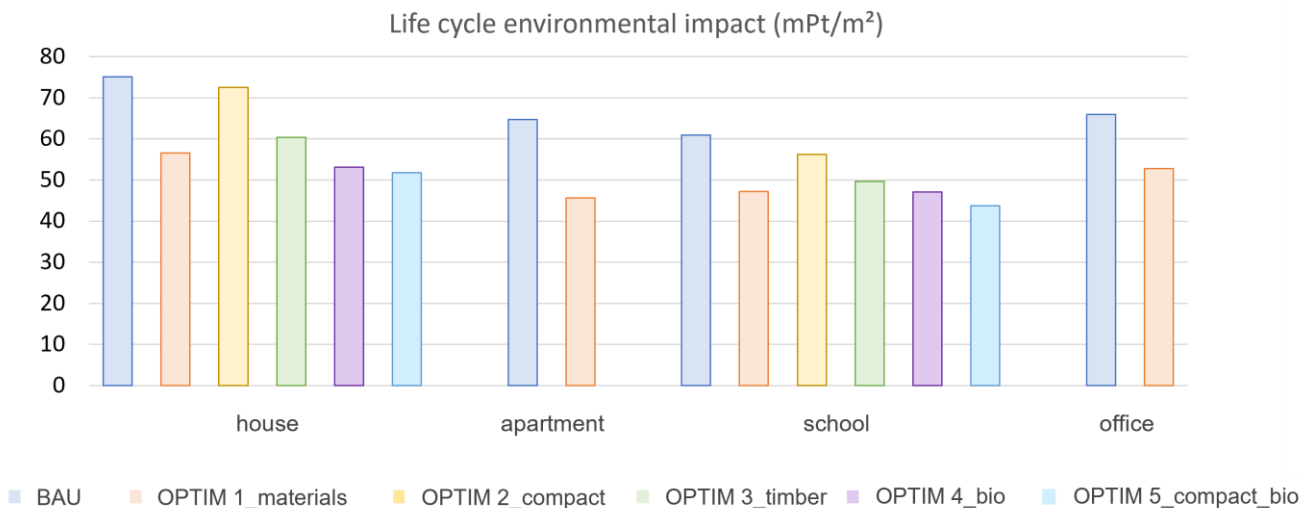
OPTIM 5 - Compact + Bio

From an environmental perspective, combining a compact design and bio-based construction yields the best results. Financially, a better outcome would be achieved by combining compact construction with the timber frame variant. At the building level, the environmental impact can be reduced by 28% for the school and 31% for the house. The lifecycle cost of the house increases by 11%, while that of the school increases by 3%.

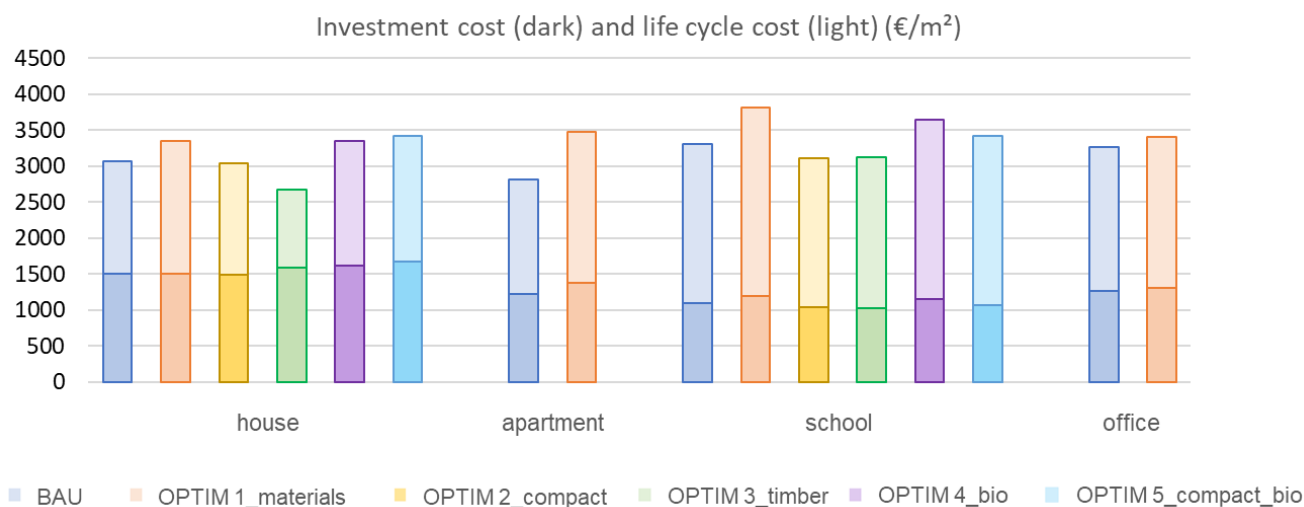
The fees for design and site supervision are lower than in the BAU scenario because of the more compact construction. The savings from this are greater than the increase in investment costs due to the use of biobased materials, resulting in a reduction of 19% for the house and 1% for the school. The fee associated with TOTEM modeling is similar to that of the material optimization in OPTIM 1, as optimizations are needed on two fronts: compactness and biobased materials.

Conclusions

The study demonstrates that through material and design optimizations, significant reductions (up to 30%) in the life cycle environmental impact of buildings can be achieved. While some strategies lead to increased costs, there are also optimization scenarios that can lead to reductions in investment costs and/or life cycle costs. This underscores the importance of considering environmental impact and costs of design decisions early in the design phases.



Life cycle environmental impact of the different optimization scenarios of the four buildings



Investment cost (dark) and life cycle cost (light) of the optimization scenarios of the four buildings

BEGRIPPENLIJST

Afkortingen:

- BAU = Business-as-usual
- GWP = Global Warming Potential (levenscyclus-CO₂ eq.-impact) = Indicator klimaatverandering
- LCA = Life Cycle Assessment (levenscyclusanalyse)
- LCC = Life Cycle Costing (levenscycluskost)
- mPt = millipunten (milieuscore in TOTEM)
- OPTIM = een geoptimaliseerde variant

Definities:

- De investeringskost/bouwkost: de initiële financiële bouwkost (levenscyclusfasen A1-A5), excl. erelonen
- De levenscycluskost: de financiële gebouwkosten over een levensduur van 60 jaar (levenscyclusfasen A1-A5, B2, B4, B6, C1-C4, zie Figuur 5)
- Restwaarde: de waarde die overblijft na 60 jaar afschrijving van de gebouwelementen.

1. PROJECTBESCHRIJVING

1.1 SITUERING

Recent werd de herziene EPBD-richtlijn goedgekeurd door de Europese Commissie (European Union 2024). Dit impliceert dat in de nabije toekomst de levenscyclus-CO₂-impact moet worden berekend en getoond op het energieprestatiecertificaat (uitkomst van de EPB-berekening). Deze nieuwe eis zal in twee stappen worden ingevoerd: 1) vanaf 2028 voor grote nieuwe gebouwen met een bruikbare vloeroppervlakte van meer dan 1000m² en 2) vanaf 2030 voor alle nieuwe gebouwen. Ook wordt er aan de lidstaten gevraagd om tegen 1 januari 2027 een roadmap met grenswaarden voor deze levenscyclus-CO₂-impact op te maken, startend vanaf 2030. Op termijn zullen er maximum grenzen worden opgelegd aan de levenscyclus-CO₂-impact. In België ontwikkelen en ondersteunen de drie gewesten (OVAM, Leefmilieu Brussel en SPW) sinds 2018 de rekentool TOTEM (Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials) (OVAM et al. 2025). Via TOTEM kan de levenscyclusimpact van gebouwen berekend worden, niet enkel voor de gevraagde indicator (CO₂ eq.) maar voor een uitgebreidere set van 19 milieu-impactindicatoren, gedefinieerd in de norm EN 15804+A2 (CEN 2019). Tot nu (2024) is het gebruik van TOTEM vrijwillig. Door de herziening van de EPBD-richtlijn zal waarschijnlijk de berekening van de levenscyclus-CO_{2eq}-impact via TOTEM verplicht worden vanaf 2028. Later zullen er ook grenswaarden gesteld worden. Deze opdracht betreft het opmaken van een kostenraming van deze nieuwe verplichtingen.

1.2 DOEL VAN DE STUDIE

Het doel van deze opdracht is het berekenen van de absolute en relatieve toename in de kosten, zowel bouwkosten als ereloonkosten, ten opzichte van het Business-As-Usual (BAU) scenario, wat overeenkomt met de huidige wetgeving.

Voor het berekenen van de bouwkosten houdt deze studie niet enkel rekening met de initiële investeringskost maar met alle kosten die gedurende de volledige levensduur van het gebouw (60 jaar) gemaakt worden. Deze levenscycluskosten omvatten de investeringskosten, onderhoudskosten, vervangingskosten, energiekosten en afbraakkosten. Daarnaast wordt ook de restwaarde van het gebouw meegenomen.

Nevenkosten zoals de opmaak van meer data/EPD's, het organiseren of volgen van opleidingen, het opzetten van een systeem voor controle en handhaving, ... worden niet meegenomen in deze studie.

De volgende **4 casestudies** worden doorgerekend in deze studie:

- 1 nieuwbouwwoning < 1000m²
- 1 nieuwbouw appartementsgebouw >1000m²
- 1 nieuwbouw schoolgebouw > 1000m²
- 1 nieuwbouw kantoorgebouw > 1000m²

De meerkost van de nieuwe regelgeving voor de burger/opdrachtgever worden berekend met volgende vier stappen:

Stap 1 (zie secties 4.1-4.3.2), **het BAU-scenario**, staat voor de raming van de bouwkosten en erelonen voor een burger/opdrachtgever die de cases laat bouwen zonder gebruik te maken van TOTEM.

Stap 2 (zie sectie 4.3.3) betreft een **kostenraming van het (meer)werk voor het maken van een TOTEM-berekening** door de architect en/of EPB-verslaggever. De bouwkosten blijven hierbij identiek aan stap 1. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de TOTEM-berekening gemaakt wordt door een architect en/of EPB-verslaggever met een gemiddeld niveau van ervaring in het gebruik van TOTEM.

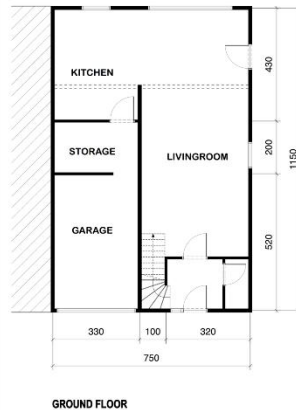
Stap 3 (zie secties 4.4-4.5) betreft de **kosten van de aanpassing van de materiaalkeuzes** met het oog op het verlagen van de milieu-impact, wat implicaties heeft op de erelonen (uitvoeren van de optimalisatie door de architect en/of EPB-verslaggever) alsook op de bouwkosten zelf (materiaalkosten, arbeidskosten, erelonen van de architect...). Stap 3 gaat om bijkomende kosten, los van stap 2. De materiaalsoptimalisatie wordt enkel met componenten doorgevoerd die in de TOTEM bibliotheek beschikbaar zijn. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de 80%-regel, zoals voorgesteld in het onderzoeksproject PEF for Buildings (VITO et al. 2018). Het basisprincipe is dat enkel elementen/componenten die samen 80% van de totale impact van het gebouw/element veroorzaken, worden geoptimaliseerd. De resultaten van de hotspotanalyse worden in Bijlage 2 gerapporteerd.

Stap 4 (zie secties 4.6-4.7) betreft de **kosten van ontwerptoptimalisaties** met het oog op het verlagen van de milieu-impact, wat implicaties heeft op de erelonen (uitvoeren van de optimalisatie door de architect en/of EPB-verslaggever) alsook op de bouwkosten zelf (materiaalkosten, arbeidskosten, erelonen van de architect...). De ontwerptoptimalisaties worden toegepast op twee casestudies, namelijk de nieuwbouwwoning en het schoolgebouw. Hierbij wordt er gefocust op 3 aspecten: het vergroten van de compactheid van het gebouw, het type constructie (houtskeletbouw i.p.v. massiefbouw) en het gebruik van biogebaseerde materialen.

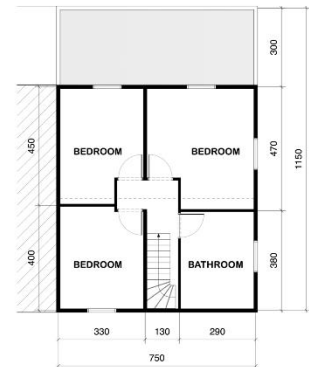
2. VOORSTELLING CASE STUDIES

2.1 HALFOPEN WONING SUFIQUAD

Deze woning (Figuur 1) maakt deel uit van de set representatieve gebouwen uit het SuFiQuaD onderzoekproject (Allacker 2010) en is ook opgenomen als voorbeeldgebouw in de TOTEM-bibliotheek ("SFH_Semi-detached_Solid_PE37_LIB_New"). Het gebouw is 144 m² groot en heeft twee verdiepingen. Dit gebouw heeft een massieve opbouw, met een betonnen vloer op volle grond, een verdiepingsvloer en plat dak met voorgespannen welfsels, een hellend dak met leien, muren met keramische snelbouwsteen en een afwerking in gevelmetselwerk, ramen in PVC en buitendeuren in aluminium. Hoewel het gebouw representatief is voor het bouwjaar 1991-2001, wordt het voor deze studie in lijn gebracht met de nieuwbouwnormen van 2025, op vlak van isolatie en technieken (lucht-water warmtepomp en ventilatiesysteem D met warmteterugwinning).



GROUND FLOOR

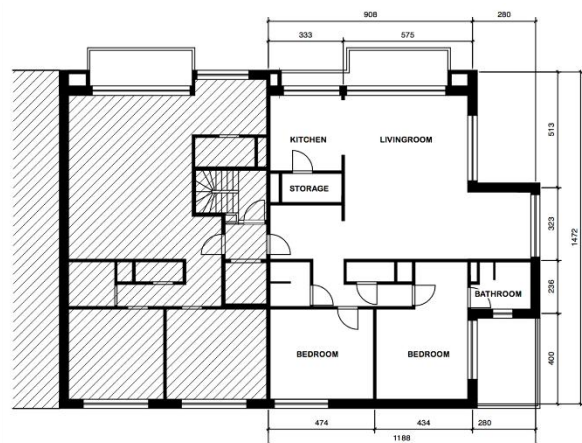


LEVEL 1

Figuur 1: Halfopen eengezinswoning uit het SuFiQuaD onderzoeksproject (Allacker 2010)

2.2 APPARTEMENTSGEBOUW SUFIQUAD

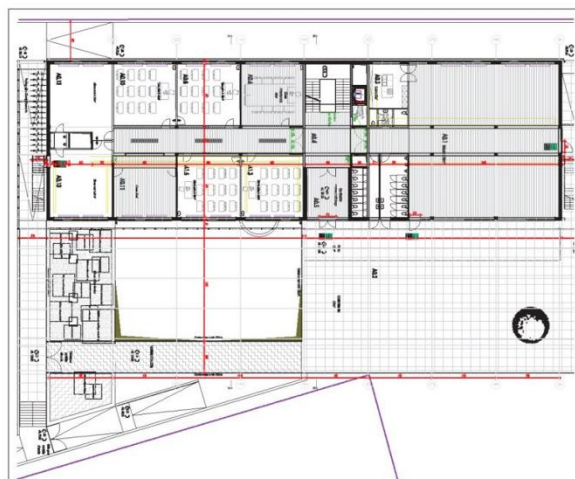
Dit appartementsgebouw (Figuur 2) maakt deel uit van de set representatieve gebouwen uit het SuFiQuaD onderzoeksproject (Allacker 2010) en is ook opgenomen als voorbeeldgebouw in de TOTEM-bibliotheek ("MFH_Apartment_Solid_PE41_LIB_New"). Het gebouw is 1042 m² groot, heeft 4 verdiepingen en bestaat uit een massieve constructie. Dit gebouw heeft een betonnen vloer op volle grond, een verdiepingenvloer en plat dak met voorgespannen welfsels, wanden met keramische snelbouwstenen en een gevelafwerking in gevelmetselwerk en ramen in PVC. Hoewel het gebouw representatief is voor het bouwjaar 1991-2001, wordt het voor deze studie in lijn gebracht met de nieuwbouwnormen van 2025, op vlak van isolatie en technieken (lucht-water warmtepomp en ventilatiesysteem D met warmteterugwinning).



Figuur 2: Appartementsgebouw uit het SuFiQuaD onderzoeksproject (Allacker 2010)

2.3 SCHOOLGEBOUW COZEB 3-EN2

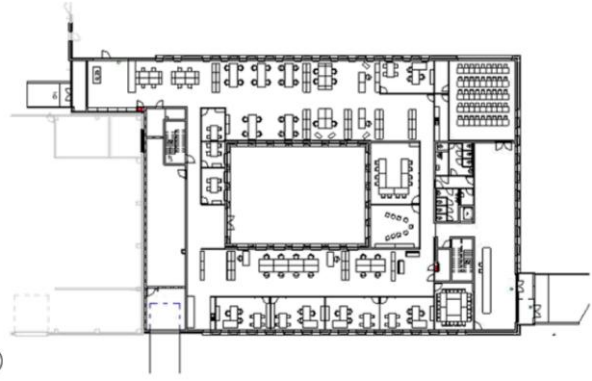
Het schoolgebouw (Figuur 3) is een casestudy van de Waalse kostenoptimalisatiestudie COZEB 3 (Objectif Zéro et al. 2023). Het gebouw is 3226 m² groot, heeft twee verdiepingen en werd na 2008 gebouwd. Het gebouw heeft een massieve constructie, met deels een betonnen vloerplaat op volle grond, deels een kelder met holle betonblokken, muren met holle betonblokken en een gevelafwerking met crepi, een verdiepingvloer en plat dak met voorgespannen welfsels, PVC ramen en stalen deuren. In deze studie wordt het verwarmingssysteem vervangen door een lucht-water warmtepomp, conform de Vlaamse nieuwbouwnormen voor 2025. Er wordt een ventilatiesysteem D met warmteterugwinning verondersteld.



Figuur 3: COZEB 3-EN2 Schoolgebouw (Objectif Zéro et al. 2023)

2.4 KANTOORGEBOUW BELORTA

Dit kantoorgebouw werd in 2014 gebouwd (ontwerper: archipelago architecten) (Figuur 4). Het gebouw is ongeveer 3000 m² groot en heeft twee verdiepingen met een centrale patio. Het gebouw bestaat uit een massieve constructie met een betonplaat op volle grond, verdiepingvloeren en een plat dak met voorgespannen welfsels, muren met betonpanelen en een afwerking in gevelsteen, een gordijngewel en aluminium schrijnwerk. Het kantoor wordt verwarmd met een condenserende gasketel. In deze studie wordt deze ketel vervangen door een lucht-water warmtepomp, in overeenstemming met de nieuwbouwnormen voor 2025. Het gebouw is ook voorzien van een koelinstallatie, klimaatplafond en een ventilatiesysteem D.



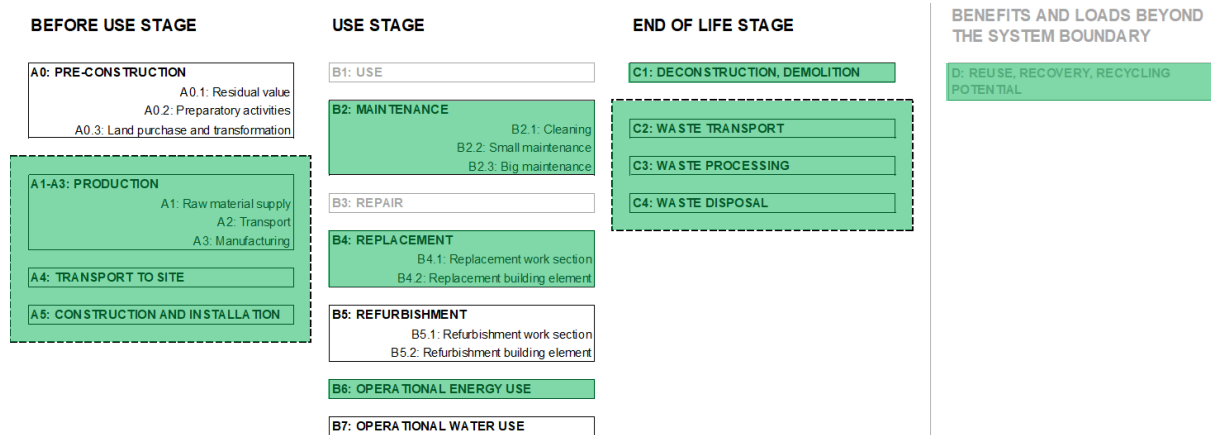
Figuur 4: Belorta kantoorgebouw (archipelago architecten 2014)

3. METHODIEK KOSTENBEREKENING

3.1 LEVENSCYCLUSKOST

De levenscycluskost wordt berekend conform de Europese norm EN 16627 “Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings” (CEN 2015). Een gedetailleerde beschrijving van de toegepaste methodologie kan gevonden worden in (Allacker 2010) en (Trigaux 2017). In deze studie worden de volgende levenscyclusfasen in rekening gebracht (Figuur 5): productie (modules A1-A3), transport naar de werf (module A4), constructie en installatie (module A5), onderhoud (module B2), vervangingen (module B4), operationeel energieverbruik (module B6), afbraak en deconstructie (module C1), afvaltransport (module C2), afvalverwerking (module C3) en afvalverwijdering (module C4), zie Figuur 5.

De restwaarde van het gebouw (module D) wordt afzonderlijk gerapporteerd. In tegenstelling tot de berekening van de milieu-impact, zijn kostendata niet altijd beschikbaar voor alle fasen afzonderlijk. Zo worden de investeringskosten (A1-A5) en de kosten aan het einde van de levensduur (C2-C4) enkel in geaggregeerde vorm gerapporteerd.



Figuur 5: Levenscyclusfasen van een gebouw (Trigaux 2017). De levenscyclusmodules aangeduid in groen worden in deze studie in rekening gebracht. Modules omgeven door stippellijnen zijn samengevoegd voor de LCC-berekeningen.

3.2 HUIDIGE WAARDE EN ECONOMISCHE PARAMETERS

Om toekomstige kosten met de huidige kosten te kunnen vergelijken, worden alle toekomstige kosten geactualiseerd naar het jaar van de investering (referentiejaar 2024). De huidige waarde (HW) van toekomstige kosten wordt berekend op basis van onderstaande formule (De Troyer 2007; Allacker 2010):

$$HW[K_t] = K_0 \left(\frac{1+g'}{1+d'} \right)^t$$

Met:

- $HW[K_t]$ = huidige waarde van een kost in jaar t (euro)
- K_0 = kost voor het referentiejaar (euro)
- g' = reële groeivoet (exclusief inflatie)
- d' = reële discontovoet (exclusief inflatie)

De economische parameters gebruikt in deze studie worden samengevat in Tabel 1. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** Deze parameters zijn gebaseerd op het standaard scenario gedefinieerd in het SuFiQuaD onderzoeksproject (Allacker 2010). Er wordt gerekend met een reële discontovoet van 2%. Om de impact van een kortetermijnvisie te beoordelen, wordt er in een gevoeligheidsanalyse een discontovoet van 4% beschouwd. Voor de materiaalprijzen wordt een groeivoet van 0% toegepast, er is dus geen extra prijsstename ten opzichte van de algemene inflatie. Voor de loonkosten wordt een groeivoet van 1% verondersteld. Wanneer er geen onderscheid kan gemaakt worden tussen materiaalkosten en loonkosten wordt een geaggregeerde groeivoet toegepast. Deze algemene reële jaarlijkse groeivoet binnen de bouwsector wordt 0,7% verondersteld (i.e. bovenop de algemene inflatie). Dit betekent dus dat verondersteld wordt dat deze kosten voor 30% bepaald

wordt door de materiaalprijzen en voor 70% door de loonkost. Tot slot, wordt er bij de energieprijzen gerekend met een groeivoet van 2%.

Tabel 1 Economische parameters, gebaseerd op (Allacker 2010)

Economische parameters	
Reële discontovoet	2% / 4% (sensitiviteitsanalyse)
Reële groeivoet materialen	0%
Reële groeivoet arbeid	1%
Reële groeivoet bouwsector	0,7%
Reële groeivoet energie	2%

De materiaal- en arbeidskosten voor de bouwcomponenten worden bepaald op basis van de ASPEN Index Regionale bouwkosten, editie 2020 (ASPEN 2020a; ASPEN 2020b). Wanneer kostendata ontbreken in de ASPEN-databank, worden deze aangevuld met de UPA-BUA Borderel van eenheidsprijzen, editie 2020 (UPA-BUA 2020). Dit zijn generieke databanken met marktgemiddelde prijzen voor gebouwen in Vlaanderen (en dus niet case specifiek). De voorkeur gaat naar dergelijke generieke databank in plaats van case specifieke kosten data voor een betere representativiteit. Kostendatabanken van 2020 worden in deze studie gebruikt om de invloed op lange termijn van de erg gestegen kosten sinds de coronapandemie en oorlog tussen Rusland en Oekraïne te vermijden. Deze kosten uit 2020 worden wel geactualiseerd naar 2024 met behulp van de ABEX-index (ABEX 2024). Deze steeg tussen 2020 en 2024 met een factor 1,24. Bij alle materiaalprijzen wordt met een BTW-tarief van 21% gerekend (nieuwbouw).

De kosten voor schoonmaak en onderhoud per m² gebouwelement worden bepaald op basis van het SuFiQuaD project (Allacker 2010). Aangezien deze kosten uit 2008 dateren, worden deze geïndexeerd op basis van de ABEX-index (ABEX 2024), d.w.z. een stijging met een factor 1,54 tussen 2008 en 2024. In SuFiQuaD wordt ervan uitgegaan dat de schoonmaak- en onderhoudswerkzaamheden door professionals worden uitgevoerd. Dit geeft een goede weergave voor niet-residentiële gebouwen, zoals kantoren en scholen, maar is eerder aan de hoge kant voor residentiële gebouwen waar vaak dienstencheques gebruikt worden of (een deel van) de schoonmaak door de bewoners zelf wordt uitgevoerd. Daarom werd er als ruwe schatting aangenomen dat de kosten voor schoonmaak bij residentiële gebouwen 50% lager zijn dan bij niet-residentiële gebouwen. Wat het BTW-tarief betreft, wordt een verlaagde BTW van 6% toegepast op onderhoud en vervangingen tijdens de hele levensduur voor residentiële gebouwen. Bij niet-residentiële gebouwen is het BTW-tarief 21% bij onderhoud en vervangingen.

De aannames voor de kosten voor de verwijdering van bouw- en sloofafval zijn gebaseerd op containerprijzen per ton voor verschillende afvalcategorieën, zoals gedefinieerd in het SuFiQuaD onderzoeksproject (Allacker 2010). Deze kosten worden geïndexeerd op basis van de ABEX-index (ABEX 2024), d.w.z. een stijging met een factor 1,54 tussen 2008 en 2024, zie Tabel 2. In hoofdstuk 4.9 wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de invloed van deze parameters te duiden.

Tabel 2 Geïndexeerde kosten voor bouw- en sloopafval, gebaseerd op (Allacker 2010)

Kosten bouw- en sloopafval		
Schoon inert afval (bakstenen en beton)	15,45	€/ton
Schoon inert afval (voornamelijk bakstenen) – inclusief niet gesorteerd gemengd afval	30,89	€/ton
Gemengd afval – niet gesorteerd	46,34	€/ton
Gevaarlijk afval, glas en verpakkingen	108,12	€/ton
Gesorteerd houtafval	77,23	€/ton
Metalen	0,00	€/ton
Gesorteerde kunststoffen om te recyclen	15,45	€/ton

3.3 ENERGIEVERBRUIK EN ENERGIEKOSTEN

Het energieverbruik voor verwarming wordt berekend met de equivalente graaddagenmethode (rekening houdend met 1200 equivalente graaddagen), zoals beschreven in de TOTEM methodologie (Trigaux et al. 2023). Gedetailleerde EPB-berekeningen van de verschillende gebouwvarianten vallen buiten het bereik van deze studie. Dit betekent dat het energieverbruik mogelijks onderschat wordt en geen rekening houdt met het energieverbruik voor koeling, warm water en hulpenergie. De materiaalloptimalisatie garandeert echter steeds een gelijkaardige energieprestatie en voldoet aan de norm voor nieuwbouw, en aangezien er geen optimalisatie van de technische installaties gebeurt, is de invloed van deze vereenvoudigde benadering op de conclusies beperkt.

Voor de berekening van de equivalente graaddagen worden alle gebouwen gesimuleerd met een lucht-water warmtepomp, een ventilatiesysteem D met warmteterugwinning en een luchtdichtheid (v_{50}) van $6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

Voor de energiekosten wordt er gerekend met de elektriciteitsprijs van september 2024 volgens de VREG (VREG 2024). Het BTW-tarief voor energie is 6%.

3.4 RESTWAARDE

De restwaarde van het gebouw na 60 jaar wordt afzonderlijk berekend en niet opgeteld bij de levenscycluskosten. De restwaarde bestaat uit alle bouwcomponenten met een levensduur langer dan 60 jaar. De levensduur van primaire lagen wordt 120 jaar verondersteld, wat overeenkomt met een restwaarde van 50%. Deze waarde wordt ook geactualiseerd met behulp van de huidige waarde-formule uit 3.2. Er wordt verondersteld dat de afwerkingsmaterialen na 60 jaar volledig zijn afgeschreven. De restwaarden van de vier casestudies wordt verder besproken in hoofdstuk 4.2.

3.5 ERELOONKOSTEN

De ereloonkosten fluctueren door de extra inspanningen om de gebouwen in TOTEM te modelleren, de materiaaloptimalisaties te onderzoeken, het ontwerp aan te passen en binnen TOTEM te modelleren. Deze aanpassingen zijn gericht op het verminderen van de milieu-impact van het ontwerp. Daarnaast zal de wijziging in investeringskosten ook invloed hebben op het ereloon van de verschillende studiebureaus of de architect, aangezien het ereloon – zoals in de praktijk gebruikelijk – wordt berekend als een percentage van de totale investeringskost.

Voor het bepalen van de ereloonkosten zijn enkele aannames gehanteerd. Er wordt verondersteld dat de taakomschrijving van de architect het volledige ontwerp- en uitvoeringsproces beslaat voor alle elementen die aan bod komen in de TOTEM-kostenstudie. Deze opdracht omvat de voorstudie, het opstellen van schetsen, het voorontwerp, het uitvoeringsdossier en het 'basisaanbestedingsdossier', het beoordelen van de ingediende offertes, en het toezicht en de controle op de uitvoering van de werken (Figuur 6).

Het onderzoek onderscheidt vier casestudies, waaronder een casus met uitsluitend een architect (woningbouw) en drie casussen waarbij een multidisciplinair team van studiebureaus wordt ingezet. Dit team bestaat uit:

- Architectenbureau
- Ingenieursbureau Stabiliteit
- Ingenieursbureau Technieken
- Interieurarchitect
- EPB-verslaggever
- Veiligheidscoördinator

Enkel de impact van de wijzigingen op de erelonen van de architect (en TOTEM-verslaggever indien dit niet de architect zelf is) worden onderzocht aangezien de erelonen van de andere studiebureaus buiten het bereik vallen van dit onderzoek en deze sterk projectafhankelijk zijn en dus moeilijk te veralgemenen.

De volgende bronnen worden gehanteerd voor het bepalen van de ereloonkosten:

- 1 Deontologische Norm nr. 2 (Orde van Architecten): deze norm vormt de ethische en professionele basis voor de ereloonberekening in architectuur en bouw. Hoewel deze niet meer opgelegd is aan architecten, wordt ze in de praktijk nog steeds als leidraad gehanteerd voor het vaststellen van de erelonen.
- 2 Ervaring van archipelago: ervaringen van professionals in vergelijkbare bouwprojecten bieden inzichten voor een realistische en onderbouwde inschatting van de honoraria.

Bedrag van de vermoedelijke of de totale werkelijke onkosten berekend in opeenvolgende schijven	1ste schijf van 0 tot 75.000 EURO	2de schijf 75.000 tot 225.500 EURO	3de schijf 225.500 tot 750.000 EURO	4de schijf 750.000 tot 1.875.000 EURO	5de schijf 1.875.000 tot 7.500.000 EURO	6de schijf daarboven
1ste Categorie						
Voorontwerp	1,20	1,10	1,00	0,90	0,90	0,80
Uitvoeringsontwerp	1,80	1,65	1,50	1,35	1,35	1,20
Bestek	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Uitslagtekeningen	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Toezicht-Oplevering	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	0,80
Nazicht der rekeningen	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
Berekeningsvoet	6,00%	5,50%	5,00%	4,50%	4,25%	4%
2de Categorie						
Voorontwerp	1,40	1,30	1,20	1,10	1,10	1,00
Uitvoeringsontwerp	2,10	1,95	1,80	1,65	1,65	1,50
Bestek	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50
Uitslagtekeningen	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50
Toezicht-Oplevering	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00	1,00
Nazicht der rekeningen	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50
Berekeningsvoet	7,00%	6,50%	6,00%	5,50%	5,25%	5,00%
3de Categorie						
Voorontwerp	1,60	1,50	1,40	1,30	1,30	1,20
Uitvoeringsontwerp	2,40	2,25	2,10	1,95	1,95	1,80
Bestek	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,60
Uitslagtekeningen	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,60
Toezicht-Oplevering	1,60	1,50	1,40	1,30	1,20	1,20
Nazicht der rekeningen	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,60
Berekeningsvoet	8,00%	7,50%	7,00%	6,50%	6,25%	6,00%
4de Categorie a), b), c)						
Voorontwerp	2,40	2,20	2,00	1,80	1,60	1,60
Uitvoeringsontwerp	3,60	3,30	3,00	2,70	2,70	2,40
Bestek	1,20	1,10	1,00	0,90	0,90	0,80
Uitslagtekeningen	1,20	1,10	1,00	0,90	0,90	0,80
Toezicht-Oplevering	2,40	2,20	2,00	1,80	1,60	1,60
Nazicht der rekeningen	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	0,80
Berekeningsvoet	12,00%	11,00%	10,00%	9,00%	8,50%	8,00%
4de Categorie d) en e)						
Voorontwerp	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	0,80
Uitvoeringsontwerp	3,60	3,30	3,00	2,70	2,55	2,40
Bestek	1,20	1,10	1,00	0,90	0,85	0,80
Uitslagtekeningen	2,40	2,20	2,00	1,80	1,80	1,60
Toezicht-Oplevering	2,40	2,20	2,00	1,80	1,70	1,60
Nazicht der rekeningen	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	0,80
Berekeningsvoet	12,00%	11,00%	10,00%	9,00%	8,50%	8,00%
5de Categorie						
Voorontwerp	1,50	1,35	1,20	1,05		0,90
Uitvoeringsontwerp	4,50	4,05	3,60	3,15		2,70
Bestek	1,50	1,35	1,20	1,05		0,90
Uitslagtekeningen	3,00	2,70	2,40	2,10		1,80
Toezicht-Oplevering	3,00	2,70	2,40	2,10		1,80
Nazicht der rekening	1,50	1,35	1,20	1,05		0,90
Berekeningsvoet	15,00%	13,50%	12,00%	10,50%		9,00%

Figuur 6: Erelonen volgens de Deontologische norm nr.2 in functie van de complexiteit (categorie) van het project. (Orde van Architecten)

Er wordt gewerkt met een vork voor het bepalen van de erelonen voor het architectenbureau. De ondergrens van de vork is het percentage dat wordt berekend op basis van de 'Deontologische Norm nr.2', wat overeenkomt met een competitieve prijs. De bovengrens is bij de verschillende projecten gesteld op 8%, wat overeenkomt met een courant ereloonpercentage. Om de erelonen te berekenen, is er bovenop de berekende financiële investeringskosten (A1-A5) een extra kost per m² voor de installaties en het vast meubilair toegevoegd (per type gebouw) om zo een totale bouwkost te verkrijgen. Deze extra kost werd bepaald op basis van actuele gegevens uit voltooide en lopende projecten van archipelago. Eens deze totale bouwkost is berekend, wordt het percentage ereloon vastgelegd zoals hierboven beschreven. De volgende ereloonpercentages worden gehanteerd voor de vier cases:

- Woning:
 - Ondergrens: 6,88¹(gemiddelde in functie van de bouwkost bij categorie 2)
 - Bovengrens: 8% voor architect
- Appartementsgebouw:
 - Ondergrens: 6,91% (gemiddelde in functie van de bouwkost bij categorie 3)
 - Bovengrens: 12% voor bouwteam (waarvan 8% voor architectuur).
- School:
 - Ondergrens: 6,41% (gemiddelde in functie van de bouwkost bij categorie 3)
 - Bovengrens: 12% voor bouwteam (waarvan 8% voor architectuur).
- Kantoor:
 - Ondergrens: 6,39% (gemiddelde in functie van de bouwkost bij categorie 3)
 - Bovengrens: 12% voor bouwteam (waarvan 8% voor architectuur).

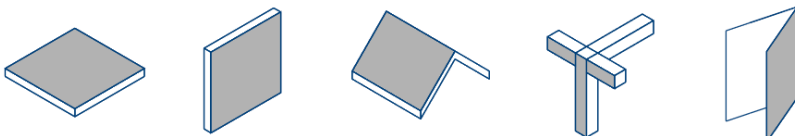
Voor het bepalen van de erelonen gelinkt aan de TOTEM-studie is een uurvergoeding in regie verondersteld. Aangezien de modellering en analyse in TOTEM afhangt van de complexiteit van het project en het aantal verschillende materialen en element-opbouwen dat voorkomt in het project is het moeilijker te linken aan een bouwkost. De uurvergoeding bij grotere bureaus ligt doorgaans hoger aangezien deze bureaus meer 'overhead'-kosten hebben. Voor het ontwerp van de woning is uitgegaan van één architect. Voor het appartementsgebouw is uitgegaan van een klein tot middelgroot architectenkantoor (1 tot max. 50 werknemers). Voor de school en het kantoorgebouw is uitgegaan van een groot architectenkantoor (meer dan 50 werknemers). Indien een EPB-verslaggever een deel van de studie uitvoert, worden gelijkaardige uurvergoedingen ingerekend. De volgende erelonen in regie worden gehanteerd voor de vier cases (al deze prijzen zijn exclusief BTW.):

- Woning: 75 - 95 euro per uur
- Appartementsgebouw: 90 - 110 euro per uur
- School: 100 - 110 euro per uur
- Kantoor: 100 - 110 euro per uur

¹ Berekening gemiddelde ereloon: de bouw van de woning kost 215.230€. De complexiteit is categorie 2. Ereloon van 7% tot 75.000 € (schijf 1), ereloon van 6,5% tot 225.500€ (schijf 2). Dit geeft een gemiddelde van $6,68\% = (75.000 \times 0,07 + (215.230 - 75.000) \times 0,065) / 215.230$

3.6 GEÏMPLEMENTEERDE GEBOUWELEMENTEN

De gebouwelementen die in deze studie worden beschouwd, worden weergegeven in Figuur 7. Alle ruimtescheidende elementen worden meegenomen, d.w.z. vloeren, wanden, daken, structurele elementen en openingen. Vast meubilair en technische installaties worden niet beoordeeld, aangezien de TOTEM componentenbibliotheek voor deze elementen nog vrij beperkt is en deze ook geen deel zullen uitmaken van de materiaaloptimalisatie. Om realistische erelonen te bekomen, wordt in alle ereloonberekeningen van de bouwkost de prijs per m² verhoogd met een vaste m²-kost voor installaties en vast meubilair, zie Tabel 3. Deze forfaitaire kost werd voor elk van de typologieën ingeschat door archipelago op basis van eerdere projecten, waarbij meetstaten van gelijkaardige projecten naast elkaar werden vergeleken en geïndexeerd. Ook bij het bepalen van de financiële impact van een TOTEM-berekening en -optimalisatie wordt deze forfaitaire m²-kost voor installaties en vast meubilair toegepast.



	Building elements according to CI-SfB classification (Ray-Jones and Clegg 1978)																												
	(1-) Substructure	(13) Floors on grade	(16) Retaining walls, foundations	(2-) Structure – primary elements	(21) External walls	(22) Internal walls	(23) Storey floors	(24) Stairs, ramps	(27) Roofs	(28) Frames	(3-) Structure – secondary elements	(31) Windows, external doors	(32) Internal doors	(4-) Finishes	(5-) Piped services	(52) Waste disposal, drainage	(53) Water supply	(54) Gas supply	(55) Space cooling	(56) Space heating	(57) Air conditioning, ventilation	(6-) Electrical services	(61) Electrical system	(63) Lighting	(64) Communications	(66) Transport	(7-) Fittings, fixed furniture	(8-) Loose furniture	(9-) External elements
TOTEM		X	X		X	X	X		X	X		X	X	X		X				X	X								X

Figuur 7: Overzicht van gebouwelementen in TOTEM, volgens de CI-SfB classificatie (Ray-Jones and Clegg 1978). De elementen aangeduid in groen worden meegenomen in deze studie

Tabel 3 Forfaitaire toeslag per m² voor installaties en vast meubilair bij de berekening van de erelonen

Forfaitaire toeslag per m ² voor installaties en vast meubilair		
Halfopen woning	750	€/m ²
Appartement	850	€/m ²
School	1300	€/m ²
Kantoorgebouw	1300	€/m ²

4. RESULTATEN

4.1 BOUWKOSTEN VOLGENS "BUSINESS AS USUAL" (BAU)

4.1.1 Inleiding

De levenscycluskost berekening wordt gemaakt met dezelfde systeemgrenzen en levenscyclusscenario's als voor de milieu-impact berekening in TOTEM om consistentie tussen bouwkost en milieu-impact te garanderen. Voor deze berekening wordt de MMG+_KULEuven tool gebruikt, zoals beschreven in (Trigaux 2017). Dit is een Excel-gebaseerde tool die toelaat om zowel de levenscyclus financiële kost alsook de levenscyclus milieu-impact van gebouwen in lijn met TOTEM te berekenen. De algoritmes in de tool zijn zo opgesteld dat alle aannames wat betreft levenscyclusfasen voor de milieu-impact en kostenberekening identiek zijn. De tool berekent de huidige waarde (via het actualiseren van toekomstige kosten) van alle levenscycluskosten, rekening houdend met groeiende energieprijzen, groeiende prijzen voor bouwmaterialen en lonen.

De bouwkostenberekening bestaat uit volgende drie stappen voor de vier cases:

Stap 1: Ingeven van het gebouwmodel in de MMG+_KULEuven tool. In deze stap worden de gebouwen manueel overgezet van TOTEM naar de MMG+_KU Leuven tool. Hierbij worden de milieu-impact resultaten vergeleken met de TOTEM-resultaten als validatiestap.

Stap 2: Opzoeken en ingeven van de kostengegevens voor de verschillende elementen. De kostengegevens voor de vier BAU-cases worden opgezocht en ingegeven in de MMG+_KULEuven tool.

Stap 3: Visualisering van de bouwkosten in staafdiagrammen. De MMG+_KULEuven tool laat toe om de kosten te visualiseren per hoofdelementcategorie (vloeren, wanden, daken, structurele elementen en openingen) en per levenscyclusfase zoals aangeduid in Figuur 5. De resultaten worden vergeleken met de milieu-impactresultaten om gelijkenissen en verschillen in kaart te brengen. Voor de levenscyclus milieu-impact wordt de bijdrage van de verschillende milieu-impactindicatoren ook gevisualiseerd in een afzonderlijk staafdiagram.

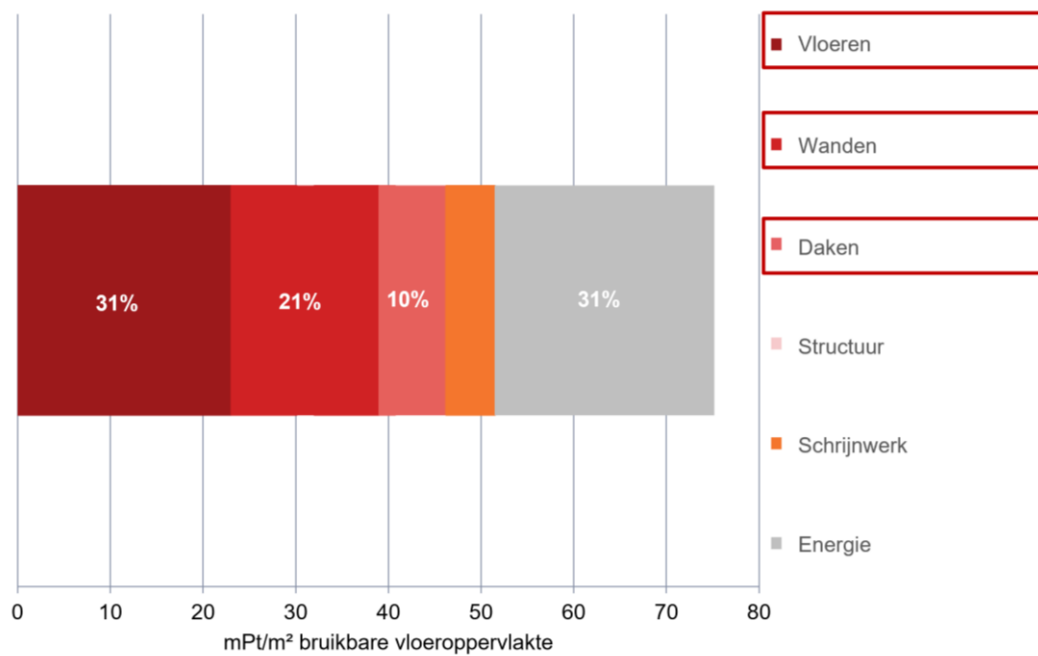
De bijhorende ereloonkosten worden berekend in 4.3.

4.1.2 Halfopen woning SuFiQuaD

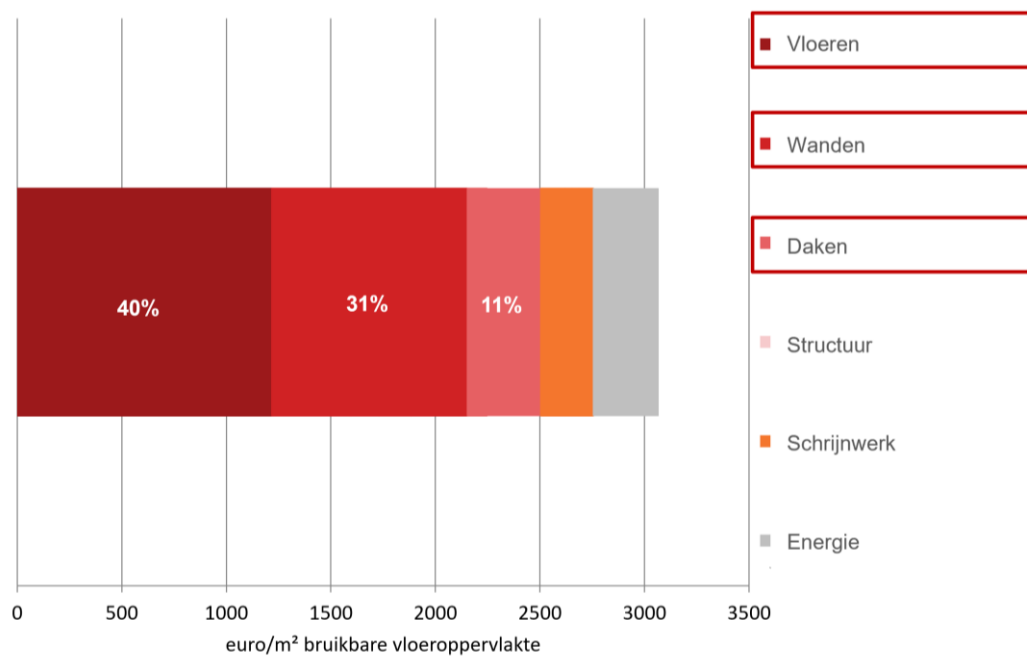
De levenscyclusimpact en -kost van de halfopen woning worden weergegeven in Figuur 8. Het valt op dat de hotspots (elementen die bijdragen tot 80% van de kost / milieu-impact) heel gelijkaardig zijn bij de milieu-impact en de financiële kost (Figuur 9), namelijk vloeren, wanden en daken. Vooral de afwerkingsmaterialen van deze elementen hebben een grote impact/kost.

Bij de levenscyclusfasen zijn de meest impactvolle fasen niet gelijk voor de milieu-impact en de financiële kost (zie Figuur 10). In beide gevallen heeft de fase A1-A5 een groot aandeel (50% en 49% resp.), maar bij de financiële kost ligt de kost voor schoonmaak en klein onderhoud (29%) beduidend hoger dan bij de milieu-impact. Bij de milieu-impact heeft het operationeel energieverbruik dan weer de tweede grootste impact (31%). Er moet hierbij opgemerkt worden dat het energieverbruik berekend wordt door middel van de equivalente graaddagen-methode. Deze vereenvoudigde methode vormt een onderschatting vergeleken met de gedetailleerde methode op basis van EPB (OVAM et al. 2025). Verder zorgen de vervangingen voor de derde grootste impact voor zowel de milieu-impact als de financiële kost (10% en 11% respectievelijk).

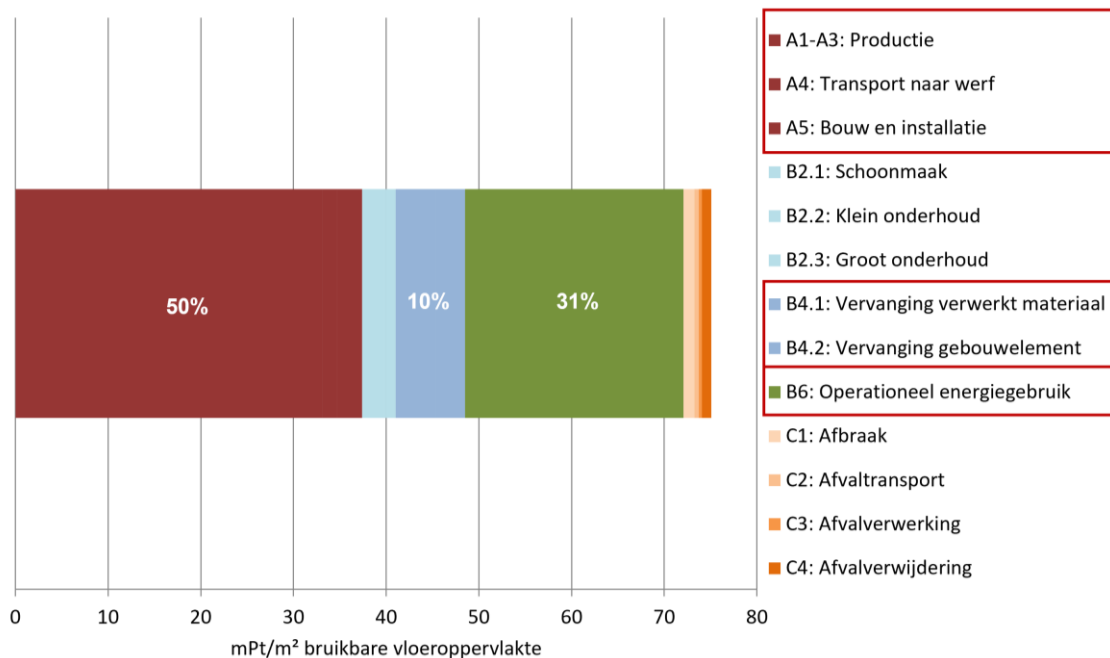
De voornaamste milieu-indicatoren bij de woning zijn uitputting van grondstoffen (28%), klimaatverandering (25%), fijnstof (19%) en ecotoxiciteit (8%) (zie Figuur 12).



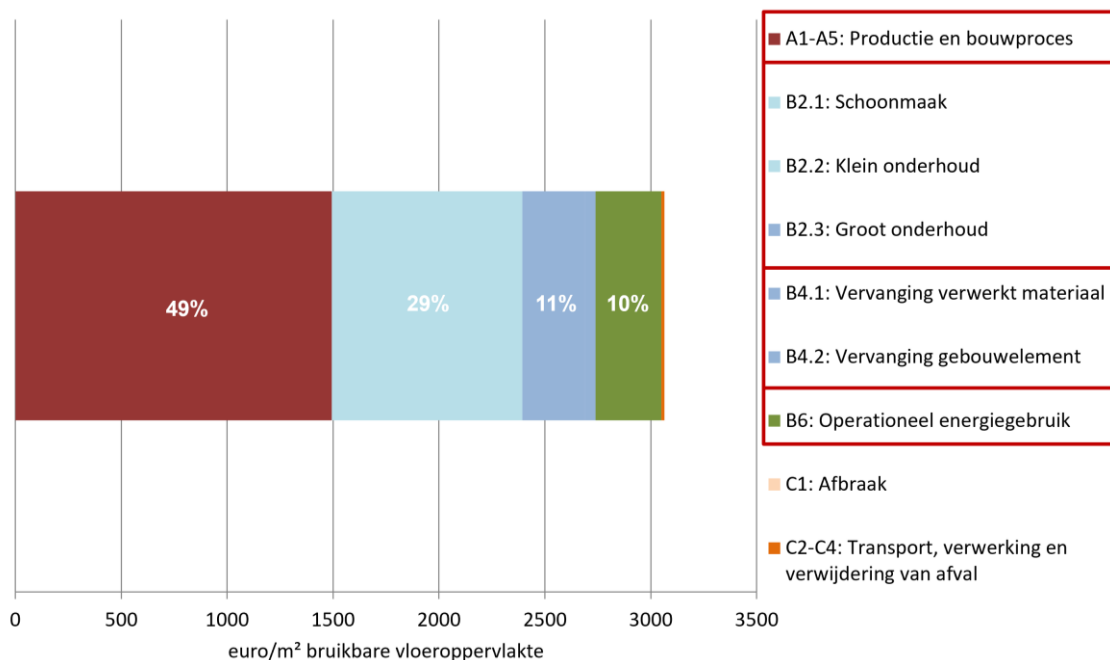
Figuur 8: Levenscyclusimpact van de halfopen woning opgedeeld per element



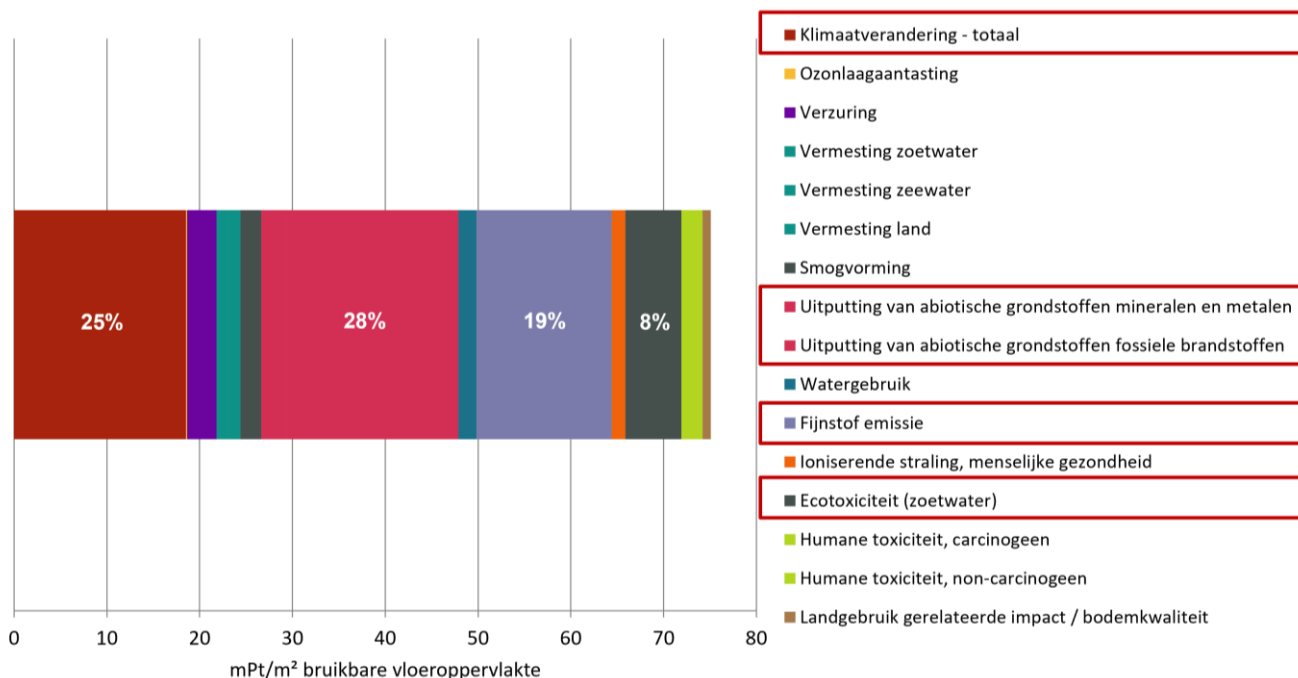
Figuur 9: Levenscycluskost van de halfopen woning opgedeeld per element



Figuur 10: Levenscyclusimpact van de halfopen woning opgedeeld per levenscyclusfase



Figuur 11: Levenscycluskost van de halfopen woning opgedeeld per levenscyclusfase



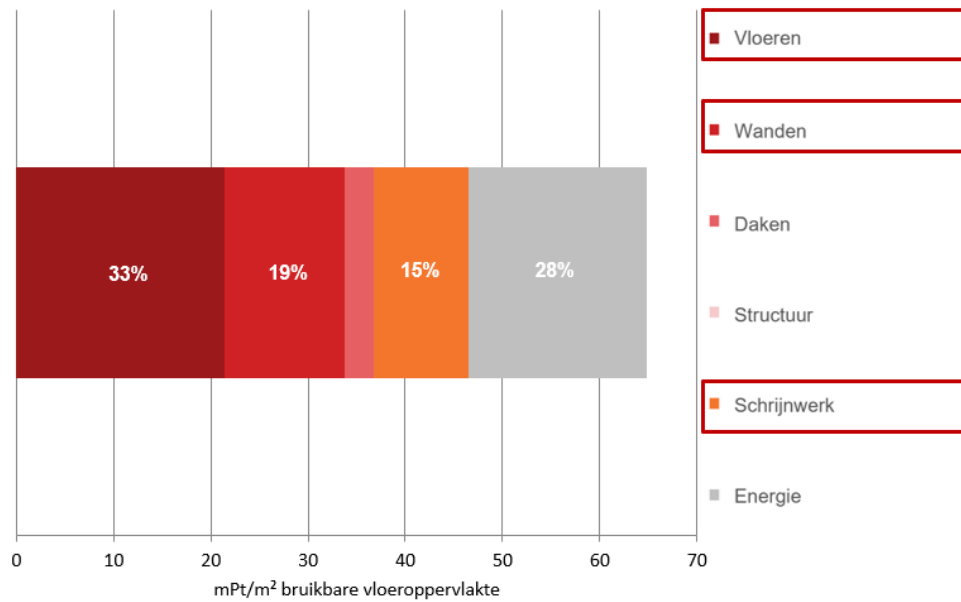
Figuur 12: Levenscyclusimpact van de halfopen woning opgedeeld per milieu-indicator

4.1.3 Appartementencomplex SuFiQuaD

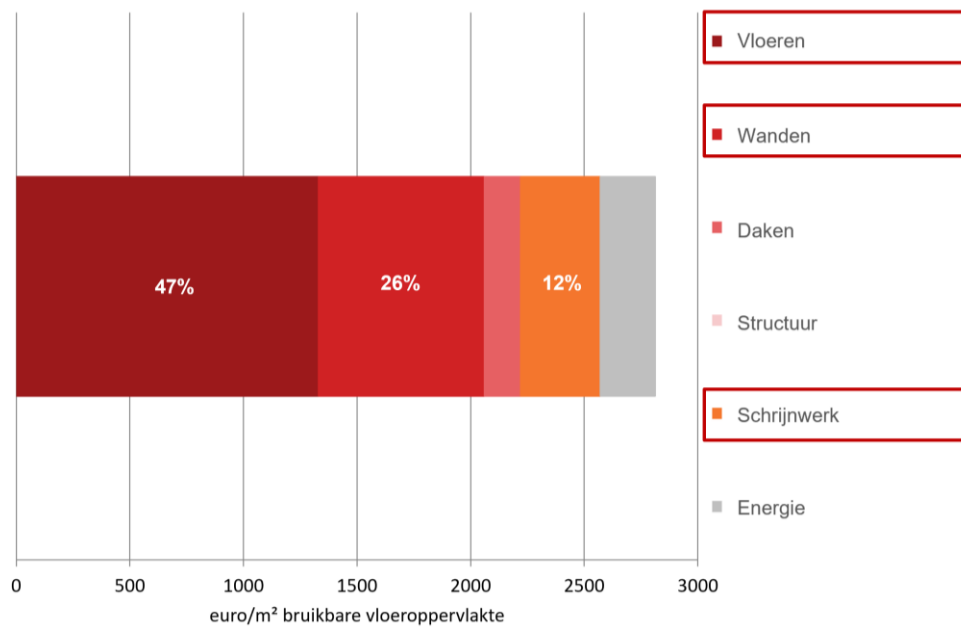
De levenscyclusimpact en -kost van het appartementencomplex worden weergegeven in Figuur 13 en Figuur 14. De vloeren, wanden en openingen hebben de hoogste bijdragen bij zowel de milieu-impact (33%, 19% en 15% resp.) als de financiële kost (47%, 26% en 12% resp.).

Uit Figuur 15 en Figuur 16 blijkt dat zowel voor de milieu-impact als de financiële kost de initiële fase A1-A5 een groot aandeel (48% en 43% resp.) heeft. Bij de financiële kost wordt dit gevolgd door de kost voor schoonmaak en klein onderhoud (35%), bij de milieu-impact door het operationeel energieverbruik (28%). In beide gevallen zorgen vervangingen voor de derde grootste impact (15% bij de milieu-impact, 12% bij de financiële kost).

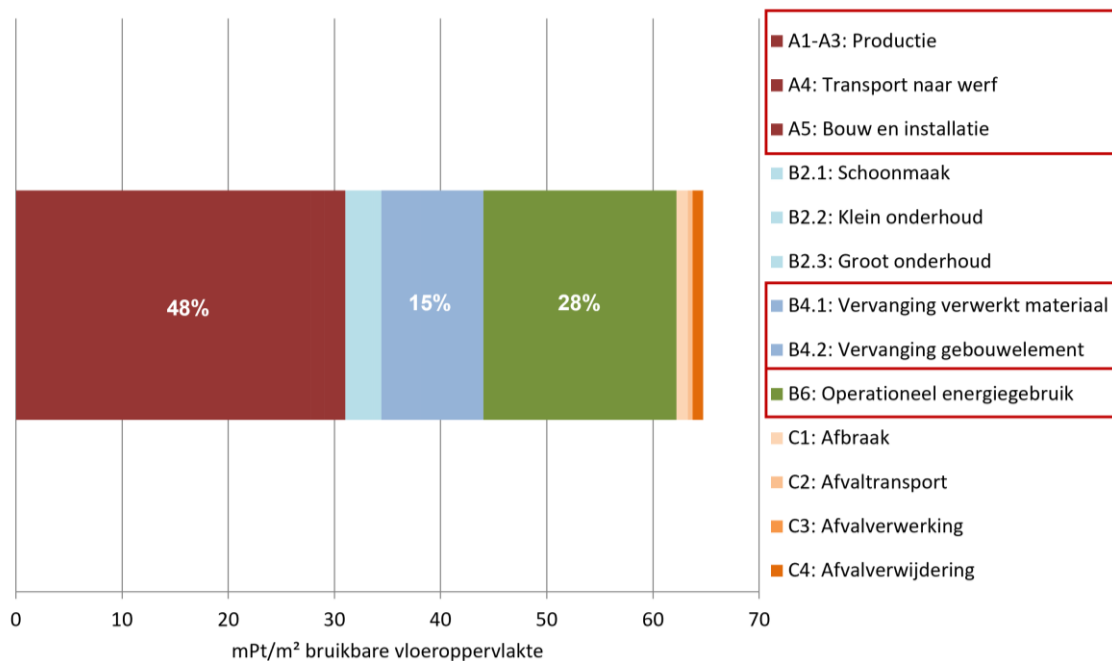
De voornaamste milieu-indicatoren bij het appartementencomplex zijn uitputting van grondstoffen (29%), klimaatverandering (25%), fijnstof (18%) en ecotoxiciteit (9%) (Figuur 17).



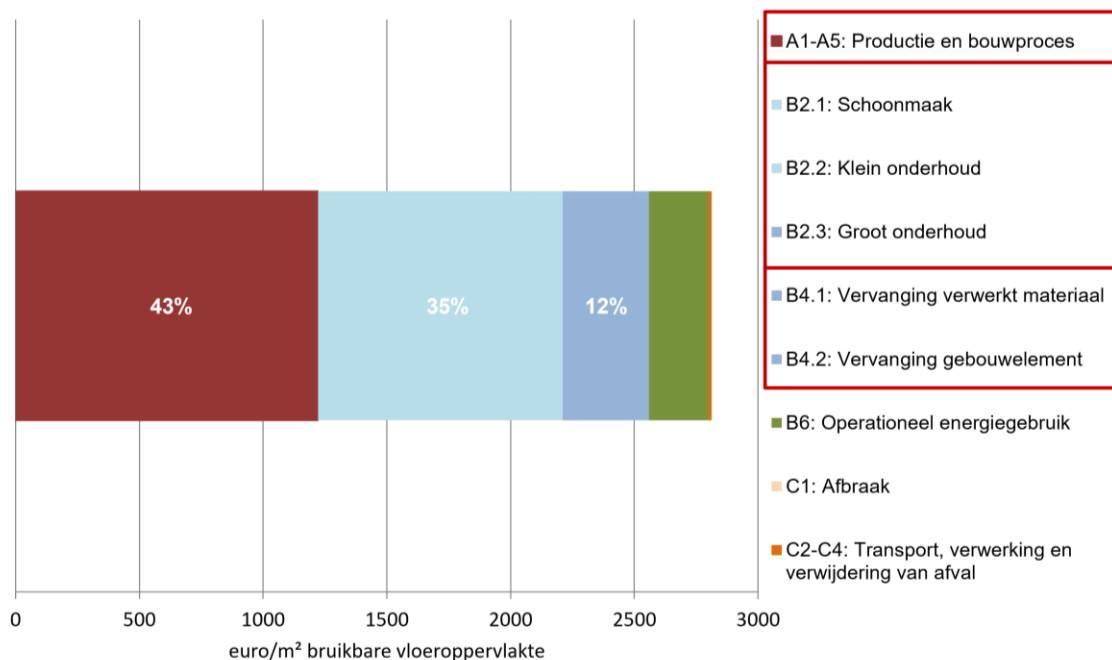
Figuur 13: Levenscyclusimpact van het appartementsgebouw opgedeeld per element



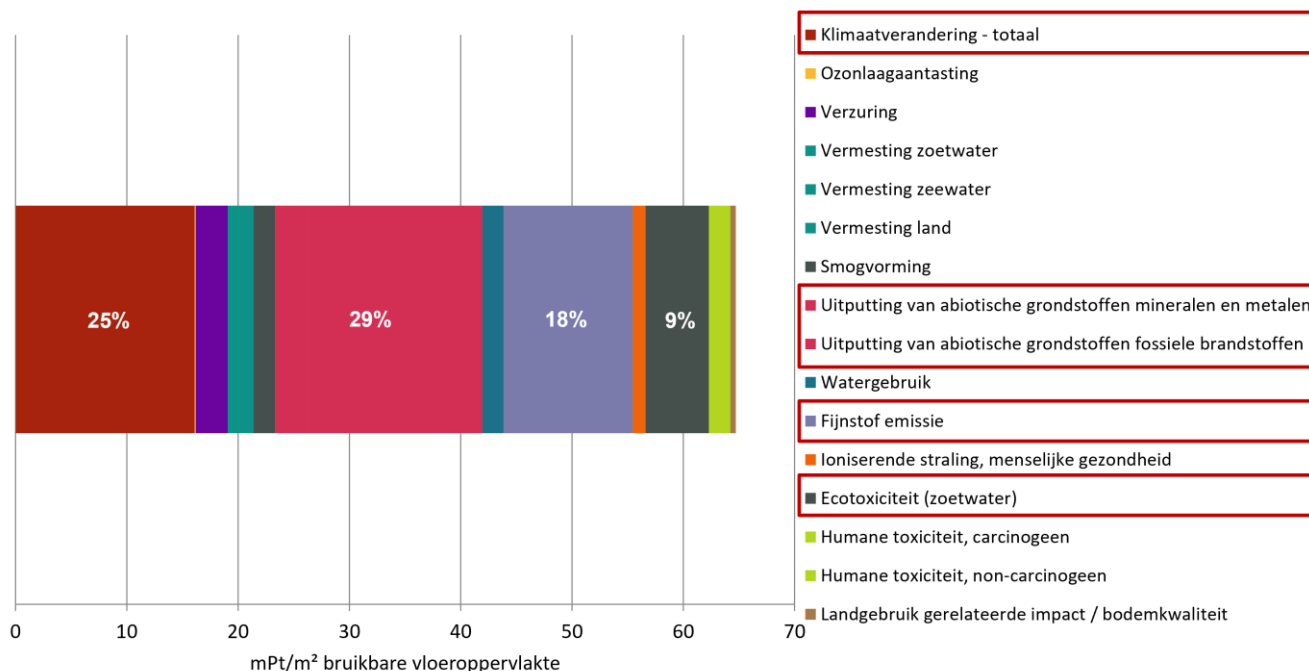
Figuur 14: Levenscycluskost van het appartementsgebouw opgedeeld per element



Figuur 15: Levenscyclusimpact van het appartementsgebouw opgedeeld per levenscyclusfase



Figuur 16: Levenscycluskost van het appartementsgebouw opgedeeld per levenscyclusfase



Figuur 17: Levenscyclusimpact van het appartementsgebouw opgedeeld per milieu-impactindicator

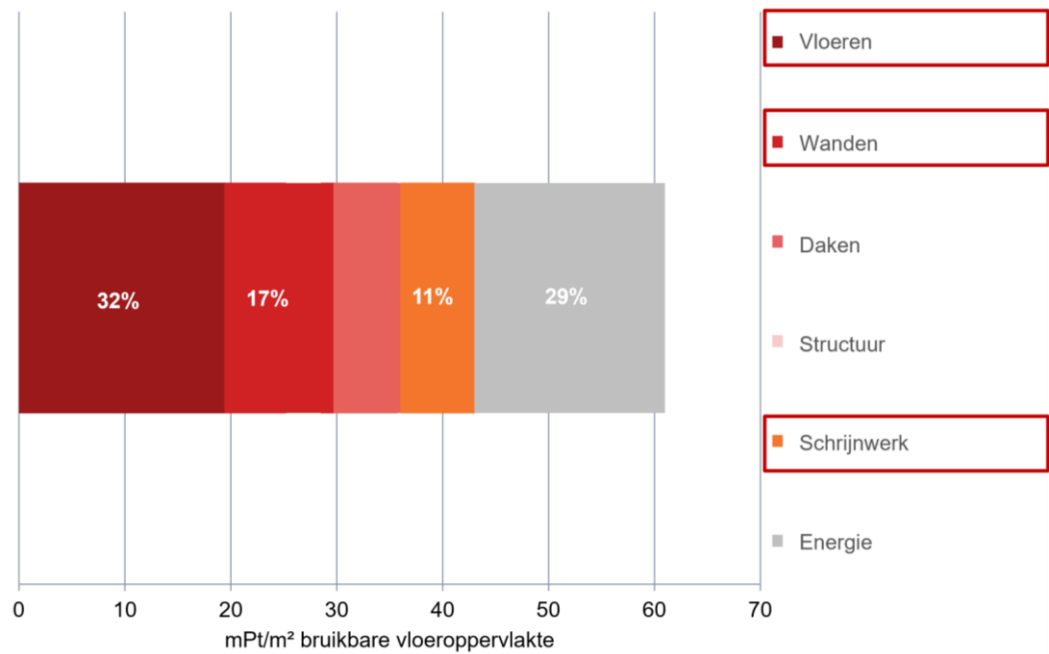
4.1.4 Schoolgebouw COZEB 3-EN2

Uit Figuur 18 blijkt dat de vloeren, wanden en openingen verantwoordelijk zijn voor het grootste aandeel van de milieu-impact (32%, 17% en 11% resp.). Ook bij de financiële kost (Figuur 19) zijn het de vloeren, wanden en openingen (57%, 18% en 10% resp.) die de grootste kost vertegenwoordigen.

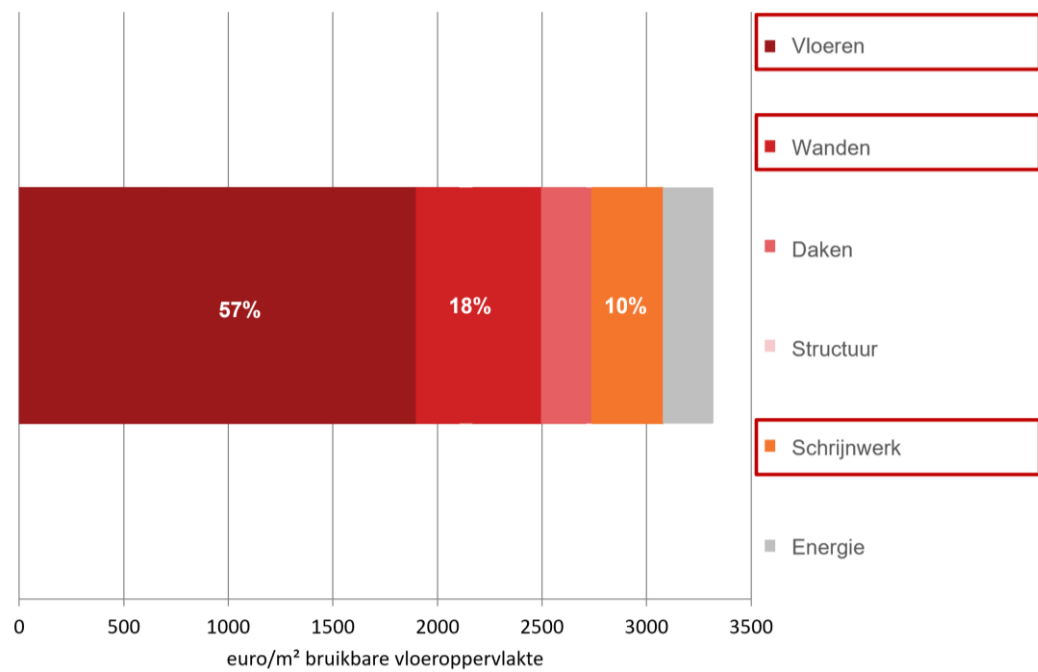
Figuur 20 en Figuur 21 tonen het aandeel van de verschillende levenscyclusfasen voor de milieu-impact en de financiële kost. In beide gevallen heeft de initiële fase A1-A5 een groot aandeel (46% en 33% resp.), maar bij de financiële kosten ligt de kost voor schoonmaak en klein onderhoud (50%) nog hoger. Dit volgt uit de veronderstelling dat er wekelijks professioneel wordt schoongemaakt. Het is mogelijk dat dit in de praktijk minder frequent gebeurt.

Bij de milieu-impact heeft het operationeel energieverbruik de tweede grootste impact (29%), gevolgd door de vervangingen (15%).

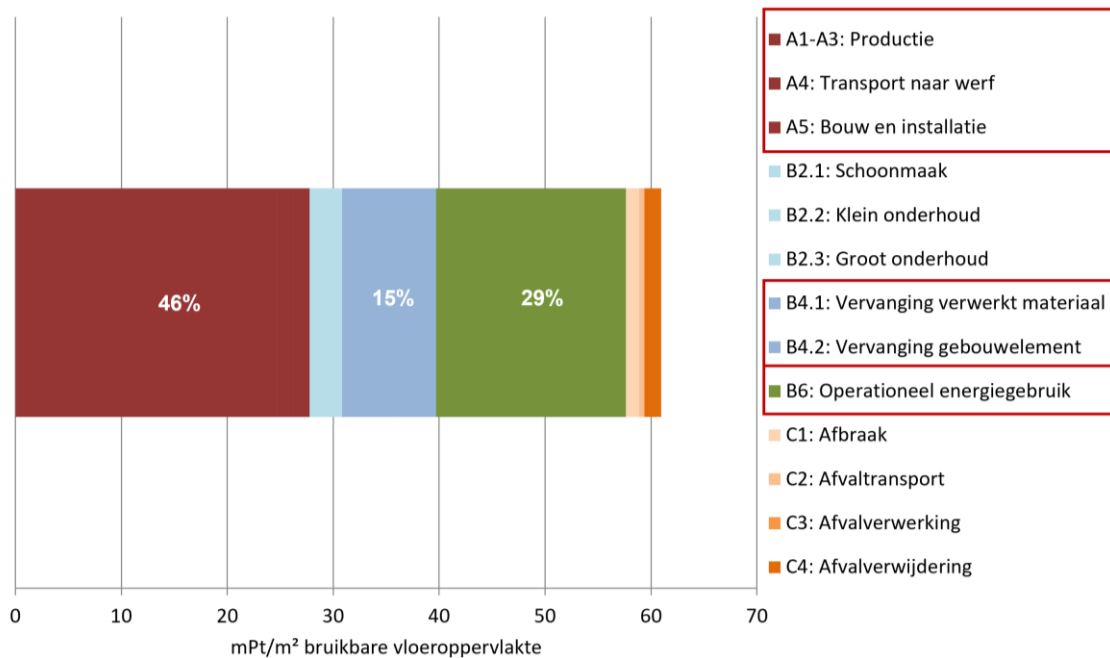
De voornaamste milieu-indicatoren bij het schoolgebouw zijn uitputting van grondstoffen (29%), klimaatverandering (27%), fijnstof (14%) en ecotoxiciteit (9%) (Figuur 22).



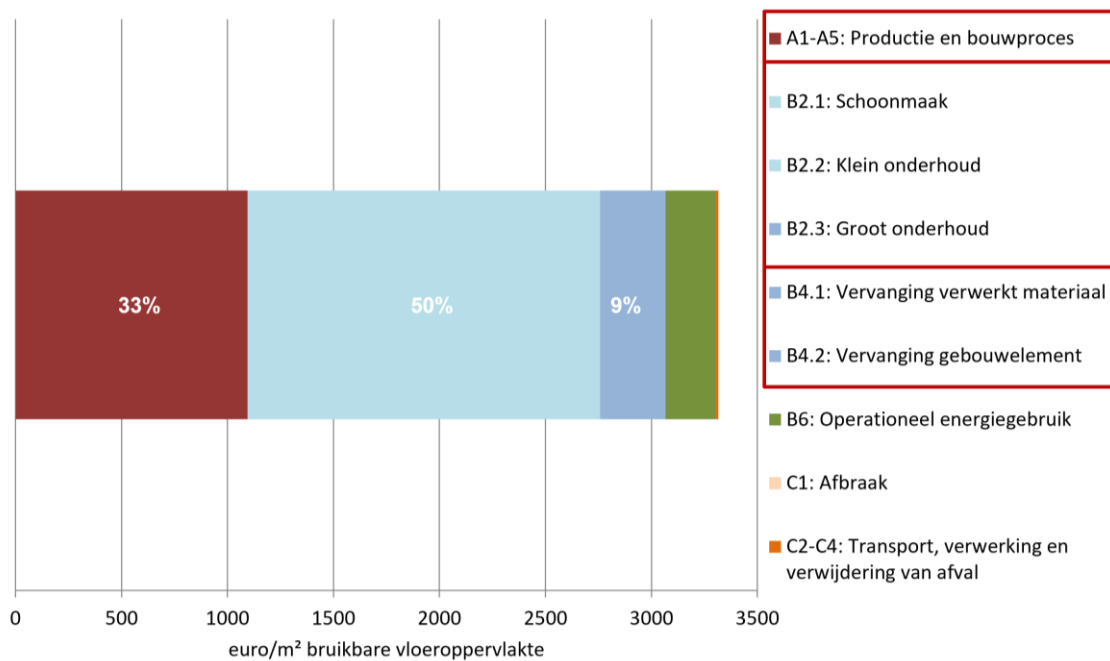
Figuur 18: Levenscyclusimpact van het schoolgebouw opgedeeld per element



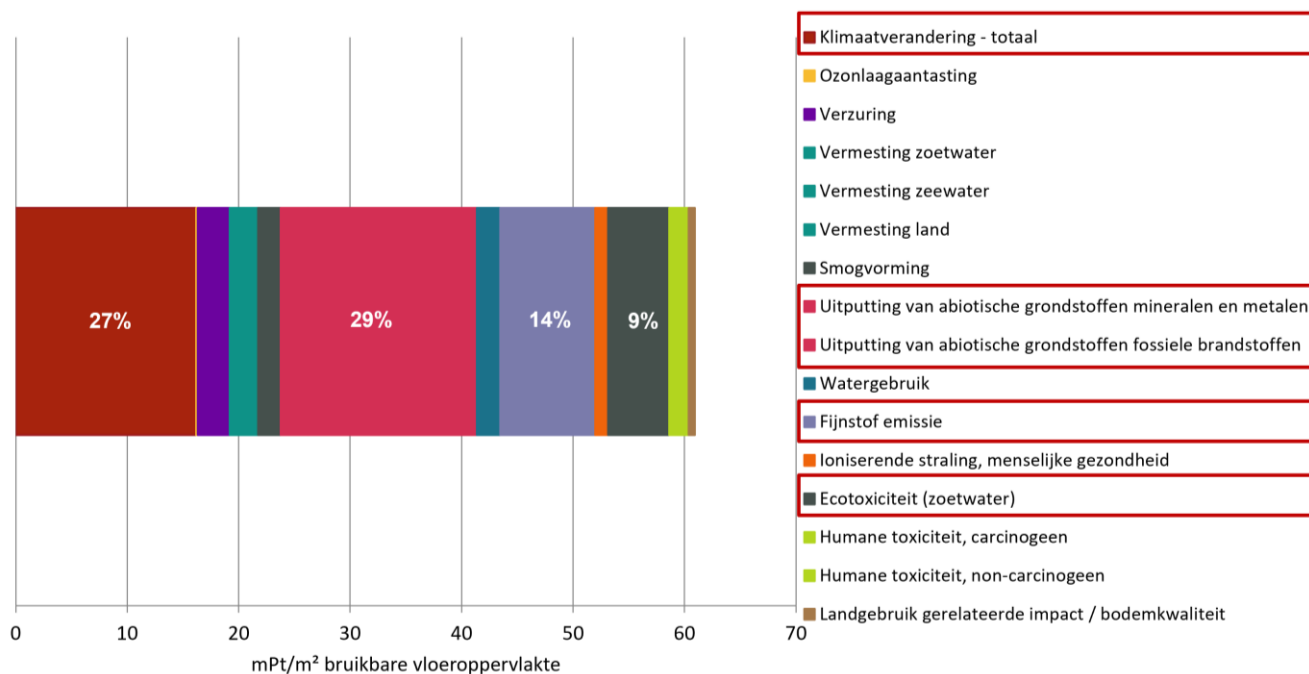
Figuur 19: Levenscycluskost van het schoolgebouw opgedeeld per element



Figuur 20: Levenscyclusimpact van het schoolgebouw opgedeeld per levenscyclusfase



Figuur 21: Levenscycluskost van het schoolgebouw opgedeeld per levenscyclusfase



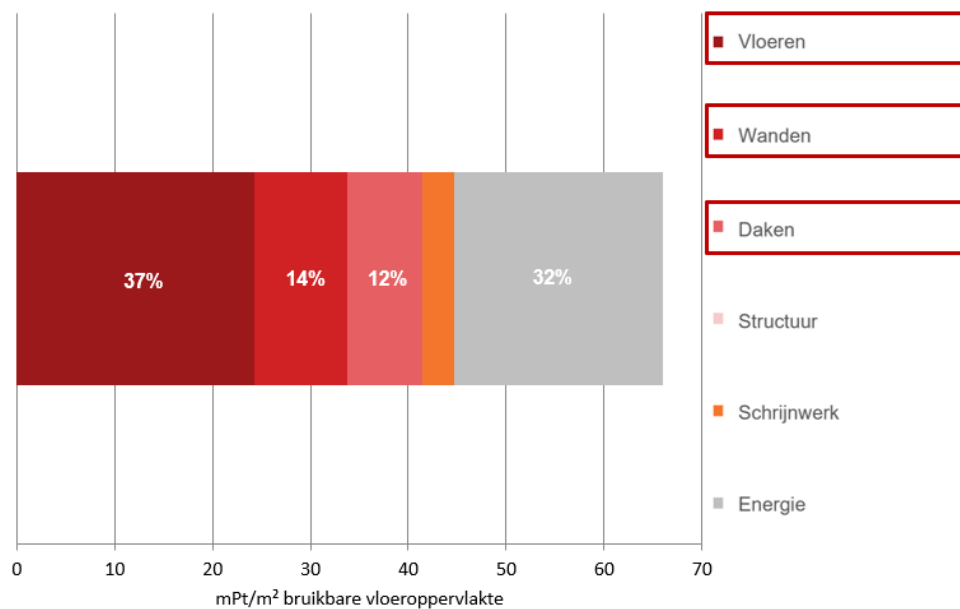
Figuur 22: Levenscyclusimpact van het schoolgebouw opgedeeld per milieu-indicator

4.1.5 Kantoorgebouw Belorta

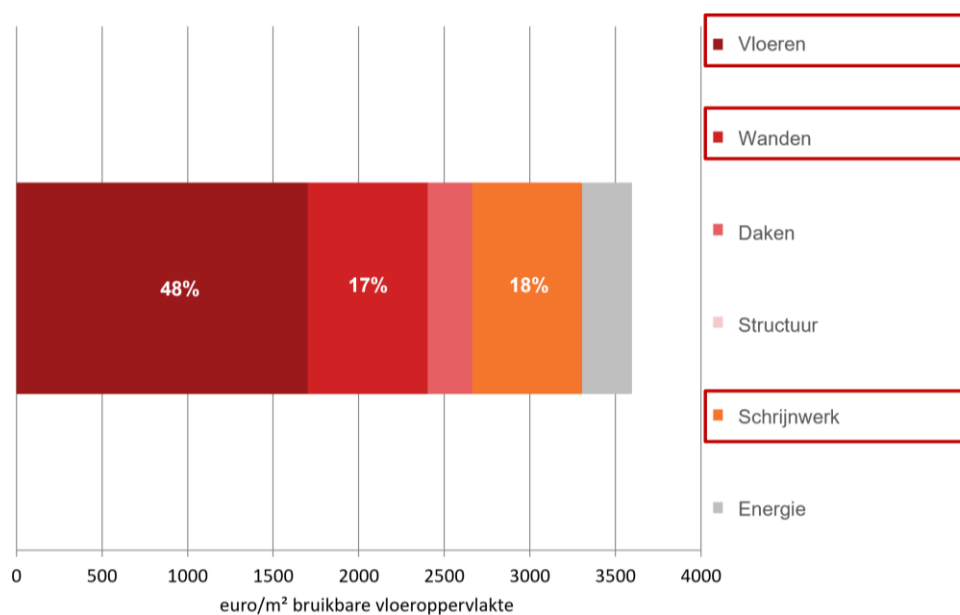
De levenscyclusimpact en -kost van het kantoorgebouw worden weergegeven in Figuur 23 en Figuur 24. Bij de milieu-impact vertegenwoordigen de vloeren (37%), wanden (14%) en daken (12%) het grootste aandeel van de materiaalimpact, terwijl bij de financiële kost de vloeren (48%), muren (17%) en de openingen (18%) een grote bijdrage hebben.

Bij de levenscyclusfasen zijn de meest impactvolle fasen niet gelijk voor de milieu-impact en de financiële kost (Figuur 25 en Figuur 26). In beide gevallen heeft de initiële fase A1-A5 een groot aandeel (54% en 44% resp.), maar bij de financiële kosten wordt dit gevolgd door de kost voor schoonmaak en klein onderhoud (41%). Bij de milieu-impact heeft het operationeel energieverbruik de tweede grootste impact (32%), gevolgd door vervangingen (6%).

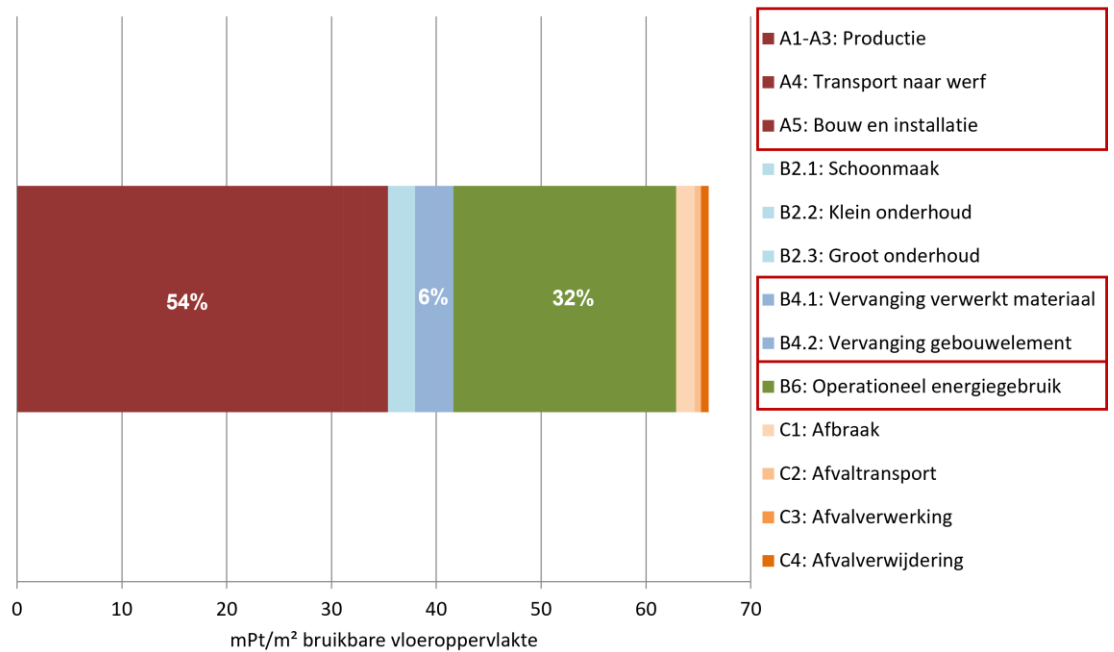
De voornaamste milieu-indicatoren bij het kantoorgebouw zijn uitputting van grondstoffen (29%), klimaatverandering (25%), fijnstof (16%) en ecotoxiciteit (19%) (Figuur 27).



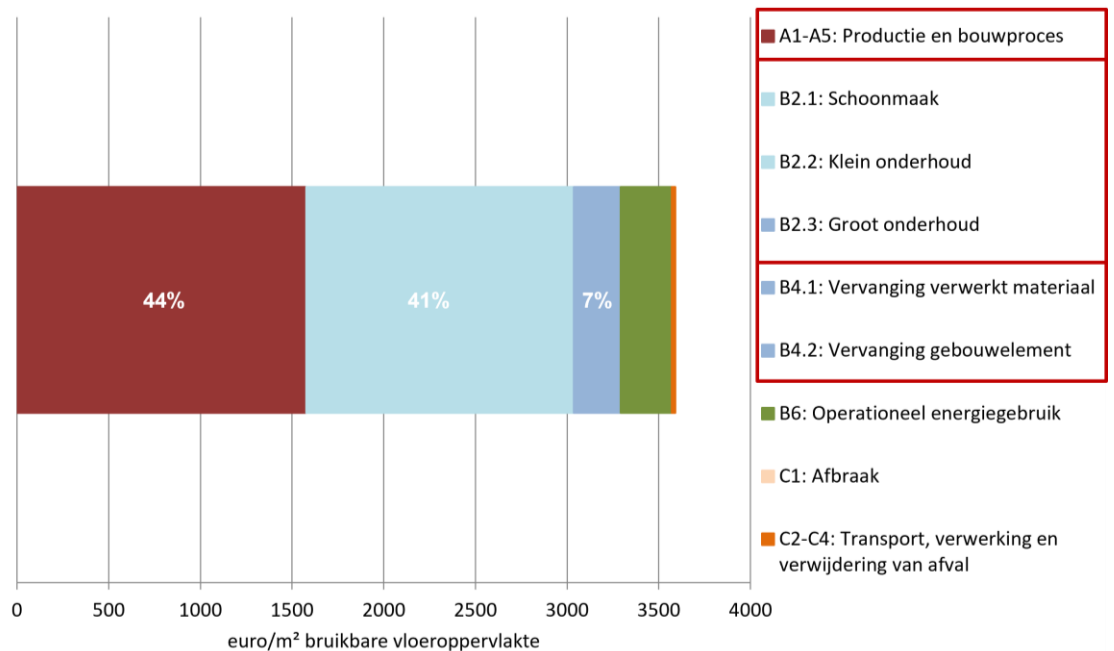
Figuur 23: Levenscyclusimpact van het kantoorgebouw opgedeeld per hoofdelementcategorie



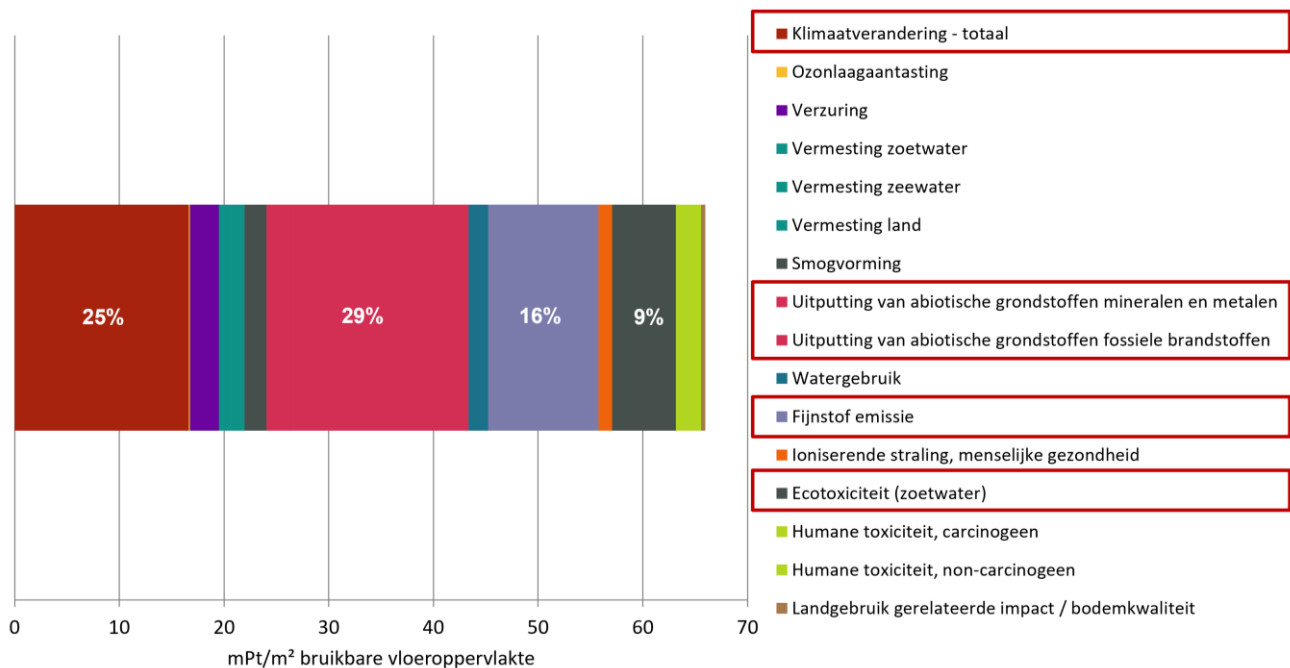
Figuur 24: Levenscycluskost van het kantoorgebouw opgedeeld per hoofdelementcategorie



Figuur 25: Levenscyclusimpact van het kantoorgebouw opgedeeld per levenscyclusfase



Figuur 26: Levenscycluskost van het kantoorgebouw opgedeeld per levenscyclusfase



Figuur 27: Levenscyclusimpact van het kantoorgebouw opgedeeld per milieu-impactindicator

4.1.6 Conclusies

De vloeren zorgen bij de vier casestudies voor de grootste impact, zowel voor de financiële kost als de milieu-impact. Meestal komen de meest impactvolle elementen overeen bij de milieu-impact en de financiële kost, enkel bij het kantoorgebouw weegt het buitenschrijnwerk (omwille van de vliesgevel) zwaarder door op de financiële kost, terwijl het dak een belangrijke bijdrage heeft in de milieu-impact. Bij de materiaaloptimalisaties (zie sectie 4.3) kon steeds de grootste winst gehaald worden uit het optimaliseren van de vloeren.

De initiële fase A1-A5 maakt bij zowel de milieu-impact als de financiële kost steeds een groot deel uit van het totaal. Bij de financiële kost komt hier steeds nog schoonmaak en klein onderhoud bij. Terwijl op vlak van milieu-impact het energieverbruik tijdens de gebruiksduur veel belangrijker is. Voor zowel financiële kost als milieu-impact veroorzaken de vervangingen de derde grootste impact. Bij het kantoorgebouw en het schoolgebouw zorgt schoonmaak tijdens een periode van 60 jaar zelfs voor een grotere financiële kost dan de investeringskost, bij residentiële gebouwen ligt deze lager omwille van de aangenomen reductie van 50% (zie sectie 3.2).

De belangrijkste milieu-indicatoren zijn steeds uitputting van grondstoffen, klimaatverandering, fijnstof en ecotoxiciteit.

Deze BAU-scenario's zullen dienen als referentie voor het definiëren van de optimalisatiescenario's en voor het berekenen van de erelonen (zie sectie 4.3).

4.2 RESTWAARDE

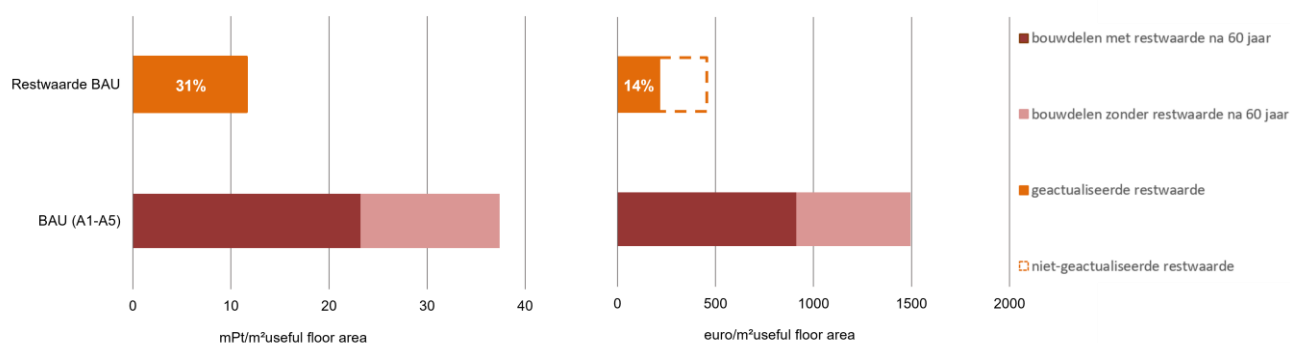
4.2.1 Inleiding

Bouwcomponenten met een levensduur langer dan 60 jaar hebben nog een restwaarde na de standaard levensduur van een gebouw van 60 jaar volgens TOTEM. De meeste van deze bouwcomponenten hebben een levensduur van 120 jaar en kunnen dus nog eens 60 jaar mee. Echter, de pannen, panlatten, tengellatten en het onderdak van het hellend dak hebben een totale levensduur van 90 jaar volgens TOTEM. Daarom wordt de restwaarde van het gebouw na 60 jaar nog 50 % verondersteld van de A1-A5 waarde van alle bouwcomponenten met een levensduur langer dan 60 jaar, ook voor de onderdelen van het dak waarvan de resterende levensduur nog op 30 jaar wordt geschat. Vervolgens wordt deze restwaarde geactualiseerd om te vergelijken met de huidige kosten. Deze methode werd in meer detail besproken in hoofdstuk 3.4.

4.2.2 Halfopen woning SuFiQuaD

De restwaarde van de halfopen woning wordt weergegeven in Figuur 28. Hieruit blijkt dat de restwaarde van de halfopen woning na 60 jaar nog 31% bedraagt van de initiële A1-A5 milieu-impact en nog 29% van de initiële A1-A5 financiële investeringskost. De financiële restwaarde zakt nog van 29% (stippellijn) naar 14% omwille van de actualisatie over een periode van 60 jaar. Vanuit milieuoogpunt ligt deze waarde dus nog erg hoog en kan er veel voordeel gehaald worden uit circulair bouwen, vanuit financieel standpunt is de winst bij het verlengen van de levensduur veel kleiner.

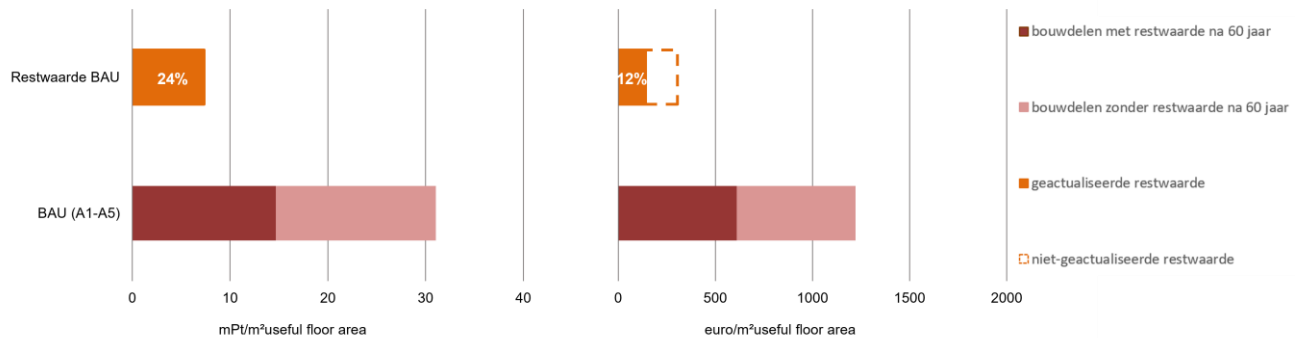
Daarnaast mag niet vergeten worden dat in deze procentuele restwaarde nog geen installaties vervat zitten, deze zijn ook einde levensduur na 60 jaar en doen de A1-A5-fase wel stijgen, maar de restwaarde niet. Ten slotte zitten ook funderingen niet in deze berekening.



Figuur 28: Restwaarde van de halfopen woning, zowel voor de milieu-impact (links) als voor de financiële kosten (rechts)

4.2.3 Appartementenstgebouw SuFiQuaD

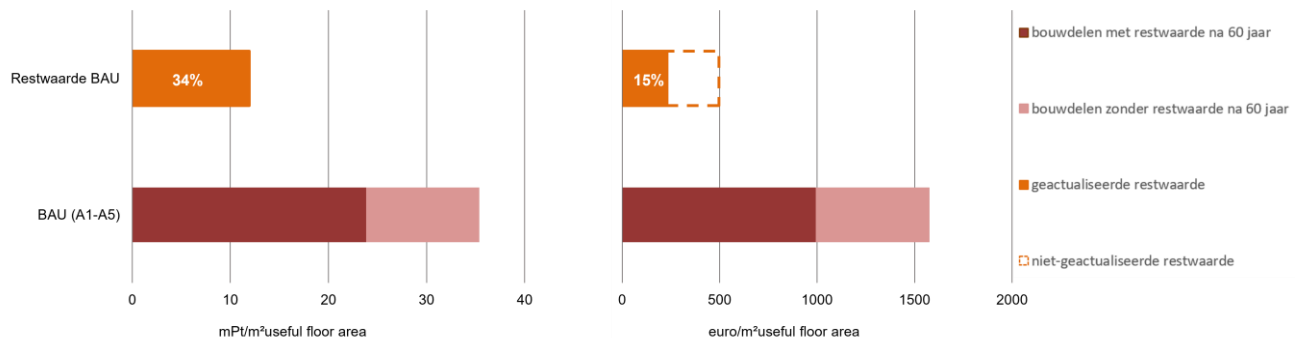
Voor het appartementenstgebouw is de restwaarde lager dan voor de woning, het appartementenstgebouw is compacter, en heeft daardoor verhoudingsgewijs minder schildelen en constructiedelen, maar meer afwerkingsmaterialen.



Figuur 29: Restwaarde van het appartementenstgebouw, zowel voor de milieu-impact (links) als voor de financiële kosten (rechts)

4.2.4 Kantoorgebouw Belorta

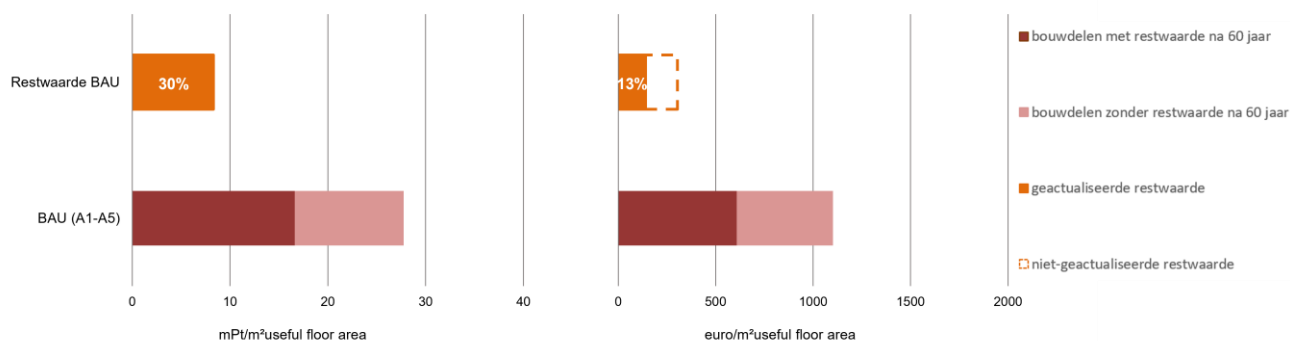
Omwille van de zware betonstructuur, ook in de wanden, ligt de restwaarde vanuit milieuoogpunt bij het kantoorgebouw het hoogst. Vanuit financieel standpunt is de restwaarde gelijk aan de restwaardes van het schoolgebouw en de woning.



Figuur 30: Restwaarde van het kantoorgebouw, zowel voor de milieu-impact (links) als voor de financiële kosten (rechts)

4.2.5 Schoolgebouw COZEB 3-EN2

De restwaarde bij het schoolgebouw, is zowel vanuit milieuoogpunt als financieel oogpunt gelijkaardig aan de restwaarde van de woning.



Figuur 31: Restwaarde van het schoolgebouw, zowel voor de milieu-impact (links) als voor de financiële kosten (rechts)

4.2.6 Conclusies

De restwaarde vanuit milieu-oogpunt ligt voor de vier gebouwen tussen de 24% (appartement) en de 34% (kantoor). De financiële restwaarde is beperkter, 12% tot 15% voor elk van de vier gebouwen. Door te actualiseren over een periode van 60 jaar zakt de financiële restwaarde sterk. De restwaarde vanuit milieu-oogpunt is veel groter, en zet daardoor ook meer aan tot een circulaire bouwaanpak.

Wanneer in de toekomst de levensduur van gebouwen in TOTEM verandert van 60 jaar naar 50 jaar, zal de restwaarde van gebouwen stijgen en is de impact van het actualiseren ook kleiner, wat het belang van een circulaire aanpak vergroot.

4.3 ERELOONKOSTEN VOLGENS "BUSINESS AS USUAL" (BAU)

4.3.1 Inleiding

Erelonen voor het ontwerp (zonder TOTEM-studie) zijn een procentueel aandeel van de bouwcost. De berekening en aannames voor de berekening van de ereloonkost staan beschreven in hoofdstuk 3.5.

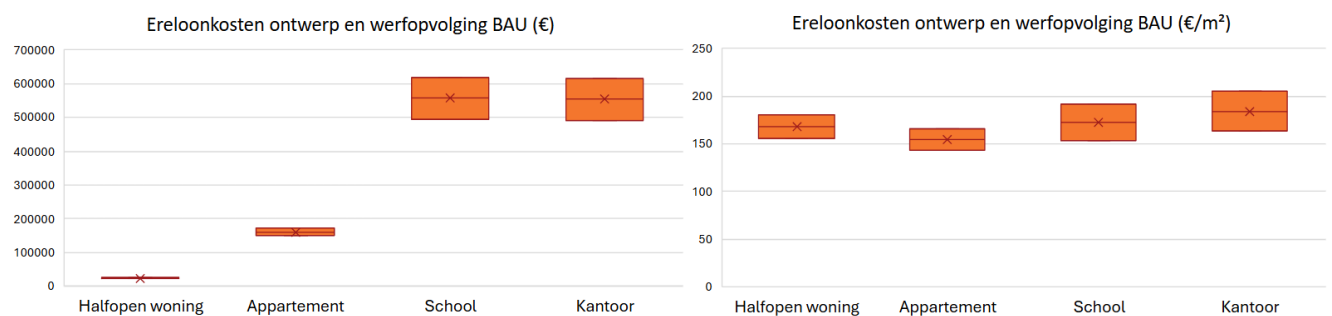
Om de ereloonkost gerelateerd aan het modelleren in TOTEM te bepalen, wordt een inschatting gemaakt van de tijdsbesteding voor het ingeven van de cases. De tijdsbesteding wordt opgesplitst tussen de voorbereidingstijd om de verschillende elementen en hun oppervlakte in kaart te brengen (Stap 1: overzicht in Excel), en de tijd om deze elementen in TOTEM te modelleren (Stap 2: TOTEM modellering BAU). De voorbereidingstijd kan sterk gereduceerd worden door gebruik te maken van BIM. De architect (en ontwerper) van het gebouw, zal ook een kortere voorbereidingstijd nodig hebben dan een externe EPB-verslaggever, aangezien deze het gebouw reeds goed kent. Vervolgens wordt de tijdsbesteding gelinkt aan een ereloonkost per uur, zoals gedefinieerd in sectie 3.5.

4.3.2 Ereloonkosten ontwerp en werfopvolging

De ereloonkosten op basis van de BAU-bouwkosten worden weergegeven in

Figuur 32. Zoals beschreven in sectie 3.5, is hiervoor een vork van erelonen gehanteerd. We zien dat volgens de Deontologische Norm nr. 2 het ereloon tussen de woning en het appartementsgebouw stijgt door de stijgende complexiteit. Naargelang de projecten groter, maar niet complexer worden zoals voor de school en het kantoorgebouw, ligt het percentage ereloon weer wat lager. In absolute waarden geeft dit uiteenlopende resultaten. Gezien de lagere bouwkost van het appartementsgebouw is de ereloonkost voor ontwerp en werfopvolging per m² lager, hoewel het ereloonpercentage hier hoger ligt dan voor de woning. Hoe groter het project, hoe breder de ereloonvork wordt.

Gebouw	Oppervlakte (m ²)	Bouwkost (€)	Bouwkost (€/m ²)	Installaties en vast meubilair (€)	Installaties en vast meubilair (€/m ²)	Totale kost A1-A5 (€)	Totale kost A1-A5 (€/m ²)	Ereloon (%) - ondergrens	Ereloon (%) - bovengrens	Totaal (€) - ondergrens	Totaal (€) - bovengrens
Halfopen woning	144	216.804	1506	108.000	750	324.804	2256	6,88%	8%	22.351	25.984
Appartement	1042	1.273.249	1222	885.700	850	2.158.949	2072	6,91%	8%	149.238	172.716
School	3226	3.533.655	1095	4.193.943	1300	7.727.598	2395	6,41%	8%	495.644	618.208
Kantoor	3009	3.795.053	1261	3.911.791	1300	7.706.844	2561	6,39%	8%	492.116	616.547



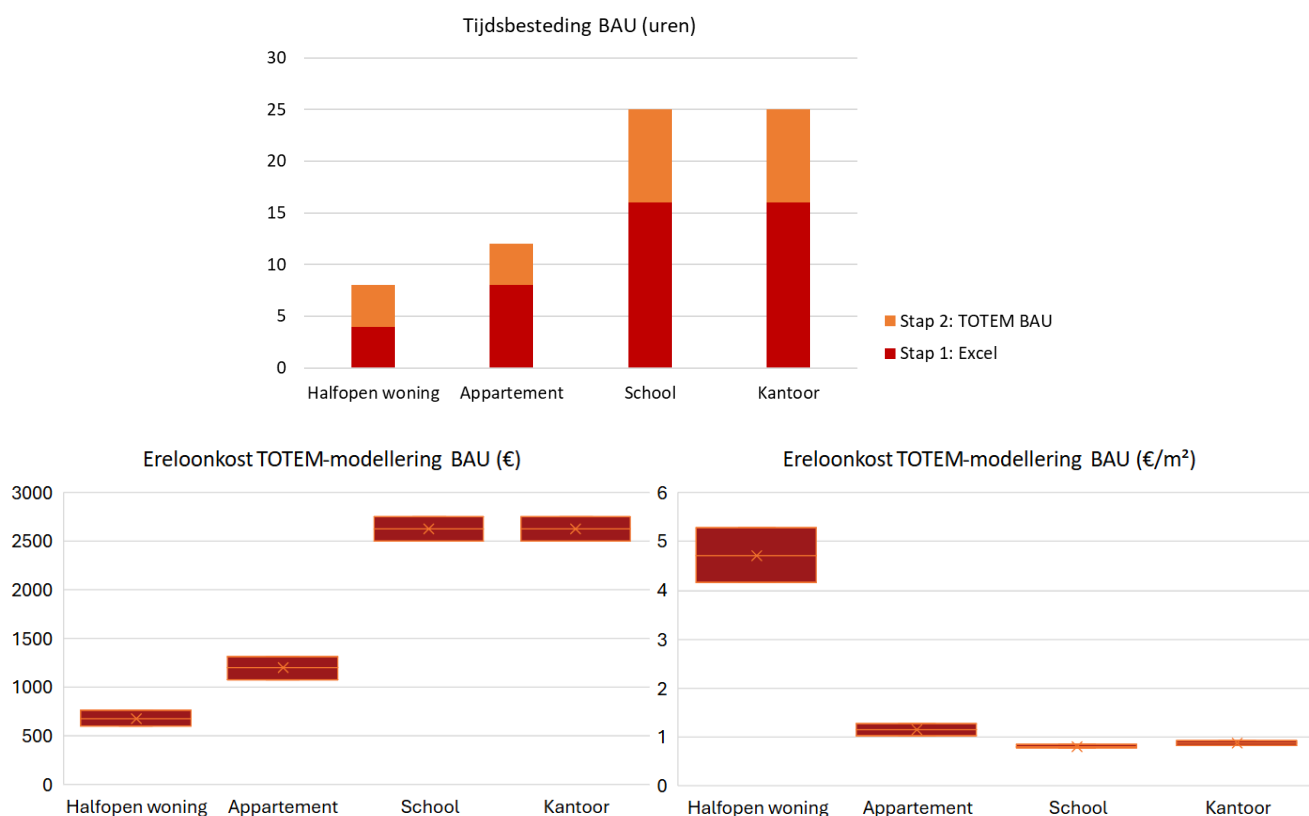
Figuur 32 Ereloonkosten gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging van het BAU-scenario (exclusief BTW)

4.3.3 Ereloonkosten TOTEM modellering

Voor de schatting van de ereloonkosten voor de TOTEM-modelleringen zijn de aannames uit sectie 3.5 toegepast. Zoals verwacht, neemt de ereloonkost per vierkante meter af naarmate het gebouw groter wordt. Voor de woning ligt de ereloonkost TOTEM veel hoger per m² nuttige vloeroppervlakte dan voor de andere projecten. Vooral het in kaart brengen van de oppervlakte vergt veel tijd, terwijl het aantal in te voeren en te modelleren elementen per project weinig verschilt. Bij de residentiële gebouwen zijn de bouwkundige elementen vrij gelijkaardig, terwijl complexere gebouwen zoals de school en het kantoorgebouw uit een grotere variatie van element-opbouwen bestaan. Het aantal uren gerekend voor de opmeting is momenteel ook aan de hogere kant aangezien deze op basis van een pdf van de plannen is gebeurd. Indien de EPB-verslaggever dezelfde opmeting of een deel ervan reeds moet uitvoeren voor de berekening van de energieprestatie, is er de mogelijkheid om dit proces te versnellen. Ook gaat het om een modellering van een project in TOTEM door een

persoon die het project niet zelf heeft ontworpen. In de praktijk zal de architect of zelfs de EPB-verslaggever het project al beter kennen en een vectoriële 2D of zelfs een 3D BIM-document ter beschikking hebben om de oppervlaktes uit te extraheren, wat opnieuw het proces kan versnellen. Naarmate de EPB-verslaggever of de architect meer ervaring opdoen met de TOTEM-tool en een eigen elementenbibliotheek aangemaakt wordt, kan de modellering sneller gaan.

Gebouw	Oppervlakte (m ²)	Stap 1: Excel (h)	h/m ²	Stap 2: TOTEM BAU (h)	h/m ²	Totaal (h)	Ereloon (€/h) - ondergrens	Ereloon (€/h) - bovengrens	Totaal (€) - ondergrens	Totaal (€) - bovengrens
Halfopen woning	144	4	0,028	4	0,028	8	75	95	600	760
Appartement	1042	8	0,008	4	0,004	12	90	110	1080	1320
School	3226	16	0,005	9	0,003	25	100	110	2500	2750
Kantoor	3009	16	0,005	9	0,003	25	100	110	2500	2750



Figuur 33: Ereloonkosten gerelateerd aan de TOTEM modellering voor het BAU-scenario

4.4 BOUWKOSTEN MATERIAALOPTIMALISATIE

4.4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt voor de vier casestudies het materiaalgebruik verbeterd. De milieu-impact, investeringskost en levenscycluskost wordt berekend van deze geoptimaliseerde varianten en vergeleken met het BAU-scenario. Ook de ereloonkosten van de architect gelinkt aan het ontwerp en de uitvoering met deze materiaalkeuze en de erelonen voor de TOTEM-modellering worden begroot (Zie 4.5).

4.4.2 Methodologie materiaaloptimalisatie

Voor het efficiënt reduceren van de indicator klimaatverandering (kg CO₂ eq.) en geaggregeerde milieuscore (mPt), wordt gefocust op de hotspots. Dit zijn de elementen en vervolgens ook de componenten met de hoogste milieu-impact en CO₂ eq.-impact volgens de 80%-regel (zie paragraaf 1.2). De hotspots voor de milieuscore (mPt) en de indicator klimaatverandering (kg CO₂ eq.) zijn voor de vier cases gelijkaardig. De afwijkingen worden besproken per case.

Voor de componenten met de hoogste bijdrage aan de milieu-impact worden alternatieven in de TOTEM bibliotheek gezocht met een lagere milieu-impact. Deze alternatieven worden gemodelleerd in TOTEM en vergeleken. Uit de vergelijking wordt de optie met de laagste milieu-impact weerhouden. Bijkomend wordt ook een optie met de laagste score voor de indicator klimaatverandering weerhouden. De resulterende materiaalsubstituties worden besproken per case. In sommige gevallen zijn substituties niet mogelijk of zijn de materiaalkeuzes reeds optimaal. Ook deze zaken worden per case besproken. Voor deze materiaaloptimalisatie is er gekozen om de bestaande bouwprincipes te behouden. Zo zal een massiefbouwconstructie niet worden vervangen door een skeletstructuur of een geventileerde spouwmuur zal niet worden vervangen door een niet-geventileerde spouwmuur. Dit soort optimalisaties worden uitgevoerd in deel 4.6 'Bouwkosten ontwerptoptimalisatie', waarbij ontwerpwijzigingen worden beoordeeld. Alle wijzigingen bootsen steeds een realistische situatie na waarbij rekening wordt gehouden met bouwfysische prestaties. Ook de energieprestatie van de elementen moet evenwaardig zijn en minimaal de EPB-norm volgen. Elke component wordt met status 'nieuw' gemodelleerd in TOTEM. De statussen 'bestaand' of 'hergebruikt' worden niet gehanteerd binnen deze studie.

De optimalisaties gebeuren in eerste instantie om de milieu-impact van de gebouwen te verkleinen. De financiële impact is secundair en wordt erna beoordeeld.

Om te achterhalen welk materiaal de laagste impact heeft, wordt in TOTEM een element opgemaakt met alle verschillende opties van deze materiaallaag. In de resultaten-tab is dan snel zichtbaar welke variant de laagste impact heeft. Om de vergelijkbaarheid van de verschillende componenten te garanderen, worden correcte diktes gekozen en worden extra bevestigingsonderdelen voorzien indien nodig en bij de impact van het materiaal zelf opgeteld.

Vervolgens worden de geoptimaliseerde varianten van de elementen en de gebouwen gemodelleerd in TOTEM (op basis van een kopie van de BAU-cases). De milieuscores en financiële kosten op gebouwniveau worden opnieuw berekend en vergeleken met de BAU.

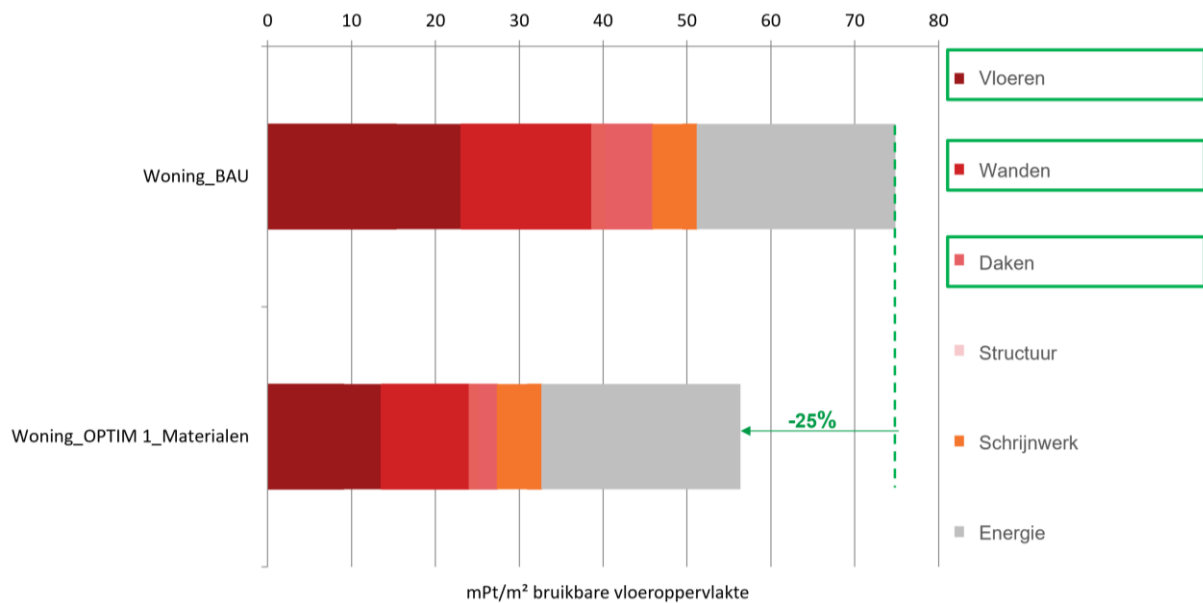
De tijdsbesteding voor de modelleringen worden per stap nauwgezet bijgehouden als input voor 4.5 (berekening bijkomend ereloon voor optimalisatie).

4.4.3 Halfopen woning

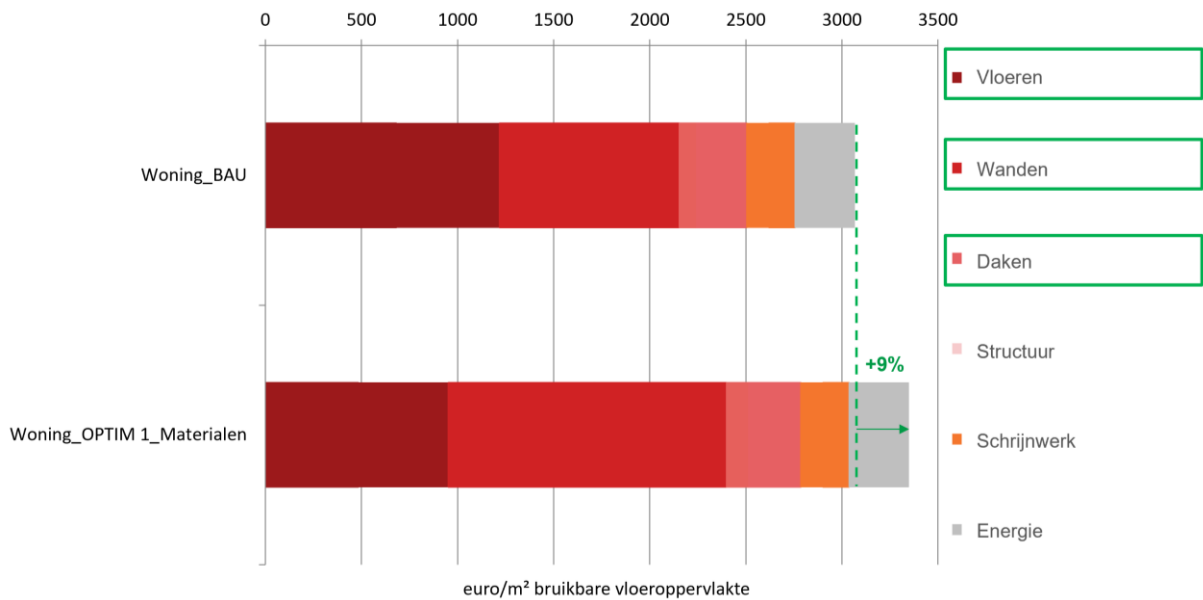
De levenscyclusimpact en -kost van de halfopen woning (inclusief operationeel energieverbruik) worden weergegeven in Figuur 34 voor zowel het BAU-scenario als voor het geoptimaliseerd scenario. Voor de halfopen woning wegen de afwerkingsmaterialen zwaarder door dan voor de andere cases. Op gebouwniveau werd voor de optimalisatie de vloerafwerking van keramische tegels vervangen door soepele kurktegels. De acrylverf werd vervangen door kalkverf. De PUR-isolatie werd vervangen door Resol-isolatie in de vloeren en door houtvezel in de spouw van de gevels. De niet-dragende binnenwanden uit holle baksteen werden vervangen door kalkhennep blokken. Op het dak vervangen betonnen dakpannen de leibedekking uit het BAU-scenario. De vervanging van de verf bracht een grote reductie van de milieu-impact teweeg. Ook het vervangen van geglazuurde keramische tegels door kurktegels leidt tot een grote impactreductie. Het binnenspouwblad van de gevel en de dragende wanden bestaande uit isolerende bakstenen gelegd in cementmortel werden vervangen door een gelijmde variant. Het verlijmen van de isolerende bakstenen houdt geen rekening met de wijziging in mogelijke recuperatie en levensduur-verlenging van de snelbouwstenen. Indien dit wel het geval zou zijn, zouden snelbouwstenen gelegd in kalkmortel een beter alternatief vormen met het oog op hergebruik. De totale reductie van de milieuscore bedraagt 25%, de milieu-impact van de A1-A5 fase daalt met 47%.

Indien er enkel voor de indicator klimaatverandering (GWP) geoptimaliseerd wordt, volgen niet dezelfde keuzes. Zo zijn de geglazuurde keramische tegels te verkiezen voor deze indicator uit alle beschouwde vloerafwerkingsmaterialen. Dit komt omdat de milieu-impact van tegels vooral terug te vinden is bij andere milieu-indicatoren zoals fijnstof. Voor de spouwisolatie van de gevel zou eerder voor een deken van vlas gekozen worden. De overige keuzes die gemaakt waren om de milieu-impact van de woning te verbeteren, geven ook voor klimaatverandering de beste resultaten. Indien we optimaliseren in functie van de indicator klimaatverandering bedraagt de totale reductie van de hoeveelheid kg CO₂ eq. 15%.

De levenscycluskost van de geoptimaliseerde variant is in totaal gestegen met 9%. Er is een grote vermindering in levenscycluskost bij de vloeren en een grote toename voor de wanden. Kalkhennepblokken en kalkverf spelen hier opnieuw een grote rol in. De daling in investeringskost is verwaarloosbaar (daling met 0,4%).



Figuur 34: Levenscyclusimpact van de halfopen woning voor/na materiaaloptimalisatie opgedeeld per element



Figuur 35: Levenscycluskost van de halfopen woning voor/na materiaaloptimalisatie opgedeeld per element

4.4.4 Appartementenstgebouw

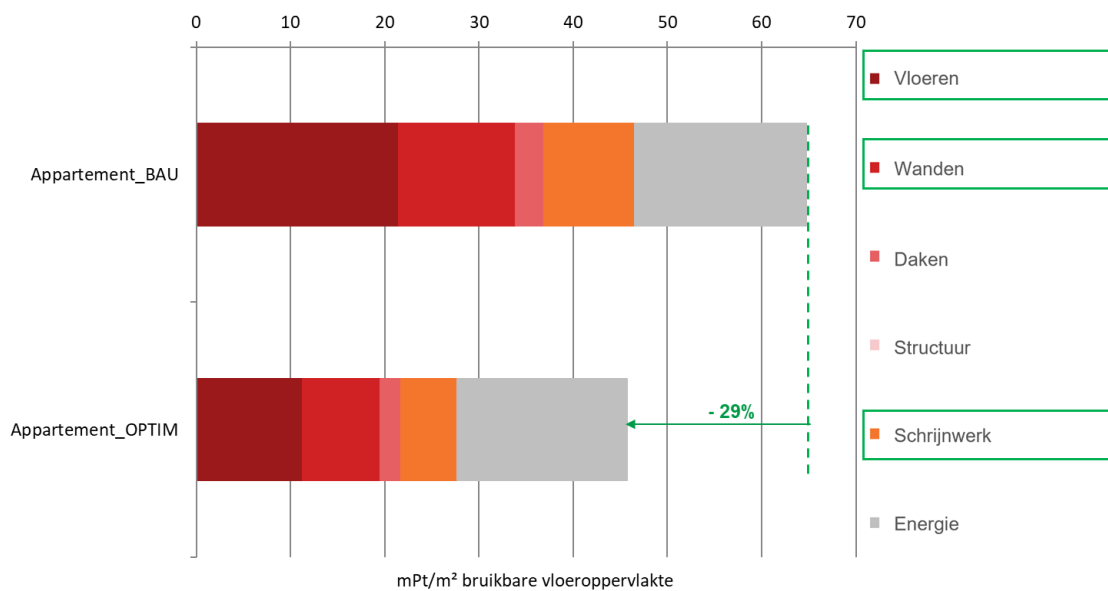
De levenscyclusimpact en -kost van het geoptimaliseerd appartementenstgebouw (inclusief operationeel energieverbruik) worden weergegeven in Figuur 36. Aangezien de BAU-elementen van de halfopen woning en het appartementenstgebouw sterk overeenkomen, zijn quasi dezelfde substituties gebeurd voor de optimalisatie van het appartementenstgebouw. De isolatie werd vervangen naar Resol in de vloer en houtvezel in de gevel. De wanden werden afgewerkt met kalkverf. De dragende wanden worden met verlijmd baksteen voorzien in plaats van met cementmortel. De niet-dragende wanden werden voorzien in kalkhennep blokken in plaats van holle bakstenen. De vloer wordt afgewerkt met epoxy in plaats van kurktegels zoals bij de woning aangezien men voor verhuur of voor de gemeenschappelijke delen van het appartementenstgebouw een slijtvastere afwerking wenst. Uit de hotspotanalyse van het appartementenstgebouw kwamen ook de buitenramen naar voren. De kaders van PVC worden vervangen door hardhout.

Voor de geoptimaliseerde variant van het appartementenstgebouw is er een grote verbetering voor de vloeren, de wanden en de openingen, maar ook voor het dak is een verbetering merkbaar. Dit is te wijten aan het doortrekken van de materiaalsubstituties voor het hele gebouw. Hoewel het dak geen deel uitmaakte van de hotspotanalyse van de BAU-case, is ook hier de isolatie en de plafondafwerking mee vervangen in lijn met de andere geoptimaliseerde elementen. De totale reductie van de milieuscore bedraagt 29% (zie Figuur 36). De milieu-impact van de A1-A5-fase daalt met 48%.

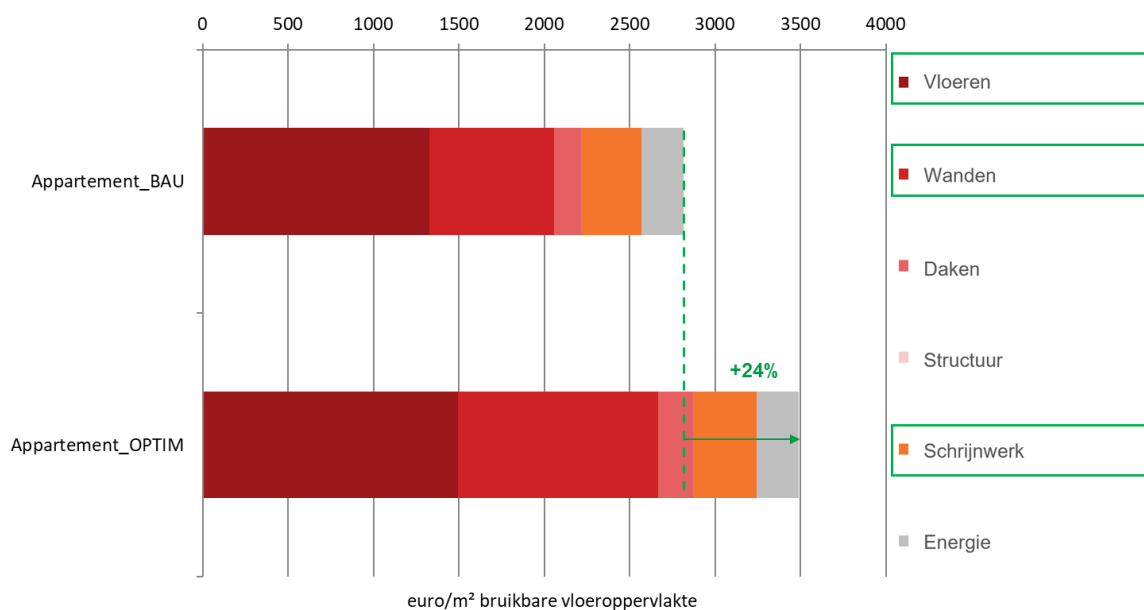
De grote impactreducties zijn te wijten aan de vervanging van de keramische tegelvloer door epoxy, de vervanging van de PUR-isolatie door Resol-isolatie in de vloeren en houtvezelplaten in de gevel en de acrylverf door een kalkverf voor alle binnenaafwerkingen. Ook de openingen kregen een hardhouten kader ter vervanging van de PVC-profielen.

Indien er enkel voor de indicator klimaatverandering (GWP) geoptimaliseerd wordt, volgen niet dezelfde keuzes als voor de milieu-impact optimalisatie. Zo is, net zoals bij de woning, de geglazuurde keramische tegel (voorzien in BAU) te verkiezen als vloerafwerking. Ook vlas scoort beter als gevelisolatie qua hoeveelheid kg CO₂ eq. Indien we optimaliseren in functie van de indicator klimaatverandering bedraagt de totale kg CO₂ eq. reductie 19%.

De levenscycluskost van de geoptimaliseerde variant is gestegen met 24%, een grotere stijging dan bij de woning aangezien de wanden hier een belangrijker aandeel hebben. Er is namelijk een beperkte toename in de levenscycluskost van de vloeren, daken en het schrijnwerk en een grote toename in levenscycluskost van de wanden. Kalkhennepblokken en kalkverf spelen hier een grote rol in. De investeringskost stijgt met 13%.



Figuur 36: Levenscyclusimpact van het appartementsgebouw voor/na materiaaloptimalisatie opgedeeld per element



Figuur 37: Levenscycluskost van het appartementsgebouw voor/na materiaaloptimalisatie opgedeeld per element

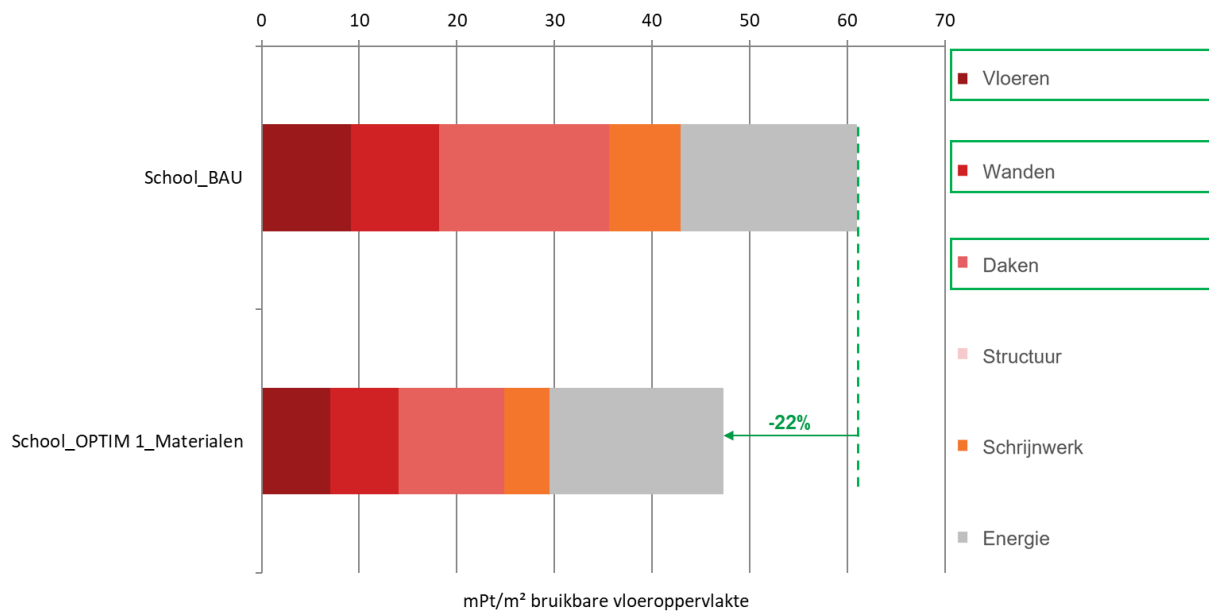
4.4.5 Schoolgebouw

De levenscyclusimpact en -kost van het geoptimaliseerd schoolgebouw (inclusief operationeel energieverbruik) worden weergegeven in Figuur 38 en Figuur 39. De substituties die werden ingevoerd voor de optimalisatie zijn dezelfde als voor het appartementsgebouw. Enkel de gevelisolatie van EPS was reeds in het BAU-scenario optimaal voor de gekozen toepassing in combinatie met crepi. Zo worden geglazuurde tegels, acrylverf, betonnen blokken en pvc-raamkaders vervangen door varianten van epoxy, kalkverf, gelijmde isolerende bakstenen en hardhouten raamkaders. Niet overal was een optimalisatie mogelijk. Namelijk in de ondergrondse delen van de school kon geen variant worden voorgesteld voor de betonnen blokken en de XPS-isolatie gezien de vochtige omstandigheden.

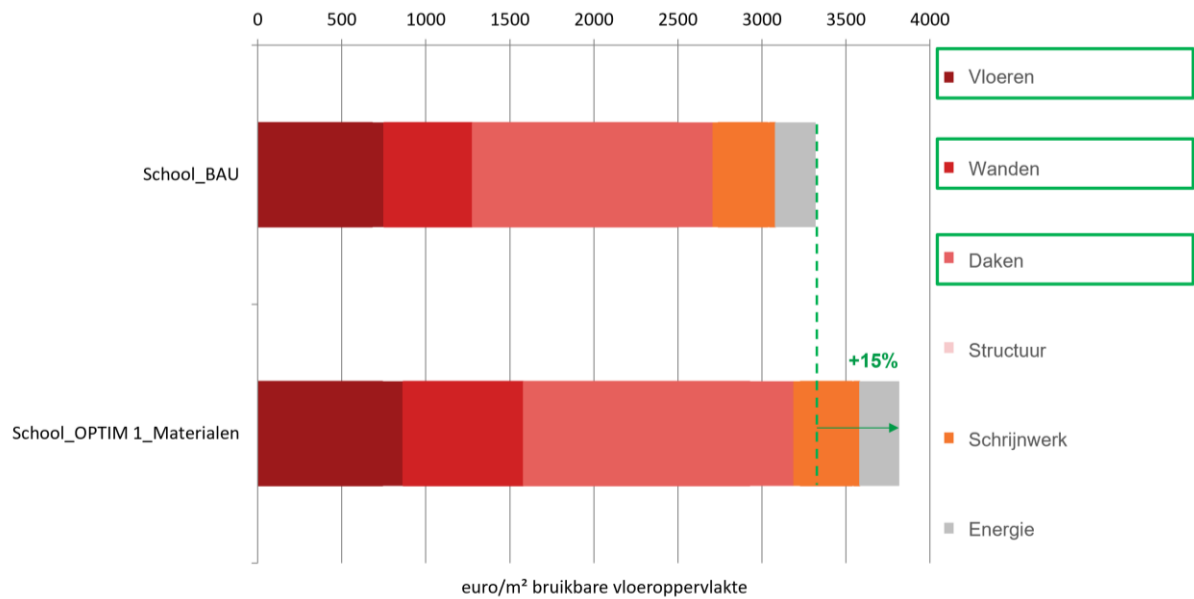
Het geheel van de materiaaloptimalisatie zorgt voor een grote reductie in de milieu-impact van de vloeren en de openingen. De totale reductie van de milieuscore bedraagt 22%. De milieu-impact van de A1-A5-fase daalt met 33%.

Indien er enkel voor de indicator klimaatverandering (GWP) geoptimaliseerd wordt, volgen niet dezelfde keuzes als voor de milieu-impact optimalisatie. Zo is, net zoals bij de woning, de reeds voorziene geglazuurde keramische tegel te verkiezen als vloerafwerking. Daar waar voorheen linoleum was voorzien zou men best ook keramische tegels voorzien. Indien we optimaliseren in functie van de indicator klimaatverandering bedraagt de totale kg CO₂ eq. reductie 15%.

De levenscycluskost van de geoptimaliseerde variant is gestegen met 15%. Er is een kleine toename in de levenscycluskost van de vloeren en het schrijnwerk en een lichte daling in die van de wanden. De investeringskost stijgt met 9%.



Figuur 38: Levenscyclusimpact van het schoolgebouw voor/na materiaaloptimalisatie opgedeeld per element



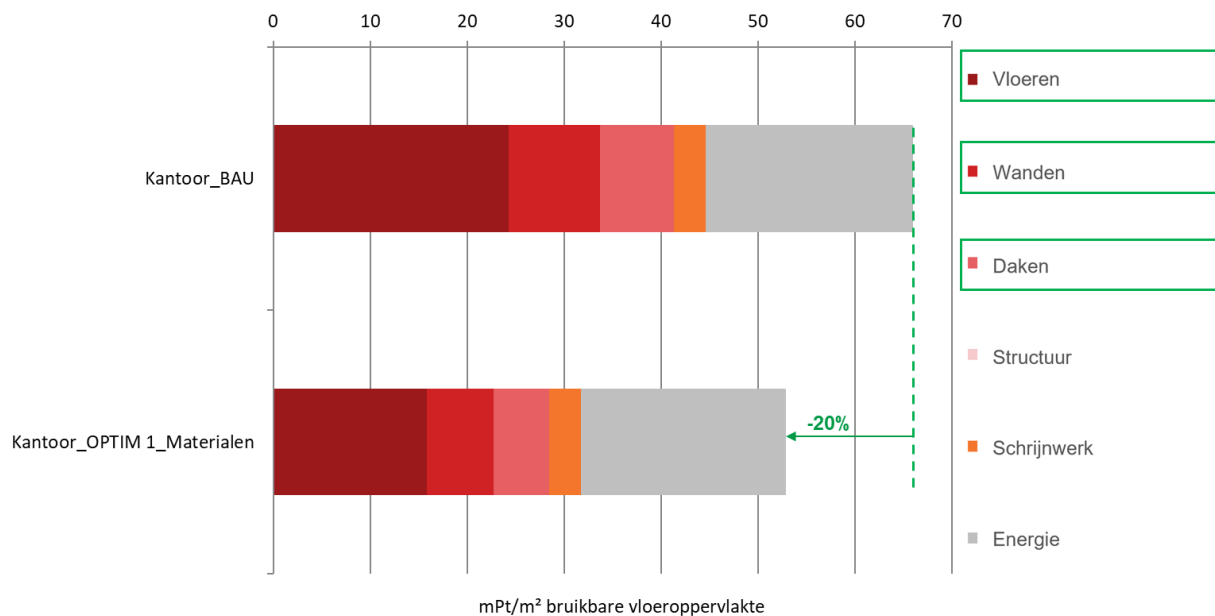
Figuur 39: Levenscycluskost van het schoolgebouw voor/na materiaaloptimalisatie opgedeeld per element

4.4.6 Kantoorgebouw

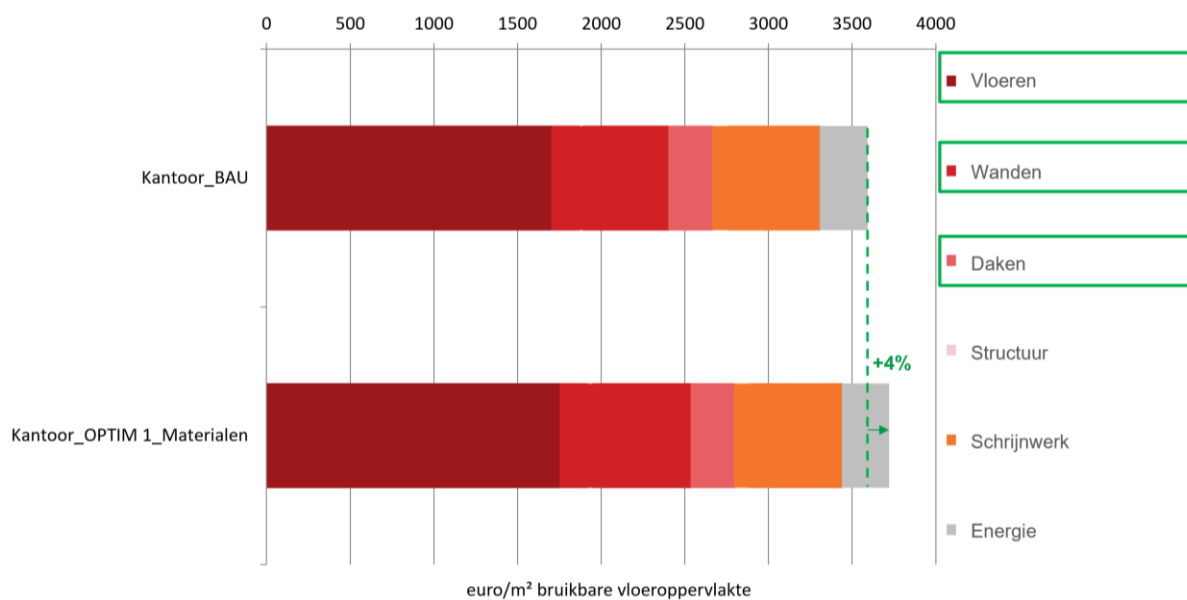
De levenscyclusimpact en -kost van het geoptimaliseerd kantoorgebouw (inclusief operationeel energieverbruik) worden weergegeven in Figuur 40 en Figuur 41. De substituties zijn gelijkaardig aan die van de vorige cases. Acrylverf wordt vervangen door kalkverf. De PUR-isolatie in de gevel en de vloer wordt vervangen door houtvezelisolatie en Resol-isolatie. De vloerafwerking van keramische en PVC-tegels wordt vervangen door een epoxy gietvloer. De niet-dragende binnenwanden die uitgevoerd waren als gipskartonwanden met een staalskelet en rotswol zijn vervangen door een alternatief met houtskelet en houtwolisolatie. De materiaaloptimalisaties zorgen voor een grote reductie in de milieu-impact van de vloeren en de wanden. Dit zijn de twee hoofdcategorieën van elementen die volgens de 80%-regel het grootste aandeel vertegenwoordigden voor de milieu-impact van het BAU-scenario. In de geoptimaliseerde versie hebben de daken een groter procentueel aandeel dan de wanden. De vloeren blijven de belangrijkste element-categorie. De totale reductie van de milieuscore bedraagt 20%, de reductie van de A1-A5-fase is 36%.

Indien enkel de indicator klimaatverandering geoptimaliseerd wordt, worden er enkele afwijkende keuzes gemaakt ten opzichte van de milieu-impact optimalisatie. Zo is, net zoals bij de woning en het appartementsgebouw, de reeds voorziene geglazuurde keramische tegel te verkiezen als vloerafwerking. Ook vlas scoort beter als gevelisolatie en als isolatie van de binnenwanden. De overige substituties komen overeen met de optimalisatie van de gehele milieu-impact. Indien we optimaliseren in functie van de indicator klimaatverandering bedraagt de totale kg CO₂ eq. reductie 11%.

Zowel de levenscycluskost als de investeringskost van de geoptimaliseerde variant zijn gestegen met 4%. Er is een kleine toename in de levenscycluskost van de vloeren en een iets grotere toename in die van de wanden.



Figuur 40 : Levenscyclusimpact van het kantoorgebouw voor/na materiaalloptimalisatie opgedeeld per element



Figuur 41: Levenscycluskost van het kantoorgebouw voor/na materiaalloptimalisatie opgedeeld per element

4.4.7 Conclusies

Door de materiaaloptimalisatie kunnen belangrijke milieu-impactreducties bereikt worden. De totale milieuscore werd gereduceerd met 29% in het kantoorgebouw tot 41% in het appartementsgebouw. De reductie van de indicator voor klimaatverandering (kg CO₂ eq.), waarbij in functie van deze indicator alleen wordt geoptimaliseerd, bedraagt 11% voor het kantoorgebouw en 19% voor het appartementsgebouw. Wanneer we enkel in functie van hoeveelheid CO₂ eq. optimaliseren maken we minder optimale keuzes op niveau van de geaggregeerde milieu-impact. Er is dus risico voor het verschuiven van de milieu-impact naar andere indicatoren.

Het vervangen van de isolatie en binnen-afwerkingsmaterialen resulteerde in grote reducties. Zonder de bouwwijze te veranderen waren de structurele elementen in veel gevallen reeds optimaal. Na optimalisatie bleven de elementcategorieën met de grootste impact in de BAU-case in de meeste gevallen nog steeds de grootste impact hebben.

Indien deze resultaten worden vergeleken met de resultaten voor de levenscycluskost, is er te zien dat voor sommige substituties de levenscycluskost daalt en voor andere stijgt. De totale levenscycluskost stijgt in de vier casestudies, met 4% in het kantoorgebouw tot 26% in het appartementsgebouw. De reductie van de milieu-impact is voor de vier cases procentueel veel groter dan de stijging in bouwkost. Een voorbeeld hiervoor is de substitutie van acrylverf door kalkverf. De milieu-impact van kalkverf is slechts 1% van de impact van acrylverf. De prijs van kalkverf bedraagt echter 320% van de prijs van acrylverf.

Voor de toepassing van kurktegels viel de lagere schoonmaakkost ten opzichte van een keramische vloer ook sterk op. Kurk wordt wekelijks enkel gestofzuigd, terwijl de keramische vloer zowel wordt gestofzuigd als gedweild, dit heeft een grote impact op de schoonmaakkosten.

Bij deze vervangingen werd een eventuele extra impact ten gevolge van een kleinere of grotere isolatiedikte (bij een andere lambda-waarde) niet meegerekend. Bijvoorbeeld, wanneer de isolatiedikte van een buitenwand stijgt, wordt er niet meer gevelmetselwerk gerekend. Bij de vervangingen in deze studie werd er maximaal 12 cm (buitengevel kantoorgebouw) toegevoegd ten gevolge van een andere materiaalkeuze. Deze extra impact kan ook niet begroot worden met de TOTEM-tool, aangezien voor elke laag in een element met dezelfde oppervlakte wordt gerekend.

4.5 ERELOONKOSTEN MATERIAALOPTIMALISATIE

4.5.1 Inleiding

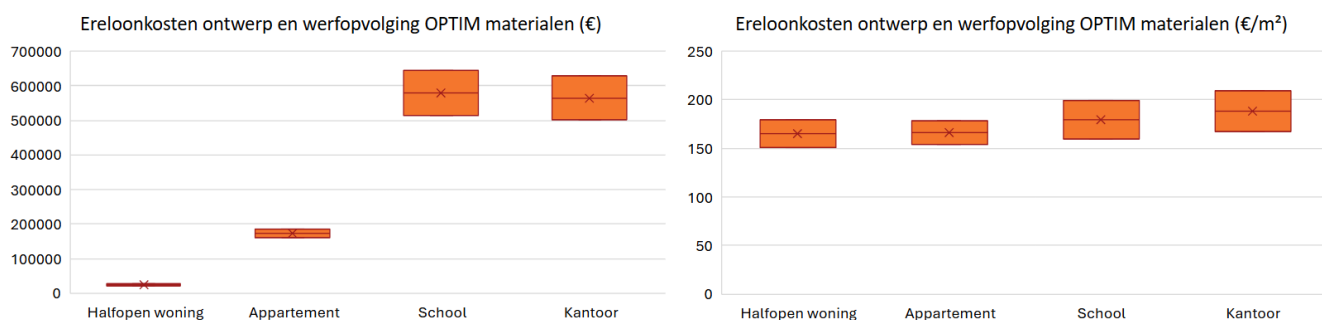
De methodologie voor de berekening van ereloonkosten voor de geoptimaliseerde varianten is analoog aan 4.2. De tijdsbesteding tijdens de materiaalloptimalisaties uit deel 4.4 werd bijgehouden om inschattingen te maken van de tijdsbesteding voor de materiaalloptimalisatie enerzijds en de TOTEM-modellering ervan anderzijds.

4.5.2 Ereloonkosten ontwerp en werfopvolging

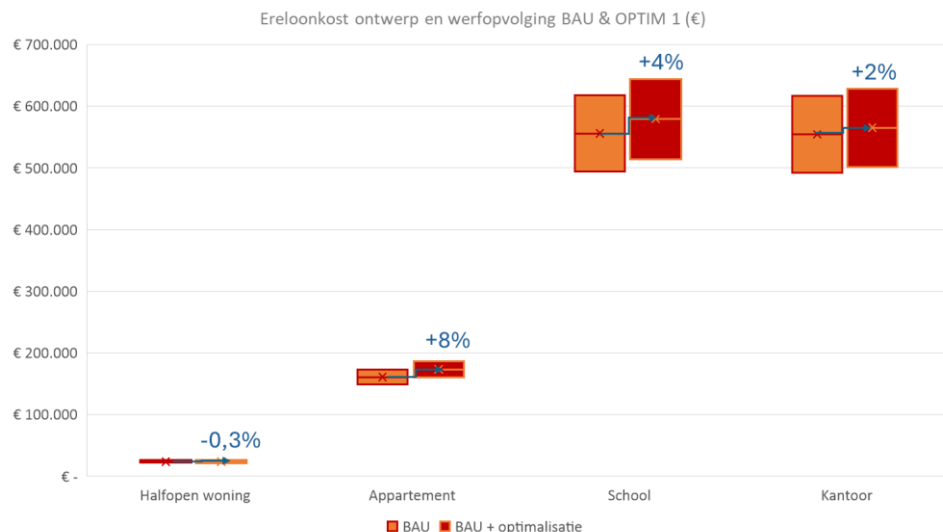
De ereloonkosten op basis van de investeringskosten van geoptimaliseerde gebouwvarianten worden weergegeven in

Figuur 42 en Figuur 43. Net zoals bij de BAU, is hier ook een vork gehanteerd voor de ereloon percentages. Aangezien de bouwkosten voor de vier cases zijn gestegen, stijgen de erelonen ook. Echter, voor de berekening van de erelonen wordt enkel rekening gehouden met de financiële investeringskosten A1- A5. Bij de halfopen woning liggen deze kosten lager in de geoptimaliseerde versie dan in de BAU. Het ereloon ligt daarom ook lager. Het forfaitair bedrag, dat werd ingerekend voor de technische installaties en het vast meubilair, blijft constant. Ook daarom stijgen of dalen de erelonen niet op dezelfde manier als de investeringskosten A1-A5 zoals beschreven in sectie 3.6.

Gebouw	Oppervlakte (m ²)	Bouwkost (€)	Bouwkost (€/m ²)	Installaties en vast meubilair (€)	Installaties en vast meubilair (€/m ²)	Totale kost A1-A5 (€)	Totale kost A1-A5 (€/m ²)	Ereloon (%) - ondergrens	Ereloon (%) - bovengrens	Totaal (€) - ondergrens	Totaal (€) - bovengrens
Halfopen woning	144	215.945	1500	108.000	750	323.945	2250	6,68%	8%	21.640	25.916
Appartement	1042	1.440.324	1382	885.700	850	2.326.024	2232	6,90%	8%	160.496	186.082
School	3226	3.855.782	1195	4.193.943	1300	8.049.725	2495	6,39%	8%	514.377	643.978
Kantoor	3009	3.943.429	1311	3.911.791	1300	7.855.220	2611	6,39%	8%	501.949	628.418



Figuur 42: Ereloonkosten gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging voor de geoptimaliseerde varianten (exclusief BTW). Enkel het ereloon van de architect is beschouwd (niet deze voor eventuele andere partijen).



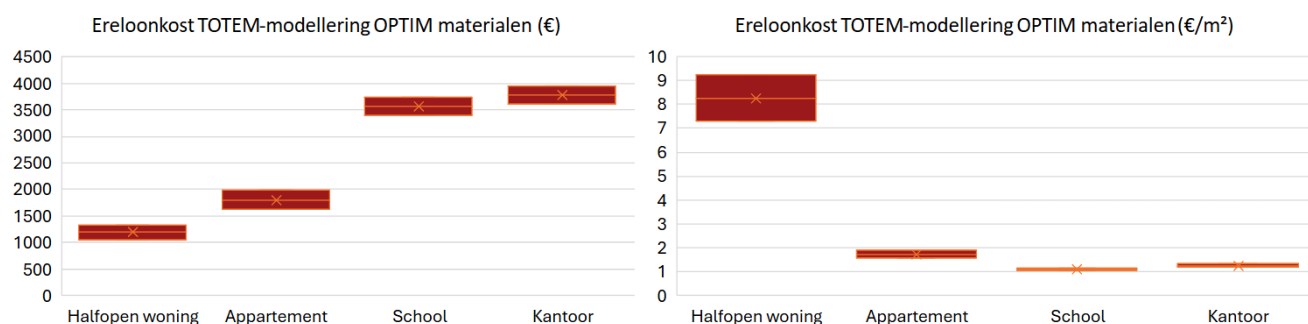
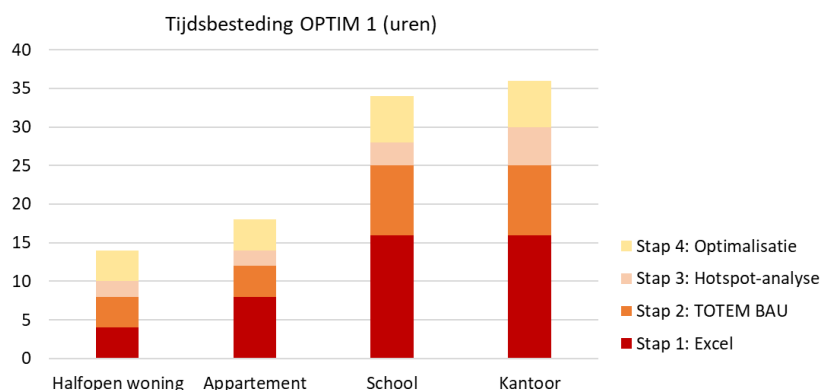
Figuur 43: Evolutie van de ereloonkosten gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging tussen de BAU en geoptimaliseerde varianten

4.5.3 Ereloonkosten TOTEM modellering

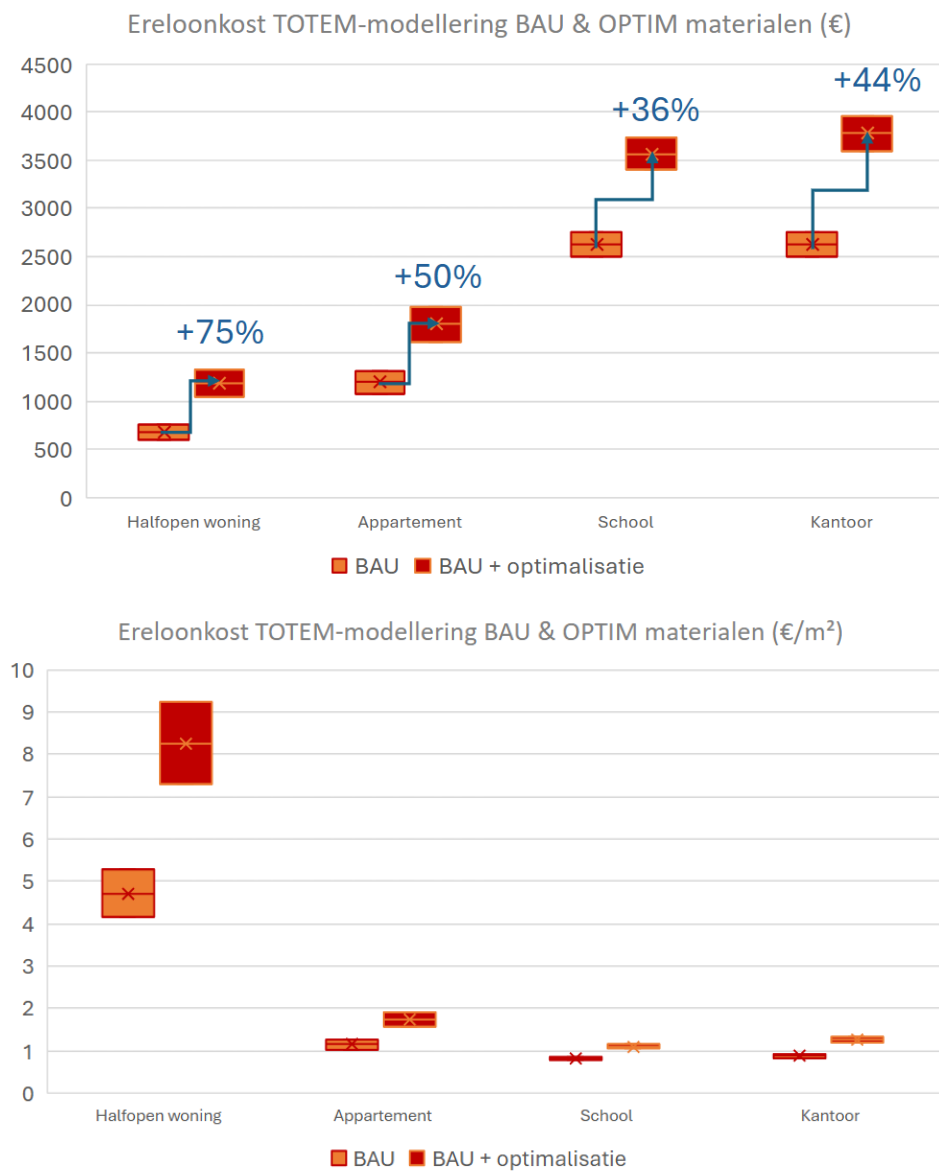
Voor het bepalen van de ereloonkost gelinkt aan de TOTEM modellering wordt hier de bijkomende kosten ten gevolge van de materiaalsoptimalisatie berekend ten opzichte van de TOTEM-kosten voor het BAU-scenario (Figuur 44 en Figuur 45). De tijdsbesteding wordt opgesplitst tussen de hotspotanalyse en de materiaalsoptimalisatie zelf. Het aantal elementen dat voorkomt in een gebouw heeft een grote impact op de hoeveelheid tijd die nodig is voor de hotspotanalyse, zoals het geval was bij het kantoorgebouw. In het geval van het kantoorgebouw waren enkele substituties niet mogelijk, aangezien het massiefbouwprincipe werd behouden. Hierdoor was de modelleringstijd beperkt t.o.v. meer doorgedreven optimalisaties. Voor de ereloonkost per m² wordt het verschil bij de optimalisatie nog groter tussen de woning en de andere drie cases.

De materiaalsoptimalisatie zal minder tijd in beslag nemen indien de uitvoerder meer ervaring heeft, maar de hotspotanalyse zal niet veel sneller kunnen uitgevoerd worden. In hoofdstuk 7 worden aanbevelingen voor TOTEM geformuleerd om hier tijd (en dus ereloonkost) te besparen.

Gebouw	Oppervlakte (m²)	Stap 1+ 2: Excel & TOTEM BAU (h)	Stap 3: Hotspot (h)	h/m²	Stap 4 : Optimalisatie (h)	h/m²	Totaal (h)	Ereloon (€/h) - ondergrens	Ereloon (€/h) - bovengrens	Totaal (€) - ondergrens	Totaal (€) - bovengrens
Halfopen woning	144	8	2	0,056	4	0,028	14	75	95	1050	1330
Appartement	1042	12	2	0,012	4	0,004	18	90	110	1620	1980
School	3226	25	3	0,008	6	0,002	34	100	110	3400	3740
Kantoor	3009	25	5	0,008	6	0,002	36	100	110	3600	3960



Figuur 44: Ereloonkost gerelateerd aan de TOTEM modellering voor de geoptimaliseerde varianten



Figuur 45: Evolutie van de ereloonkost gerelateerd aan TOTEM-modellering tussen de BAU en geoptimaliseerde varianten

4.5.4 Conclusies

Materiaaloptimalisatie binnen bouwprojecten vereist een diepgaand inzicht in zowel ontwerpmogelijkheden als de eigenschappen en prestaties van materialen. Een doordachte keuze van materialen beïnvloedt niet alleen de energieprestatie, maar ook de duurzaamheid, functionaliteit en bouw fysieke kwaliteiten van een gebouw.

Omdat de architect van bij de start van het ontwerp de materiaalkeuzes op elkaar afstemt, is hij of zij goed geplaatst om deze optimalisatie te integreren in het ontwerpproces. Dit zorgt ervoor dat duurzaamheid van meet af aan een kernonderdeel is van het bouwconcept, waarbij technische en esthetische aspecten in balans blijven.

Indien de architect wordt vergoed op basis van een percentage, kan de stimulans voor een kostenoptimale milieu-impactreductie beperkt zijn. Een correcte vergoeding voor een TOTEM en kosten studie is aangeraden om te vermijden dat dergelijke optimalisaties niet grondig zouden gebeuren.

Deze inzichten zijn gebaseerd op de eerder vermelde aannames en beperkte set casestudies. Verder onderzoek is aangeraden om de impact van verschillende rolverdelingen en vergoedingsmodellen beter te begrijpen. Een grondige analyse zou kunnen bijdragen aan een evenwichtige en duurzame werkwijze binnen de sector.

Voor de kleine woning weegt de bijkomende kost voor een TOTEM-berekening zwaarder door dan voor de andere projecten. Naarmate een gebouw groter wordt maar niet complexer, vraagt dit niet veel meer werk in TOTEM en dus ook niet veel meer ereloon.

4.6 BOUWKOSTEN ONTWERPOPTIMALISATIE

4.6.1 Inleiding

Er worden twee gebouwen verder geoptimaliseerd naar ontwerpparameters. Voor de woning ($< 1000 \text{ m}^2$) en de school ($> 1000 \text{ m}^2$) worden alternatieve ontwerpscenario's bekeken. De ontwerprichtlijnen voor schoolgebouwen en normen naar woonkwaliteit en comfort worden hierbij steeds nageleefd.

4.6.2 Methode ontwerpoptimalisaties

De geanalyseerde ontwerpvarianten focussen op drie aspecten: compacter bouwen, een aanpassing van het type constructie (houtskeletbouw i.p.v. massiefbouw) en het gebruik van biogebaseerde materialen. Drie stappen worden doorlopen om de strategieën uit te werken: eerst worden de strategieën vertaald naar gebouwgeometrie en elementoplossingen, vervolgens worden deze gemodelleerd in TOTEM en de MMG+_KULeuven tool om de milieu-impact te vergelijken met de BAU-variant en tenslotte worden kostendata opgezocht en een LCC-berekening uitgevoerd op analoge manier als voor de BAU. Meer bepaald zijn de stappen als volgt uitgevoerd.

1. Uitwerking strategieën

De volgende vijf optimalisatiestrategieën worden geanalyseerd:

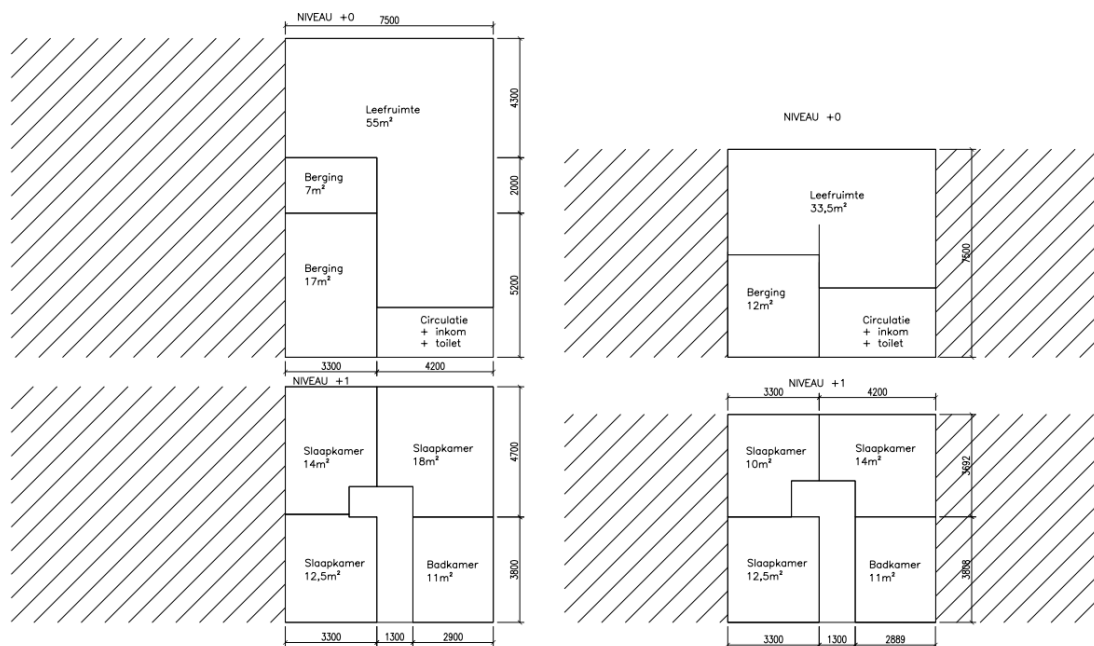
- OPTIM 1_Materialen: deze strategie focust op materiaaloptimalisatie zonder aanpassing van het oorspronkelijke type constructie (massiefbouw). Deze strategie werd reeds in detail besproken in sectie 4.4 en wordt in deze sectie enkel als referentie weergegeven in de grafieken en tabellen.
- OPTIM 2_Compact: deze strategie focust op compacter bouwen door de reductie van het gebouwvolume en herschikking van de ruimtes. De nieuwe elementenhoeveelheden worden geïnventariseerd en gebruikt voor het opstellen van een nieuw model in TOTEM.
- OPTIM 3_Houtskelet: gezien de structuur een belangrijke financiële en milieu-impact heeft, is een houtskeletbouw-variant uitgewerkt. Alternatieve gebouwelementen in houtskelet worden in TOTEM gemodelleerd en de isolatie- en afwerkingslagen worden overeenkomstig de nieuwe structuur aangepast (bv. gipspleister wordt gipskarton).
- OPTIM 4_Bio: de houtskeletbouw-variant wordt verder aangepast door zoveel mogelijk biogebaseerde materialen te gebruiken voor de isolatielagen en afwerkingen. Voor deze biogebaseerde variant worden ook de verschillende elementen uitgewerkt en gemodelleerd in TOTEM.
- OPTIM 5_Combi: de scenario's OPTIM 2 en OPTIM 4 worden gecombineerd in een bijkomende optimalisatiestap.

2. De resultaten voor de geaggregeerde milieuscore (mPt) en de indicator klimaatverandering van OPTIM 1, OPTIM 2, OPTIM 3, OPTIM 4 en OPTIM 5 worden vergeleken met het BAU-scenario.

3. De kosten van de alternatieve scenario's worden geanalyseerd. Hierbij wordt er ook gekeken naar de wijziging in kostprijs per gereduceerde of bijkomende mPt.

4.6.3 Halfopen woning

In de compactere variant (OPTIM 2_Compact) wordt de halfopen woning enerzijds getransformeerd naar een rijwoning (zie plannen in Figuur 46) en anderzijds wordt de garage geschrapt. De ruimtes worden herschikt met als resultaat een kleinere rijwoning die volledig onder het hellend dak past (zonder uitbouw aan de achterzijde). De materiaalkeuzes blijven dezelfde als bij het BAU-scenario. De woning verkleint hierdoor van 144 m² (inclusief garage) naar 109 m², wat neerkomt op een reductie van 24% in bruikbare vloeroppervlakte. De veranderde elementenratio's worden weergegeven in Tabel 4. De totale verliesoppervlakte daalt hierdoor met 40%.



Figuur 46: Plannen van de halfopen woning (links) en de compactere versie als rijwoning (rechts)

De compacte variant geeft per m² bruikbare vloeroppervlakte een iets lagere milieu-impact (-3%) dan de BAU-variant (zie Figuur 47), maar de totale milieu-impact voor het volledige gebouw daalt met 27% (zie Tabel 5). De levenscycluskost per vierkante meter daalt met 1% (zie Figuur 48). De investeringskost voor het volledige gebouw daalt met 25 %.

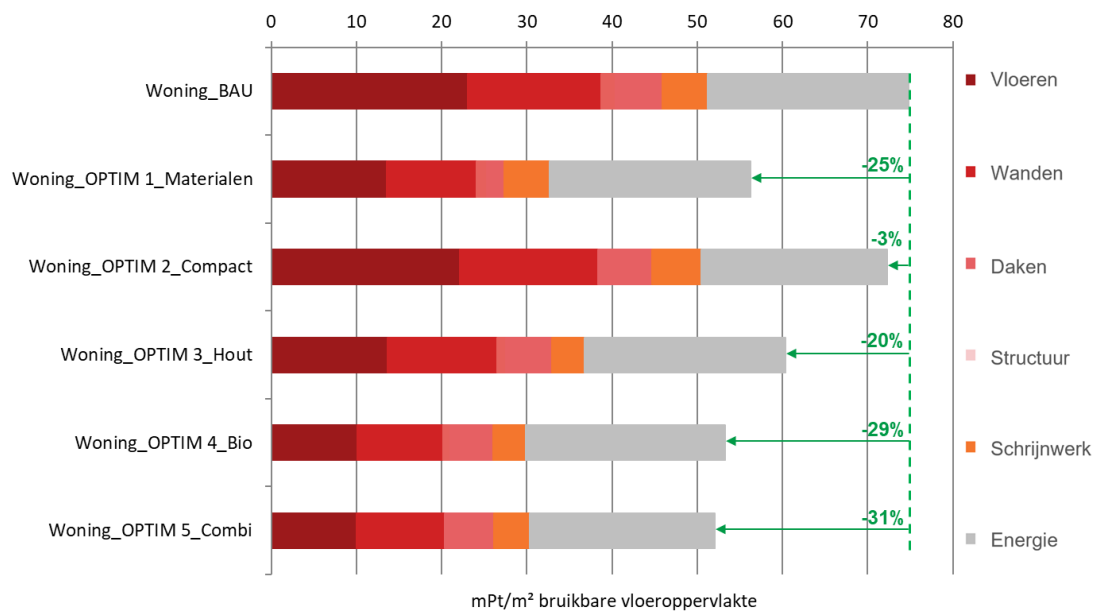
Bij de derde optimalisatiestrategie wordt het type constructie aangepast naar een houtskeletbouw (OPTIM 3_Hout), hierbij wordt de gebouwgeometrie van het BAU-scenario behouden. De dragende elementen worden vervangen door een houten draagstructuur die in de wanden en verdiepingvloeren wordt opgevuld met rotswolisolatie. Het dak was reeds met een houten structuur en rotswol voorzien in het BAU-scenario. De vloer op volle grond blijft ongewijzigd. De gevelafwerking wordt vervangen door houten planken. De levenscyclus milieu-impact daalt met 20% (zie Figuur 47) en resulteert in een prijsdaling van 13% over de volledige levensduur (zie Figuur 48), de investeringskost stijgt met 6%.

Tabel 4: Elementenratio's van de BAU en compacte woning (t.o.v. de bruikbare vloeroppervlakte BVO)

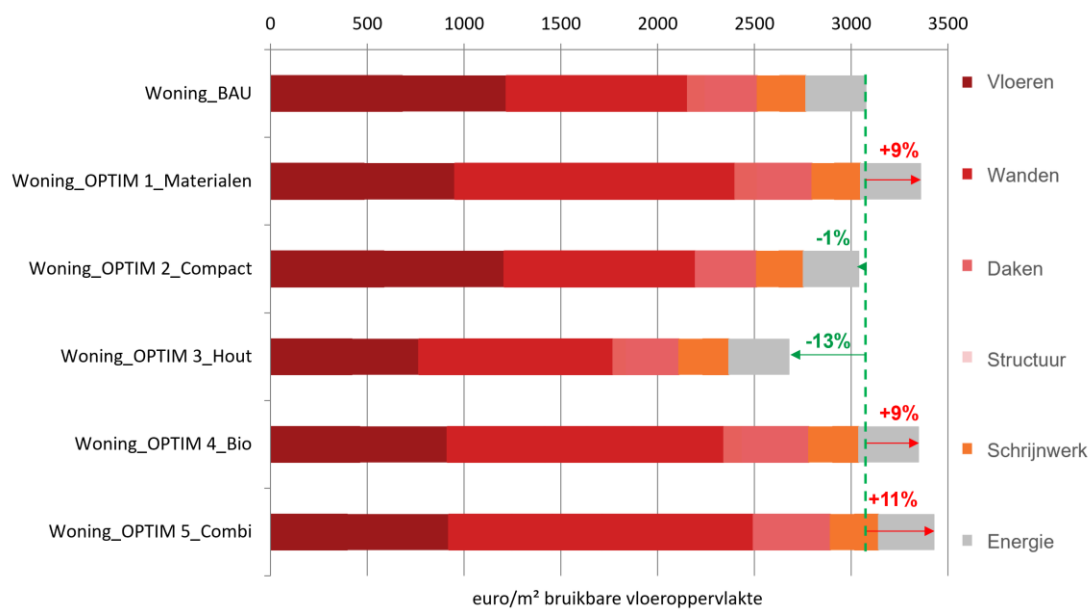
Ratio elementen (eenheid/m ² BVO)	BAU	Optim 2_Compact
Vloer op volle grond (m ²)	0,60	0,51
Verdiepingsvloer (m ²)	0,42	0,48
Buitenwanden (m ²)	0,72	0,47
Dragende binnenwanden (m ²)	0,29	0,28
Niet-dragende binnenwanden (m ²)	0,33	0,36
Gemene muur (m ²)	0,45	0,75
Plat dak (m ²)	0,16	-
Hellend dak (m ²)	0,44	0,52
Buitenraam (m ²)	0,11	0,11
Buitendeur (stuk)	0,01	0,02
Binnendeur (stuk)	0,05	0,06

In een verdere stap wordt de houtskeletbouwvariant verder aangepast om zoveel mogelijk biogebaseerde materialen toe te passen (OPTIM 4_Bio). Hierbij wordt de gebouwgeometrie van het BAU-scenario eveneens behouden. Waar geen biogebaseerd alternatief in TOTEM beschikbaar is, wordt overgegaan op 'natuurlijke' materialen waar mogelijk. Een voorbeeld hiervan is de substitutie van acrylverf door kalkverf. Verder wordt de vloer op volle grond vervangen door een systeem met schelpenisolatie. De opbouw uit de HSB-variant wordt gevolgd maar in plaats van rotswol wordt nu houtwol toegepast. De OPTIM 4_Bio leidt tot een reductie van de milieu-impact van 29% (zie Figuur 47) t.o.v. de BAU en in een financiële meerkost van 9% (zie Figuur 48) doorheen de hele levenscyclus. Ook deze variant vergt een hogere investeringskost, met een toename van 7%.

Tot slot wordt in de laatste optimalisatievariant een combinatie gemaakt tussen compacter bouwen en het gebruik van biogebaseerde materialen (OPTIM 5_Combi). Deze optie zorgt op schaal van de volledige woning voor de grootste milieu-impactreductie (-48%). Per m² ligt de verbetering lager met 31% (zie Figuur 47). De levenscycluskost op gebouwniveau daalt met 16% bij deze combinatie-optimalisatie (zie Figuur 48), per vierkante meter stijgt de levenscycluskost met 11%. De investeringskost voor het volledige gebouw daalt met 26%.



Figuur 47: Levenscyclusimpact van de halfopen woning voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per element.



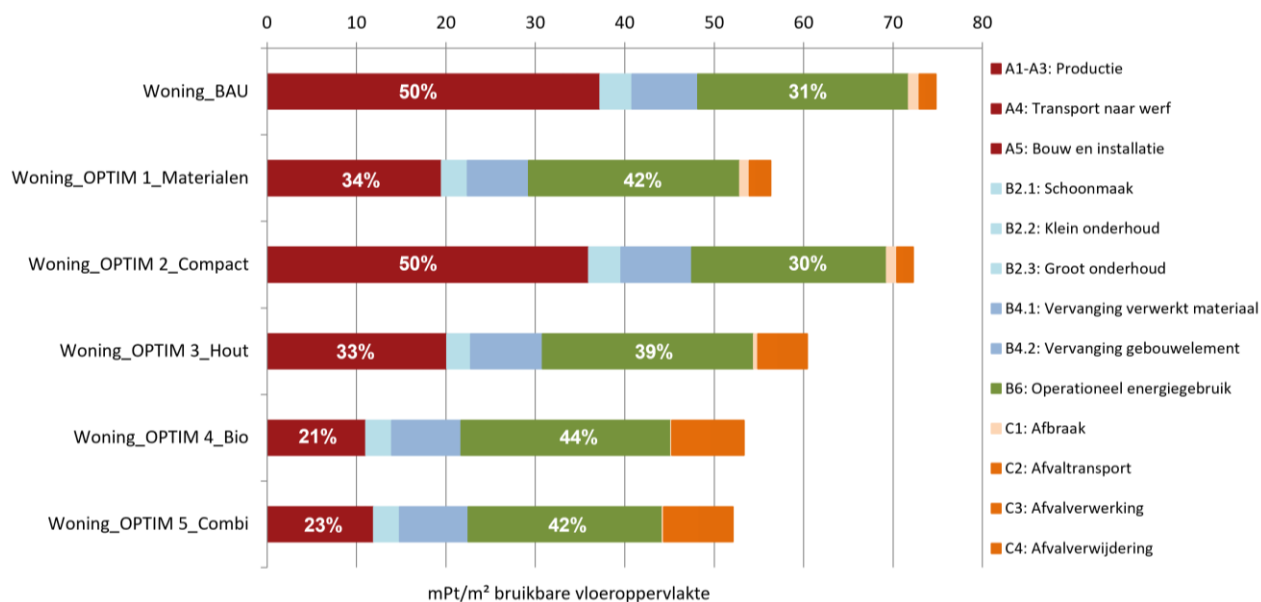
Figuur 48: Levenscycluskost van de halfopen woning voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per element.

Tabel 5: Totale levenscyclusimpact en -kost (inclusief energieverbruik) van de halfopen woning voor de BAU- en optimalisatiescenario's

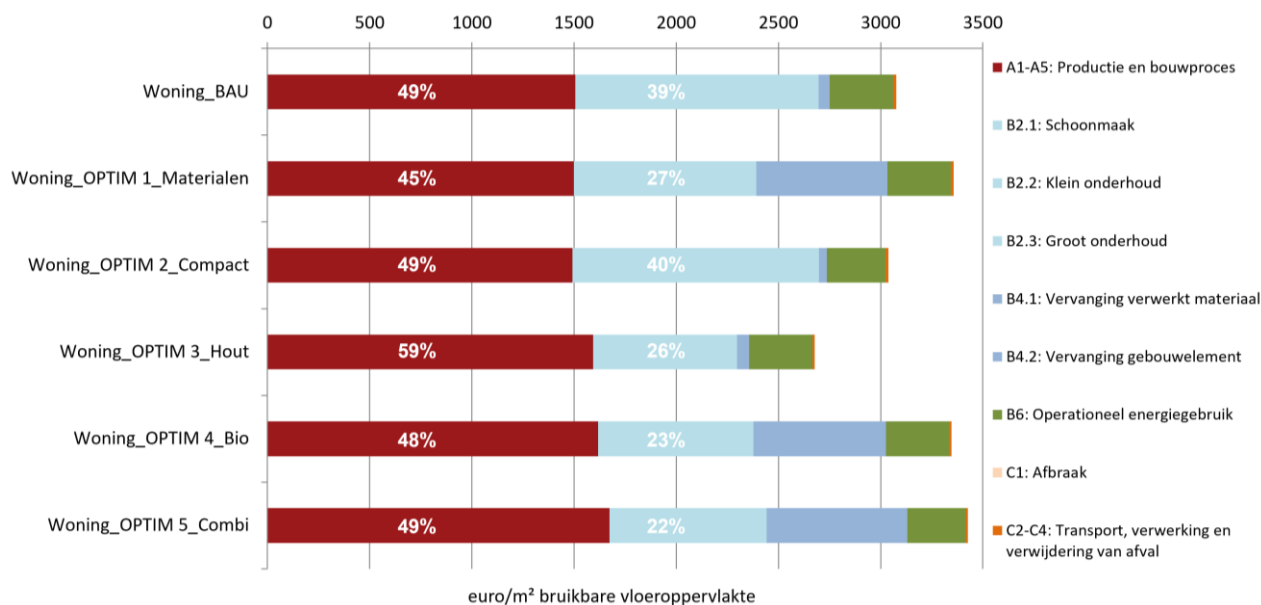
	BAU	OPTIM 1_ Materialen	OPTIM 2_ Compact	OPTIM 3_Hout	OPTIM 4_Bio	OPTIM 5_Combi
LCA	10.812 mPt	8153 mPt	7916 mPt	8691 mPt	7653 mPt	5646 mPt
		-25%	-27%	-20%	-29%	-48%
LCC	442.978€	483.518 €	331.215 €	385.670 €	481.969 €	373.609 €
		+9%	-25%	-13%	+9%	-16%

De vergelijking tussen de 5 optimalisatiestrategieën op gebouwniveau in Tabel 5 toont dat de grootste totale kostenreductie kan gerealiseerd worden door compacter te bouwen (OPTIM 2) en te kiezen voor houtskelet (OPTIM 3). De materiaalsoptimalisatie (OPTIM 1) en biogebaseerde variant (OPTIM 4) leiden allebei tot een meerkost ten opzichte van het BAU-scenario. Vanuit milieuoogpunt leidt de houtskeletvariant tot de kleinste totale impactreductie en de biogebaseerde variant tot de grootste. De isolatiematerialen werden vervangen door een variant van biogebaseerde aard. Ook de acrylverf werd vervangen door kalkverf omdat dit een minder synthetisch product is (niet biogebaseerd). Deze wijzigingen resulteren in een groot verschil in milieu-impact, maar ook in levenscycluskost.

De verdeling van de levenscyclusimpact en -kost over de verschillende levenscyclusfasen wordt getoond in Figuur 49 en Figuur 50. Het energieverbruik (B6) weegt veel zwaarder door bij de milieu-impact dan bij de financiële kost. De verschillende optimalisatiestrategieën geven grote variaties in de A1-A5 fasen voor de milieu-impact. Bij de financiële kost blijft de investeringskost echter veel stabiel. Daarnaast valt het ook op dat de materiaalsoptimalisatie, houtskeletvariant en biogebaseerde variant financieel gezien veel minder onderhoud en schoonmaak vergen, maar bij de materiaal optimalisatie en de biogebaseerde variant zijn er dan wel meer vervangingen. Bij de biogebaseerde en houtskeletbouw varianten wegen de C3-C4 fasen beduidend zwaarder door op de milieu-impact ten opzichte van woningen met een massieve draagstructuur aangezien de gestockeerde CO₂ eq. in de biogebaseerde materialen op het einde van de levensduur opnieuw vrijkomt.



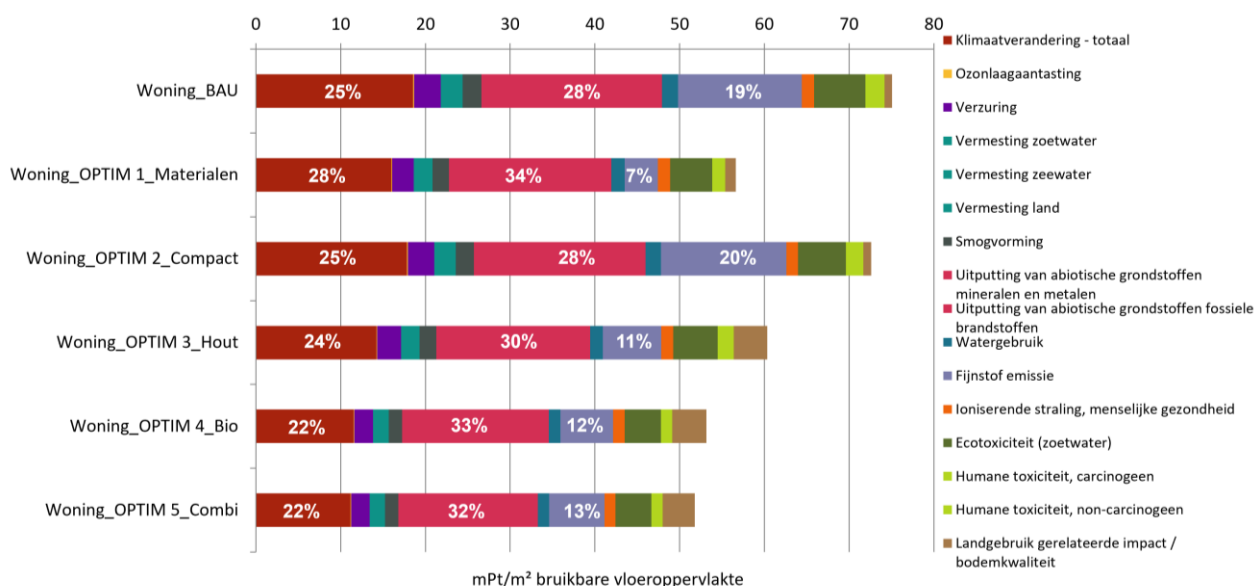
Figuur 49: Levenscyclusimpact van de halfopen woning voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per levenscyclusfase



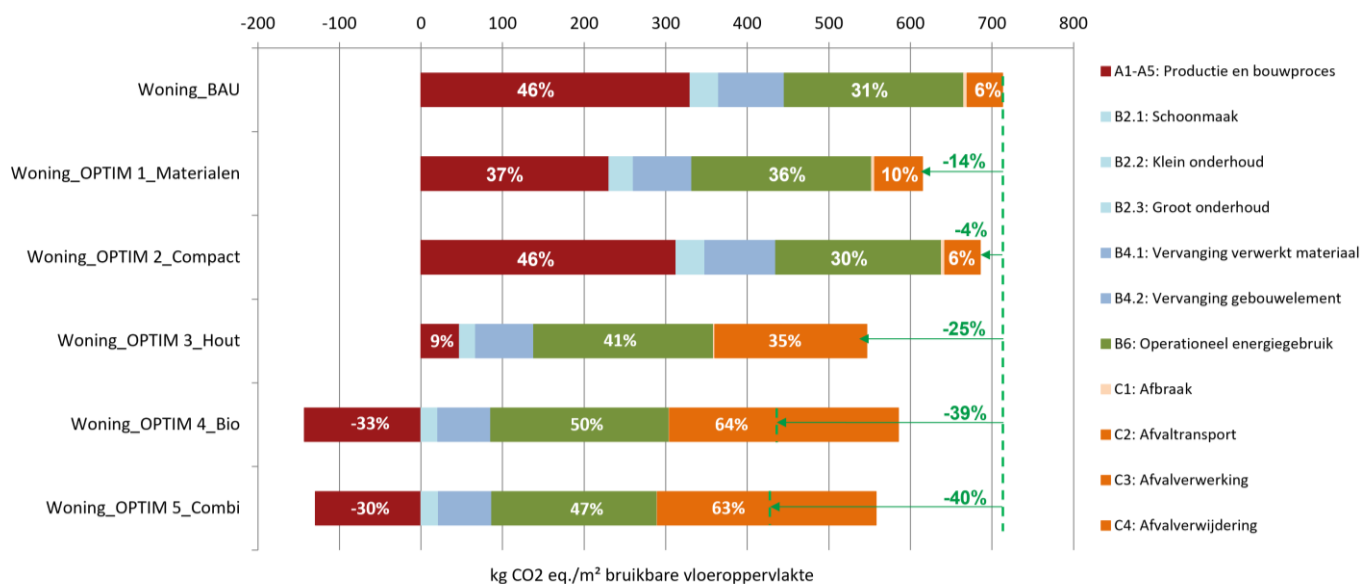
Figuur 50: Levenscycluskost van de halfopen woning voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per levenscyclusfase

Uit de vergelijking van de milieu-indicatoren (zie Figuur 51) blijkt dat de biogebaseerde en houtskeletbouw-varianten een grotere impact hebben op landgebruik, maar een lagere impact (in absolute cijfers) veroorzaken wat betreft klimaatverandering en uitputting van grondstoffen. De materiaal optimalisatie heeft dan weer het grootste effect op fijnstof. Dit is vooral te wijten aan het weglaten van de keramische vloertegels. Uit hoofdstuk 4.4.7 kon reeds geconcludeerd worden dat indien enkel naar klimaatverandering gekeken wordt, soms minder optimale keuzes gemaakt worden op niveau van de geaggregeerde milieu-impact (alle indicatoren samen).

In Figuur 52 wordt verder gefocust op de levenscyclus CO₂ eq.-impact en de verdeling over de levenscyclusfasen. Vooral fasen A1-A5 reduceren in grote mate door de toepassing van hout en andere biogebaseerde materialen. Aangezien er bij OPTIM4 en OPTIM5 ook ingezet wordt op biogebaseerde isolatie en natuurlijke afwerkingsmaterialen daalt de CO₂ eq.-impact hier meer en is er in deze fasen zelfs een netto CO₂-opslag (negatieve impact). Op het einde van de levensduur van de materialen komt deze opslag wel terug vrij, zoals te zien is bij de fasen C3-C4 in de grafiek.



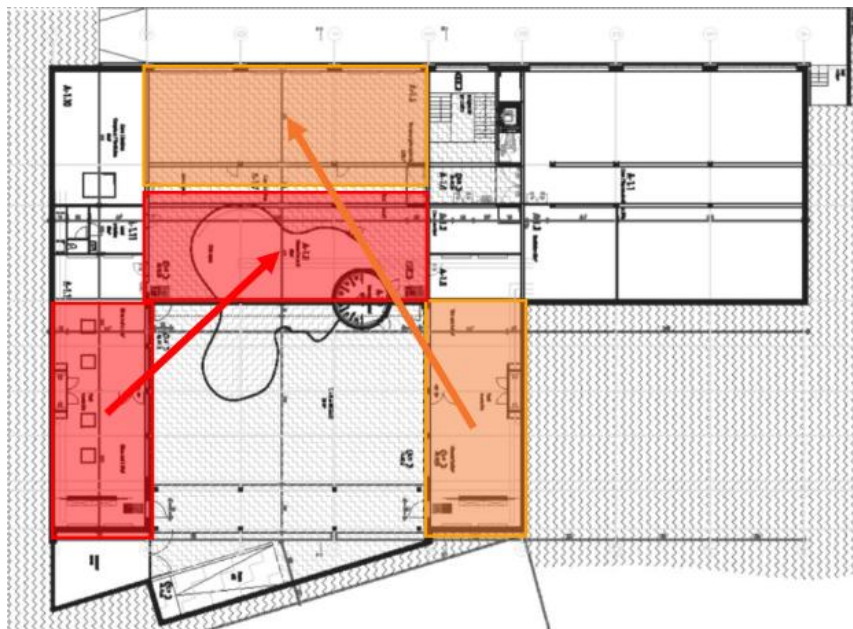
Figuur 51: Levenscyclusimpact van de halfopen woning voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per impactindicator



Figuur 52: Levenscyclus-CO₂ eq.-impact van de halfopen woning voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per levenscyclusfase

4.6.4 Schoolgebouw

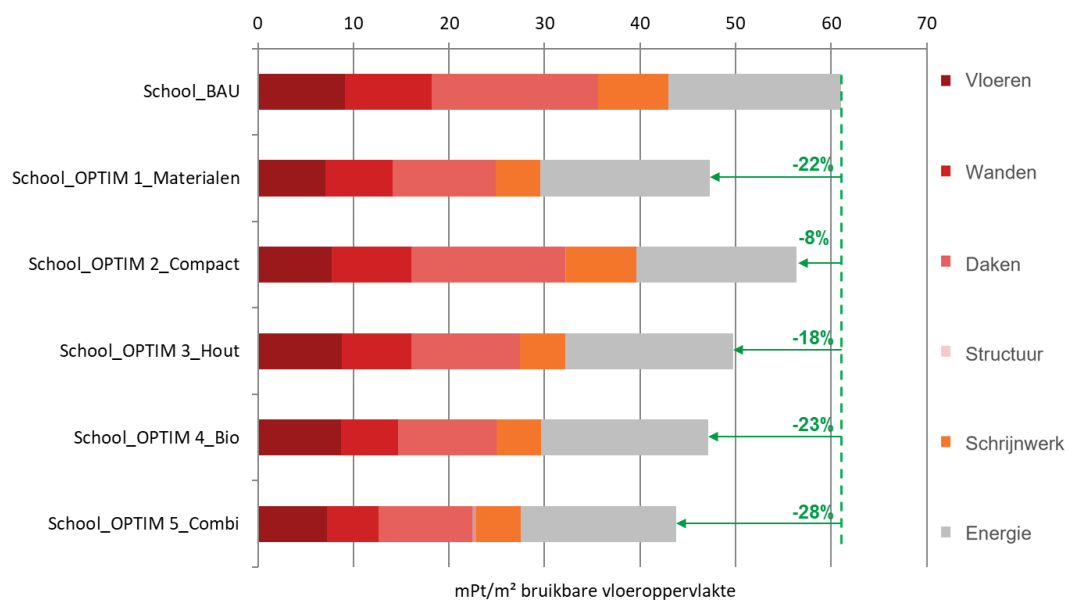
Om de compactheid van het schoolgebouw te verhogen, is ervoor gekozen bij OPTIM2 de overdekte speelplaats van 386 m², die momenteel onder het gebouw ligt, uitpandig te voorzien. De twee volumes die momenteel dwars op het hoofdvolume zijn voorzien zouden de ruimte van de overdekte speelplaats kunnen opvullen om een compacte balk te vormen (zie Figuur 53). Dezelfde oppervlakte aan overdekte speelplaats wordt dan voorzien onder een vrijstaande structuur. Deze vrijstaande structuur van 386 m² en 4m hoog bestaat uit betonnen structurele elementen met vezelcement golfplaten en is zo gemodelleerd in TOTEM. De bruikbare vloeroppervlakte van de school blijft dus gelijk, maar de verliesoppervlakte daalt hierdoor met 14,9%. De gewijzigde ratio's van de elementen worden weergegeven in Tabel 6. Dit zorgt voor een daling van de impact met 8% (zie Figuur 54 en Tabel 7), zowel per vierkante meter als op gebouwniveau. De financiële levenscycluskost daalt zowel per m² als op gebouwniveau met 6% (zie Figuur 55 en Tabel 7).



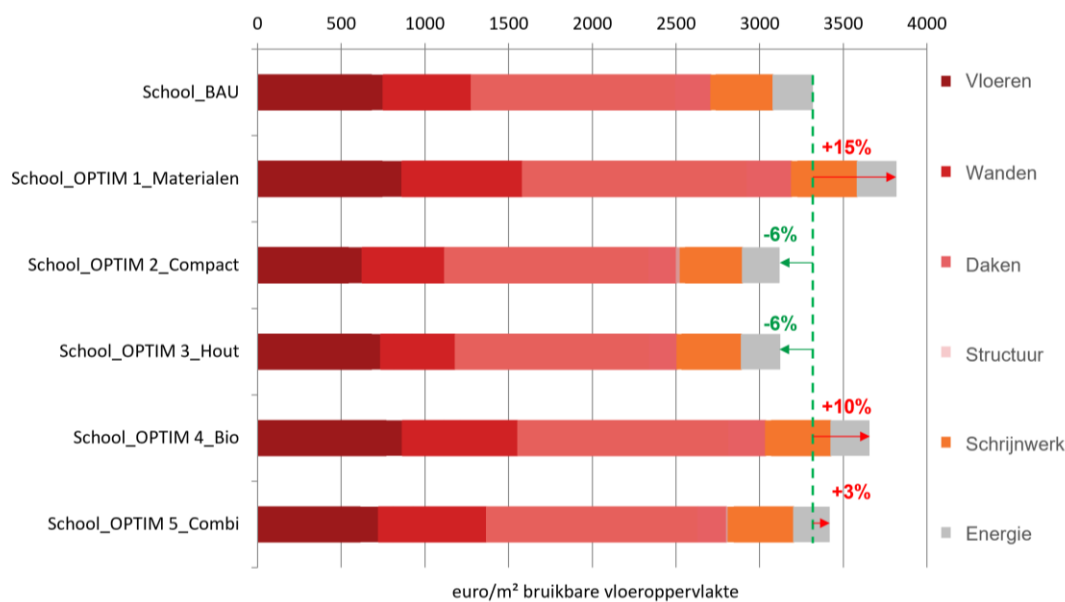
Figuur 53: Plan van de school met aanduiding van de ruimtelijke aanpassingen om de compactheid te vergroten. De overdekte speelplaats onder het gebouw wordt 'opgevuld' met de volumes die dwars op het hoofdvolume voorzien waren om een compactere balk te bekomen.

Tabel 6: Elementenratio's van de BAU en compacte school (t.o.v. de bruikbare vloeroppervlakte BVO)

Ratio elementen (eenheid/m ² BVO)	BAU	Compact
Vloer op volle grond (m ²)	0,39	0,31
Verdiepingsvloer (m ²)	0,61	0,61
Buitenwanden (m ²)	0,16	0,13
Dragende binnenwanden (m ²)	0,34	0,31
Niet-dragende binnenwanden (m ²)	0,45	0,45
Gemene muur (m ²)	0,14	0,14
Plat dak (m ²)	0,34	0,27
Hellend dak (m ²)	0,05	0,05
Buitenraam (m ²)	0,19	0,19
Buitendeur (stuk)	0,01	0,01
Binnendeur (stuk)	0,03	0,03
Overdekte speelplaats (m ²)	-	0,15



Figuur 54: Levenscyclusimpact van de school voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per element.



Figuur 55: Levenscycluskost van de school voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per element.

Tabel 7: Totale levenscyclusimpact en -kost (inclusief energieverbruik) van de school voor de BAU- en optimalisatiescenario's

	BAU	OPTIM 1_ Materialen	OPTIM 2_ Compact	OPTIM 3_Hout	OPTIM 4_Bio	OPTIM 5_Combi
LCA	196.610 mPt	152.366 mPt	181.679 mPt	160.188 mPt	151.846 mPt	141.058 mPt
		-23%	-8%	-19%	-23%	-28%
LCC	10.689.334 €	12.306.572 €	10.052.189 €	10.063.641 €	11.788.616 €	11.015.688 €
		+15%	-6%	-6%	+10%	+3%

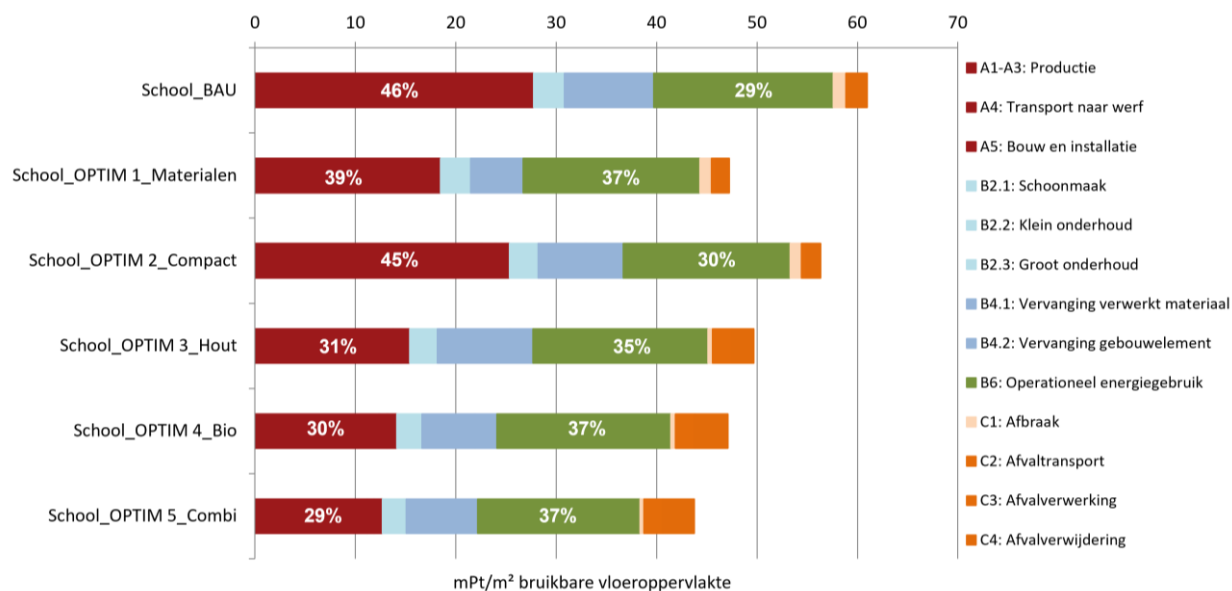
Bij de derde optimalisatiestrategie wordt de betonnen structuur van de school vervangen door een houtskeletbouw-variant, waarbij de oppervlaktes van het BAU-scenario worden behouden. De dragende elementen worden vervangen door een houtskelet (wanden, vloeren en daken). De isolatie wordt tussen de houten structuur geplaatst en vervangen door rotswol (in plaats van PUR). De kelderwanden en vloer op volle grond blijven ongewijzigd. De profielen van het schrijnwerk worden in hardhout voorzien (in plaats van PVC). De levenscyclus-milieu-impact per m² daalt hierdoor met 18% (zie Figuur 54) en resulteert in een prijsdaling van 6% (zie Figuur 55). De investeringskost per m² daalt met 7%.

In een vierde optimalisatie wordt waar mogelijk ingezet op biogebaseerde materialen. Zo is een vloerafwerking in parket of met soepele kurktegels, zoals in de woning, niet aangewezen in een school. De vloerafwerking in linoleum wordt daarom behouden omdat het biogebaseerd is en slijtvaster en afwasbaarder is dan parket. Rotswol uit het houtskeletbouw-scenario wordt vervangen door houtwol. Acrylverf wordt vervangen door kalkverf. De levenscyclus milieu-impact per m² daalt hierdoor met 23% (Figuur 54) en resulteert in een prijsstijging van 10% (zie Figuur 55). De investeringskost per m² stijgt met 5%.

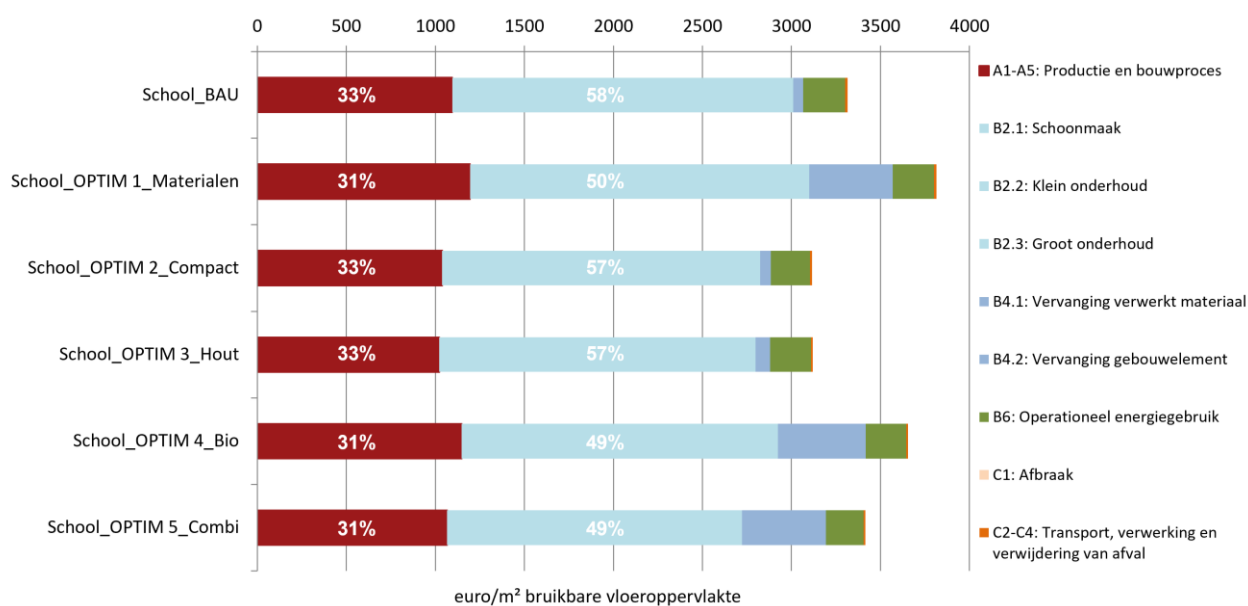
Uiteindelijk wordt een scenario geanalyseerd waarbij de compactheid van het tweede scenario wordt gecombineerd met de biogebaseerde materialen (OPTIM 5_Combi). In dit scenario wordt de vrijstaande structuur die zal dienen als overdekte speelplaats voorzien uit (behandelde) houten balken en kolommen. Dit zorgt voor een levenscyclus milieu-impactdaling van 28% (Figuur 54). De levenscyclus financiële kost stijgt hierbij met 3% (zie Figuur 55).

De vergelijking tussen de vijf optimalisatiestrategieën toont enkel een kostenreductie (per m²) voor het compacte scenario (OPTIM 2) en de houtskelet variant (OPTIM 3). De andere scenario's leiden tot een meerkost (per m²).

Uit Figuur 56 en Figuur 57 blijken alle conclusies voor de woning op vlak van levenscyclusfasen ook van toepassing voor de school. Voor zowel de milieu-impact als voor de financiële kost hebben de A1-A5-fasen een groot aandeel. Net als bij de woning heeft het energieverbruik een grote bijdrage in de milieu-impact, maar slechts beperkt in de financiële kost. De onderhoudskosten zijn echter groter dan bij de woning, de school kan namelijk geen gebruik maken van dienstencheques en heeft dus een grotere schoonmaakkost (zie 3.2).



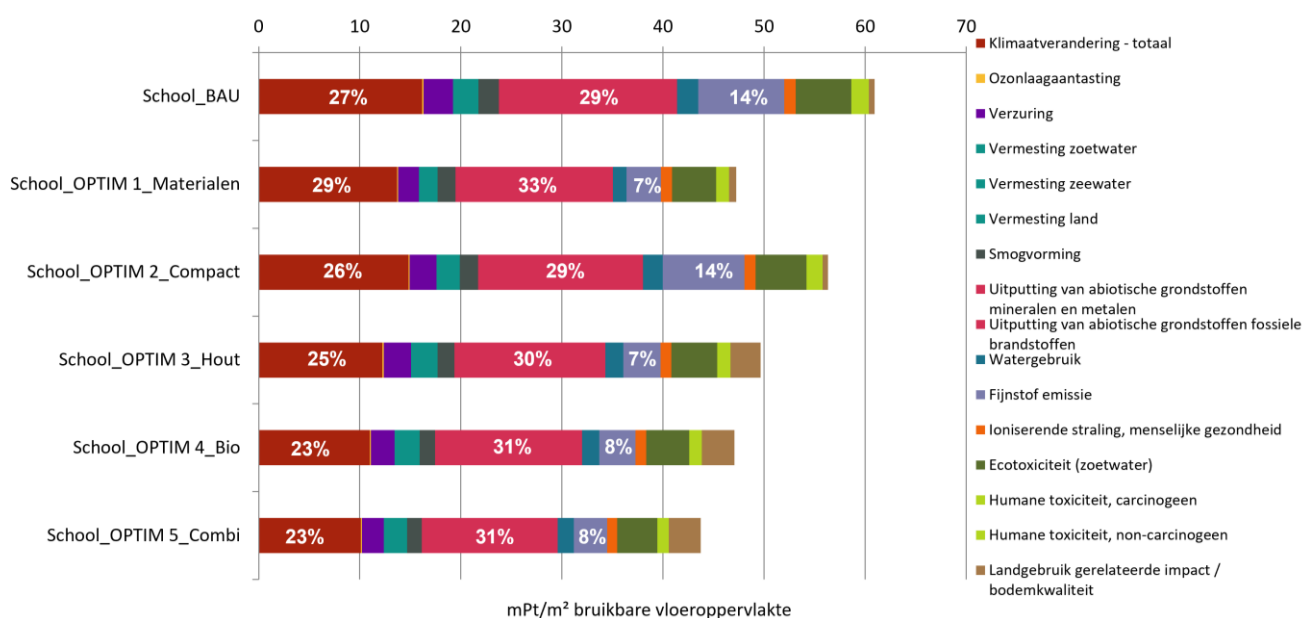
Figuur 56: Levenscycluisimpact van de school voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per levenscyclusfase



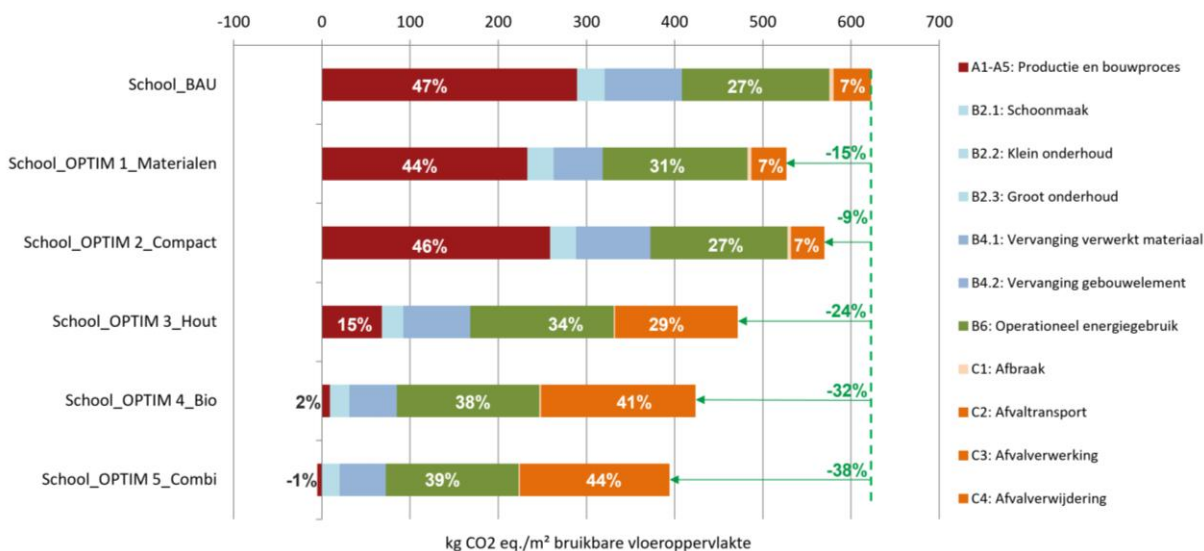
Figuur 57: Levenscycluskost van de school voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per levenscyclusfase

Bij de verdeling van de milieu-indicatoren (zie Figuur 58) weegt klimaatverandering minder zwaar door bij de houtskeletbouw- en biogebaseerde varianten dan bij de BAU. Landgebruik wordt dan weer belangrijker. De overige indicatoren blijven vergelijkbaar. Fijnstof emissie fluctueert sterker bij de woning dan bij de school, maar de overige aandelen van de indicatoren zijn gelijkaardig.

De levenscyclus CO₂ eq.-impact en de verdeling over de levenscyclusfasen worden in Figuur 59 weergegeven. Aangezien de betonnen kelderwanden in de school onveranderd blijven voor alle varianten, wordt enkel voor OPTIM5 een netto-CO₂ eq.-opslag bekomen in de productiefase. Bij de andere optimalisaties is dit een netto-uitstoot. Net zoals voor de woning is te zien dat voor een groter aandeel aan biogebaseerde materialen de impact in de productiefase sterk afneemt, maar ook de impact op het einde van de levensduur weer sterk toeneemt. De levenscyclus CO₂ eq.-impact neemt af naarmate het aandeel biogebaseerde materialen toeneemt.



Figuur 58: Levenscyclusimpact van de school voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per impactindicator



Figuur 59: Levenscyclus-CO₂ eq.-impact van de school voor de BAU- en optimalisatiescenario's, opgedeeld per levenscyclustype

4.6.5 Gevoeligheidsanalyse afwerkingsmaterialen

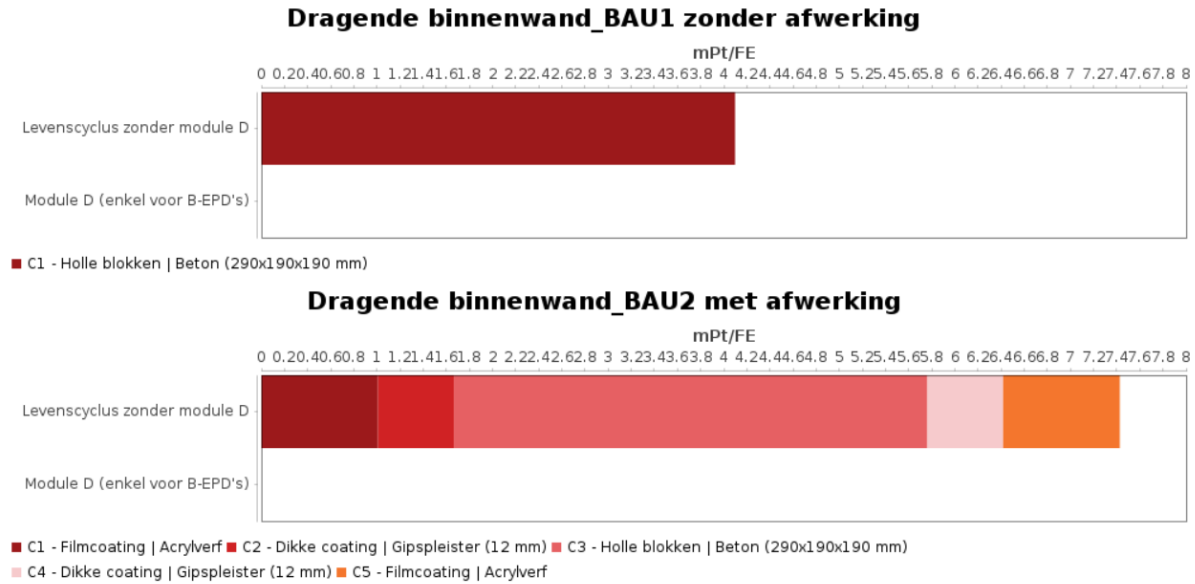
In de school kan de afweging gemaakt worden om minimale afwerkingsmaterialen te voorzien op bepaalde plekken. Indien wordt voldaan aan alle brand- en bouwfysische eisen zonder pleisterwerk en verf, kunnen deze weggelaten worden. Aan de gevel draagt het pleisterwerk bij aan het luchtdicht maken van de gebouwschil en is deze dus essentieel. Ook naar luchtgeluidisolatie zou het tussen verschillende lokalen nodig kunnen zijn dat deze bepleisterd worden aan één of twee zijden. In deze gevoeligheidsanalyse wordt de vergelijking gemaakt tussen het BAU-scenario en een scenario waarbij de pleister- en verlaag worden weggelaten op niet-essentiële plaatsen. Gezien de grote hoeveelheid en de frequente vervangingen zorgt deze weglating voor een grote reductie in de totale milieu-impact.

Bij de binnenwanden maakt de afwerking een groot deel uit van de milieu-impact (zie Figuur 60). Het impactverschil tussen een element met of zonder afwerking is daarom groot. Ook financieel zal er een groot verschil zijn. Bij de verdiepingsvloeren is het impactverschil kleiner (zie Figuur 61) aangezien slechts de plafonduafwerking kan weggelaten worden (de vloerafwerking moet behouden worden).

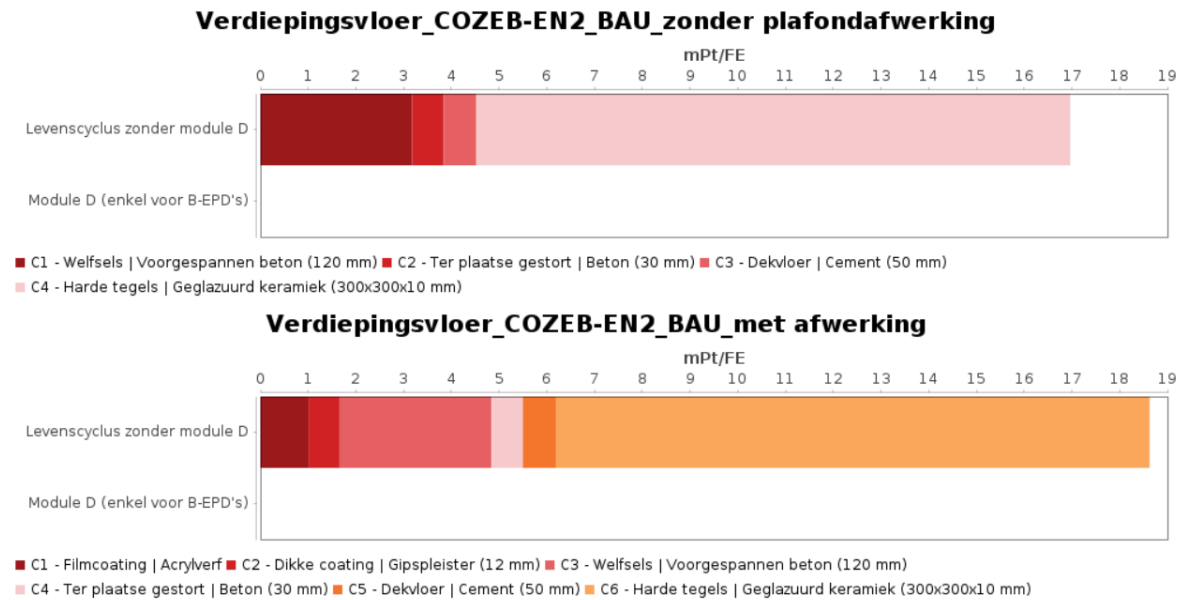
De impact van de afwerkingslagen toont het belang van het definiëren van een duidelijke scope voor de te modelleren elementen in een regelgevend kader. Afwerkingslagen zijn niet altijd gekend in een vroege ontwerpfase of bij casco-verkoop, maar dragen finaal wel bij tot de milieu-impact en kost van het gebouw. Het gebruik van standaardcomponenten of -waarden voor afwerkingen lijkt in dit geval aangewezen om de milieu-impact van het gebouw correct in te schatten.

Op gebouwniveau (zie Figuur 62 en Figuur 63) zijn de verschillen kleiner dan op elementniveau. Het verschil in milieu-impact is beperkt (-5%), dit verschil zit voornamelijk in de gebruiksfase (onderhoud en vervangingen). De

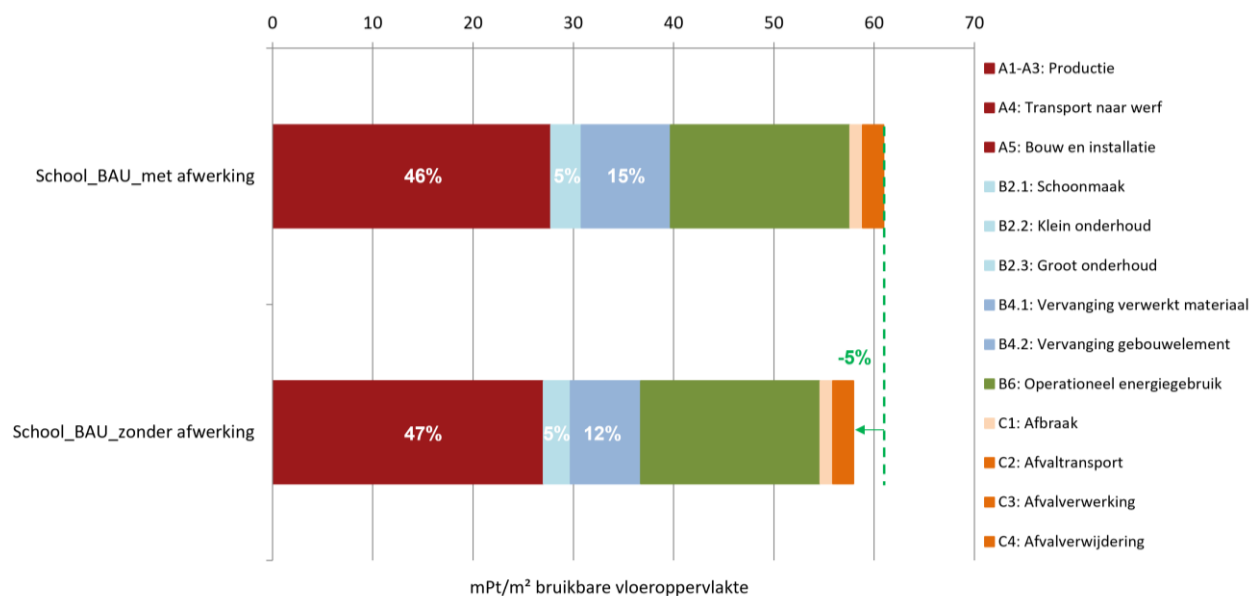
invloed op de financiële kost is wel veel groter, met een daling in de productiefase en de gebruiksfase. In totaal daalt hierdoor de levenscycluskost met 10%.



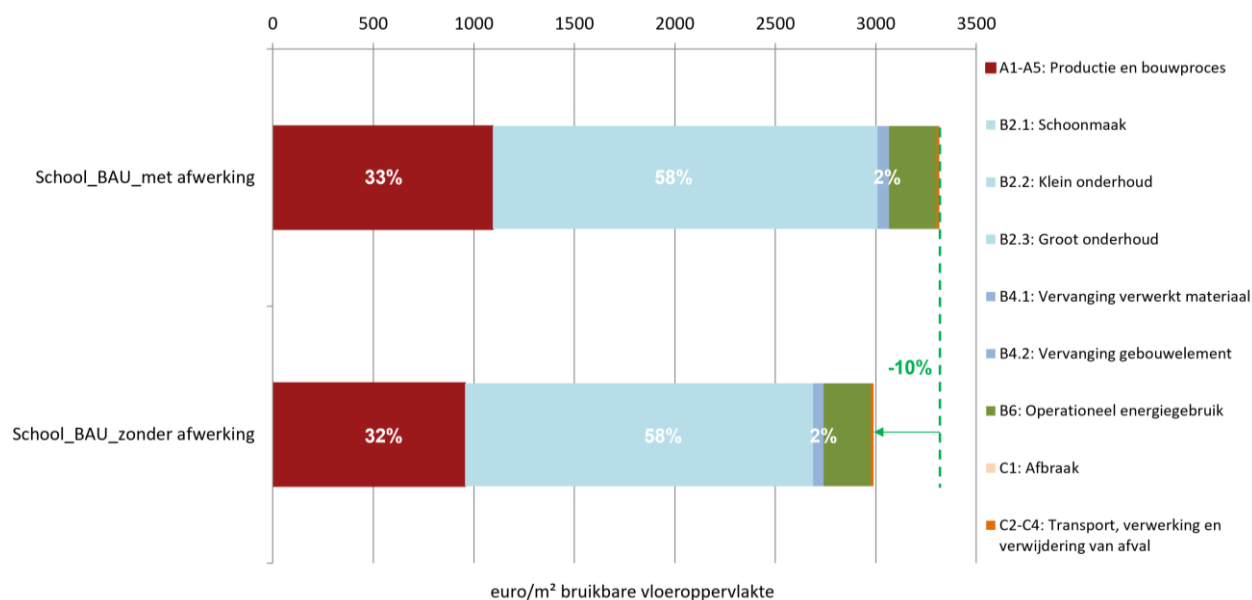
Figuur 60 Vergelijking van de milieu-impact van de dragende binnenwanden met en zonder binnenaafwerking



Figuur 61 Vergelijking van de milieu-impact van de verdiepingsvloeren met en zonder plafondafwerking



Figuur 62: Levenscycluspact van de school voor een scenario met en zonder afwerkingen, opgedeeld per levenscyclusfase

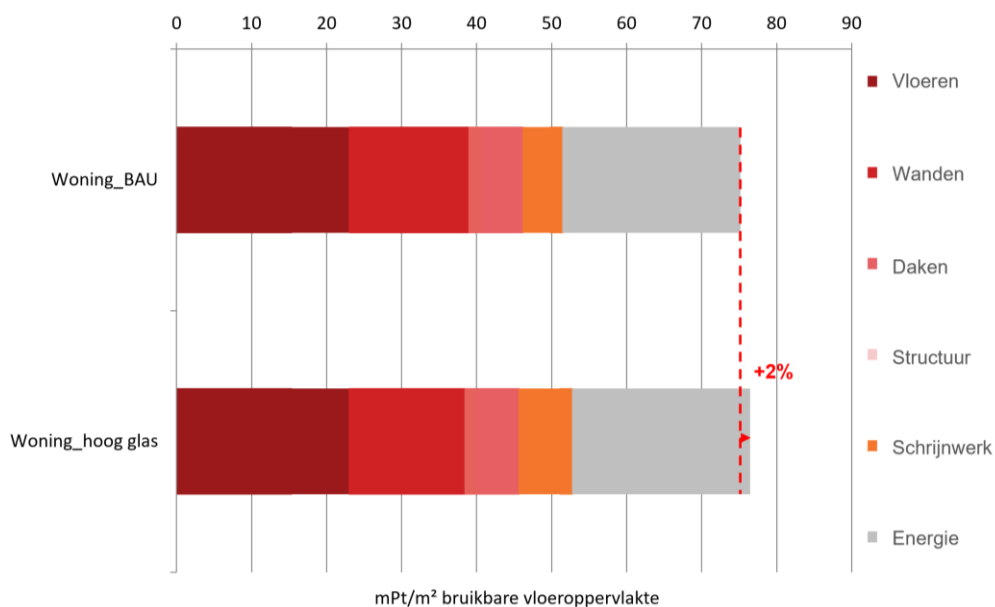


Figuur 63: Levenscycluskost van de school voor een scenario met en zonder afwerkingen, opgedeeld per levenscyclusfase

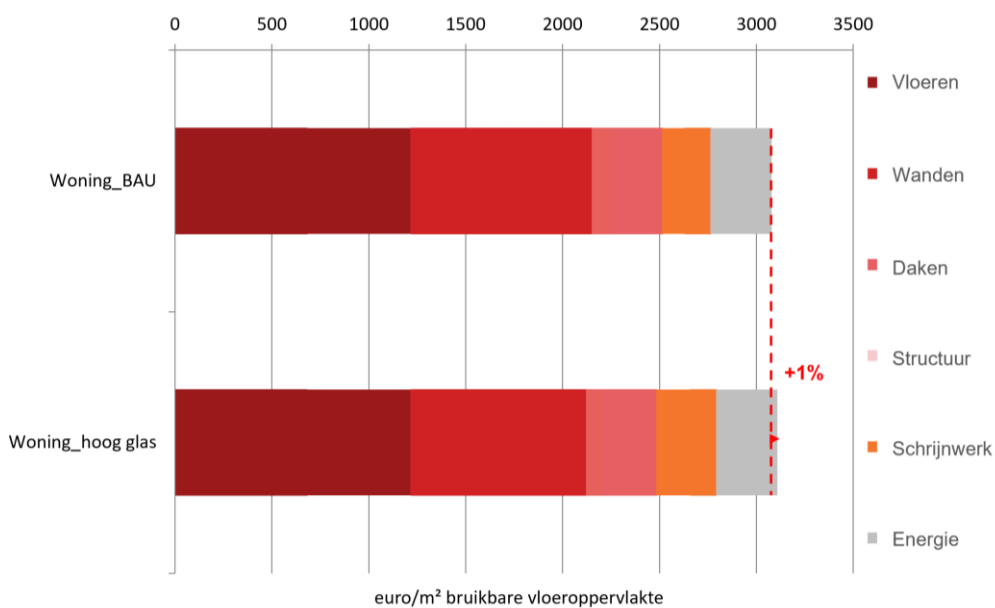
4.6.6 Gevoeligheidsanalyse glaspercentage

Bij de woning valt meteen op dat het glaspercentage (window-to floor-ratio) reeds laag is in het BAU-scenario, namelijk 11%. De ontwerpleidraad 2022 van de VMSW (VMSW 2021) raadt echter aan om in slaapkamers minstens een raamoppervlakte van 1/8 van de vloeroppervlakte te voorzien, en in leefruimtes minimaal 1/6 (~17%). Enkel het glasoppervlak vanaf een hoogte van 70cm ten opzichte van de afgewerkte vloer kan hiervoor meetellen aangezien alles er onder weinig bijdraagt tot een goede daglichttoetreding. De raamoppervlakte van de woning ligt lager en zal dus niet verder gereduceerd worden. Door het glaspercentage te laten toenemen zou de milieu-impact enkel stijgen. Om deze gevoeligheid af te toetsen vergelijken we het BAU-scenario met een scenario waarbij wordt voldaan aan de aanbevelingen van VMSW. Indien de richtlijn van 1/6 wordt doorgetrokken voor de leefruimtes (inclusief slaapkamers) betekent dit dat er 8m² raamoppervlak te weinig is voorzien. Hierbij wordt uitgegaan van de veronderstelling dat alle ramen boven een hoogte van 70cm ten opzichte van de vloer worden geplaatst (hoewel dit de resultaten in TOTEM niet beïnvloedt). In Figuur 63 en Figuur 64 is te zien dat zowel de milieu-impact, als de levenscycluskost licht stijgen met respectievelijk 2% en 1% wanneer het glasoppervlak van de woning wordt verhoogd.

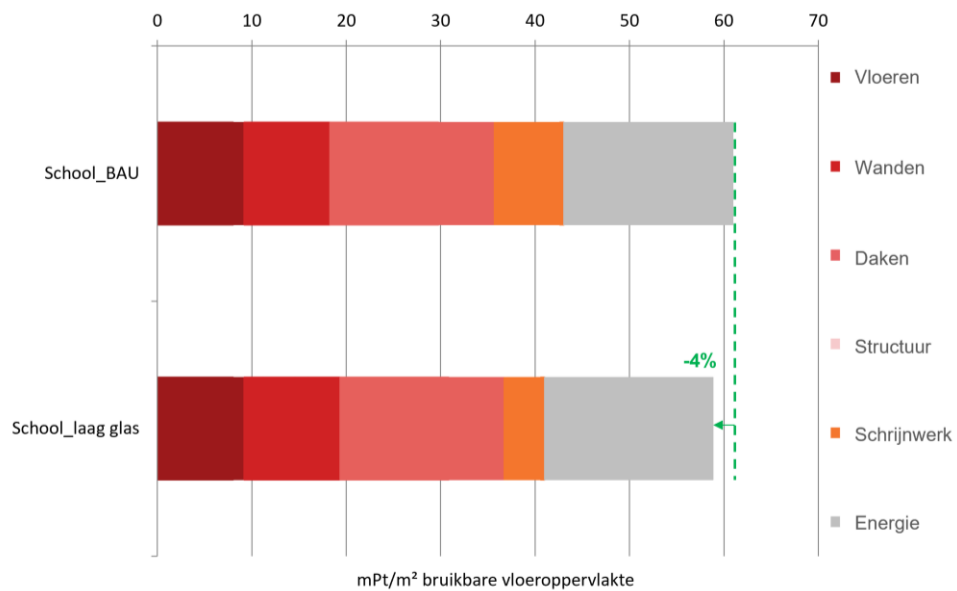
In de school bedraagt voor het BAU-scenario de window-to-floor-ratio (WFR) 20%. Dit komt overeen met de bovengrens die AGION (Agentschap voor Infrastructuur in het onderwijs) voorschrijft voor schoolgebouwen (AGION 2025). De window-to-floor-ratio (WFR) ligt volgens hen best tussen 10 en 20%. Aangezien de bovengrens wordt bereikt, is een reductie van de raamoppervlakken mogelijk. Een halvering van de raamoppervlakte wordt voor de gevoeligheidsanalyse aangenomen, wat overeenkomt met de ondergrens van AGION. In TOTEM wordt de helft van de raamoppervlakte vervangen door buitenwand. Deze halvering resulteert in een milieu-impactreductie van 4% en een financiële kostenreductie van 3% (zie Figuur 66 en Figuur 67).



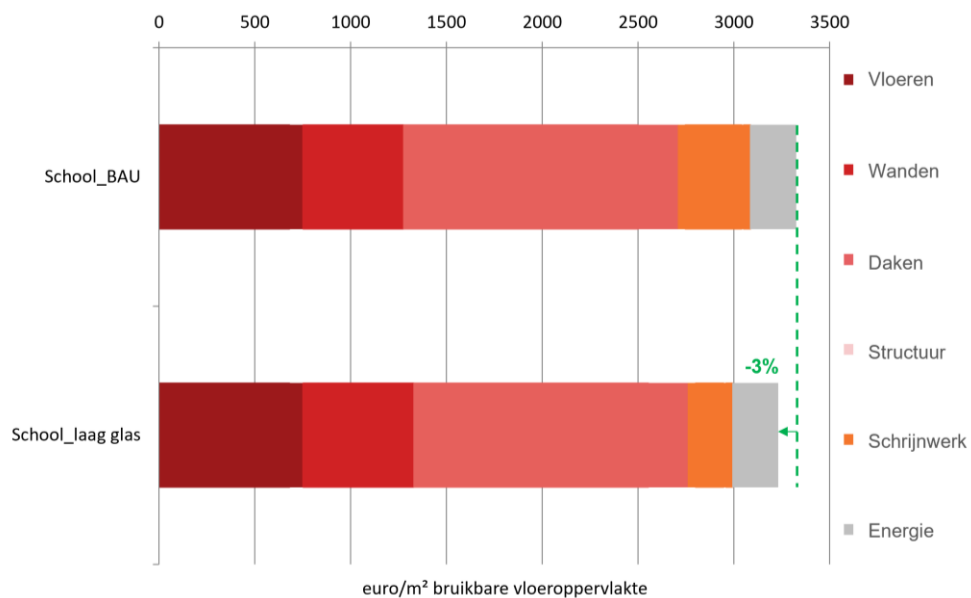
Figuur 64: Levenscyclus-impactvergelijking van de invloed van het glaspercentage bij de woning



Figuur 65: Levenscyclus financiële kost vergelijking van de invloed van het glaspercentage bij de woning



Figuur 66: Levenscyclus-impactvergelijking van de invloed van het glaspercentage bij de school



Figuur 67: Levenscyclus financiële kost vergelijking van de invloed van het glaspercentage bij de school

4.6.7 Conclusies

Uit de resultaten van de verschillende optimalisatiescenario's blijkt dat er meerdere interessante pistes bestaan om een reductie van de milieu-impact en in sommige gevallen tegelijk ook van de financiële kost teweeg te brengen. Het is belangrijk om ook de totale impact en kost van het gebouw te evalueren en niet blind te staren op impact en kost per m² aangezien compacter bouwen dan schijnbaar weinig invloed heeft, maar weldegelijk leidt tot een belangrijke impact- en kostreductie. De combinatie van materiaal-/ontwerptimalisatie met ook een compacter plan zorgt steeds voor de grootste reducties. Compacter bouwen geeft ook steeds een positief resultaat op de investeringskost en de levenscycluskost, waar materiaaloptimalisaties vaker voor prijsstijgingen zorgen.

De reductie van de milieuscore (mPt) en de impact op de levenscyclus CO₂ eq.-impact volgt dezelfde trend, zowel voor de woning als voor de school. De reductie van de CO₂ eq.-impact bij de houtskeletbouw en biogebaseerde varianten zijn groter dan de reductie van de milieuscore. De reden is dat deze varianten een hogere impact hebben op andere indicatoren zoals landgebruik.

De gevoeligheidsanalyse voor de afwerkingsmaterialen toont het belang van een volledig model aan. Om gebouwen met elkaar te kunnen vergelijken, of wanneer gebouwen aan grenswaarden moeten voldoen is het belangrijk dat ze in dezelfde mate van detail worden beschouwd. De aan- of afwezigheid van deze afwerkingsmaterialen kunnen namelijk voor een andere uitkomst uit de hotspotanalyse zorgen, en hebben een sterke invloed op de gebruiksfase. Een goed ontwerp dat met minder afwerkingsmaterialen toch voldoet aan dezelfde functionele eisen, kan een belangrijke reductie in impact en kost betekenen.

De gevoeligheidsanalyse van het glaspercentage toont aan dat een hoger glaspercentage tot een hogere milieu-impact en hogere financiële kost leidt. Daarnaast hebben ramen ook een hogere U-waarde dan buitenwanden en leidt dit tot meer warmteverliezen en een groter energieverbruik. Ramen hebben echter wel een belangrijke invloed op het comfort, daglicht en welbevinden in het gebouw. Een goede keuze van glasoppervlakte is dus van belang voor zowel de milieu-impact als voor de kost.

4.7 ERELOONKOSTEN ONTWERPOPTIMALISATIE

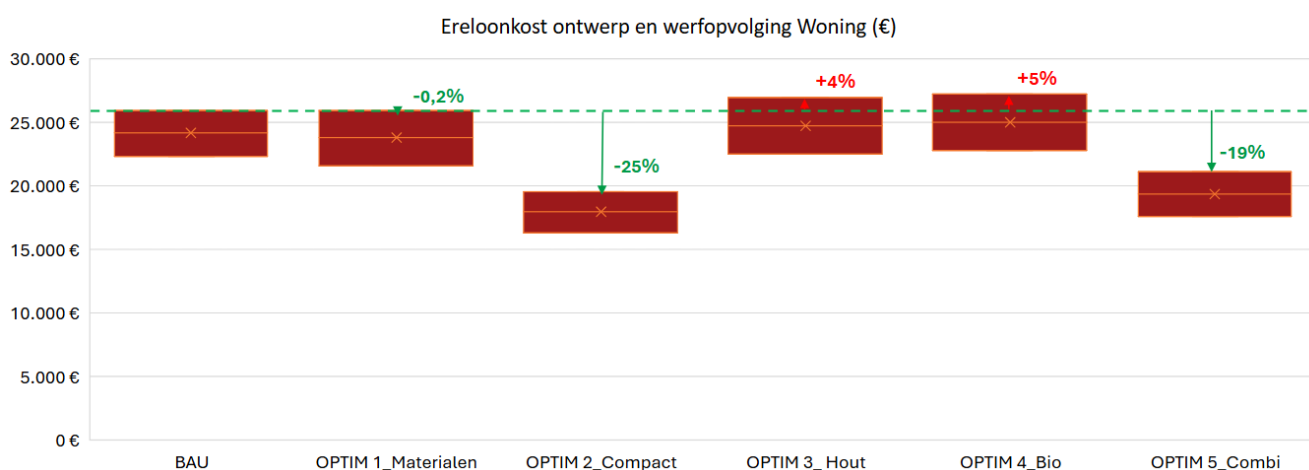
4.7.1 Inleiding

De methodologie voor de berekening van de ereloonkosten is beschreven in paragraaf 3.5. Voor de optimalisaties van de compactheid, houtskeletbouw en biogebaseerde materialen werden de ontwerp en TOTEM modelleringsuren op dezelfde manier bijgehouden als voor het BAU-scenario en het scenario met materiaalsubstituties.

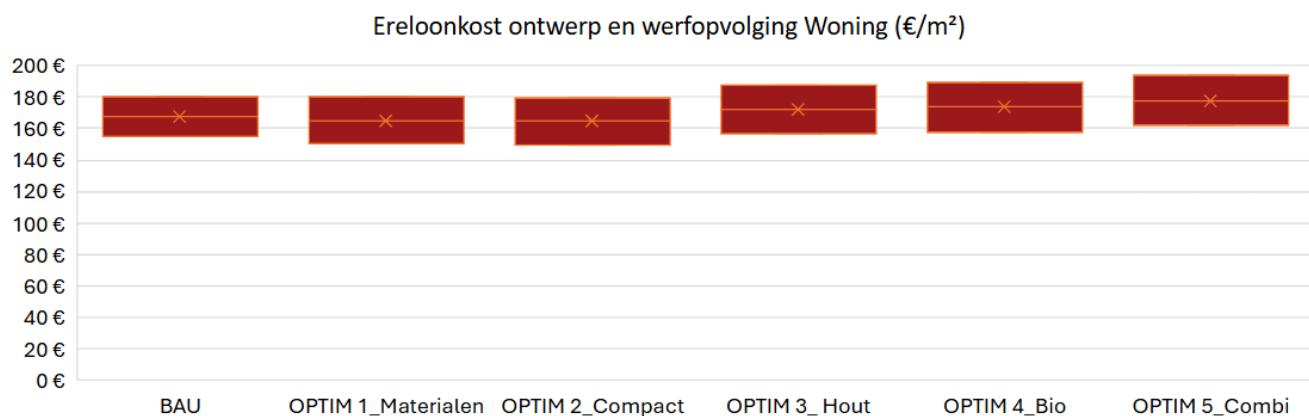
4.7.2 Ereloonkosten ontwerp en werfopvolging

Uit Figuur 68 en Figuur 69 blijkt dat bij de materiaaloptimalisatie (OPTIM 1) de bouwkosten van de woning licht dalen en daarmee ook het gekoppelde ereloon. Bij de optimalisaties naar houtskeletbouw (OPTIM 3) en

biogebaseerde materialen (OPTIM 4) stijgen de bouwkosten en de bijhorende ereloonkosten met enkele percenten. Per m² dalen de ereloonkosten voor de optimalisatie van de compactheid (OPTIM 2 & 5) weinig, maar in het totaal is er wel een sterke daling in ereloon te zien. Dit komt door de afgenomen bruikbare vloeroppervlakte. Aangezien er meer werkuren gepresteerd zijn voor het herwerken van het ontwerp, moet dan een hogere ereloonkost voor de TOTEM modellering en -optimalisatie compenseren voor het meerwerk gelinkt aan het herontwerp.

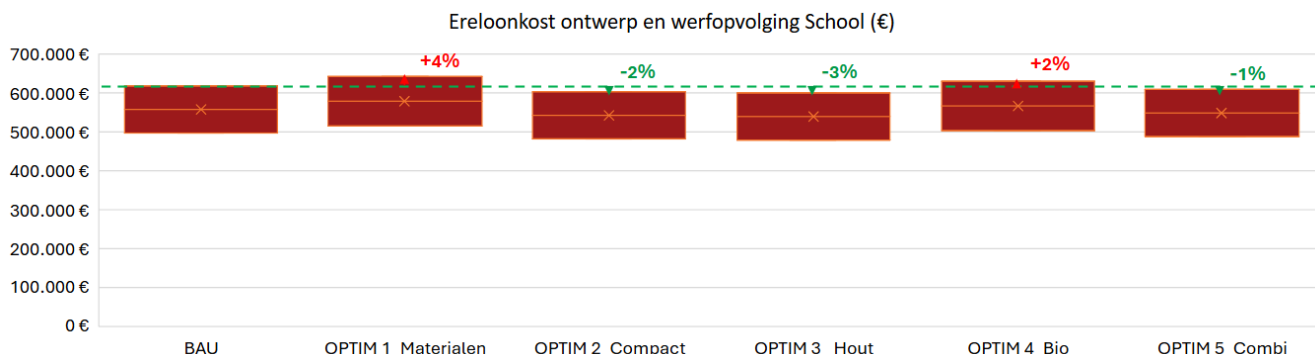


Figuur 68: Ereloonkost gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de halfopen woning

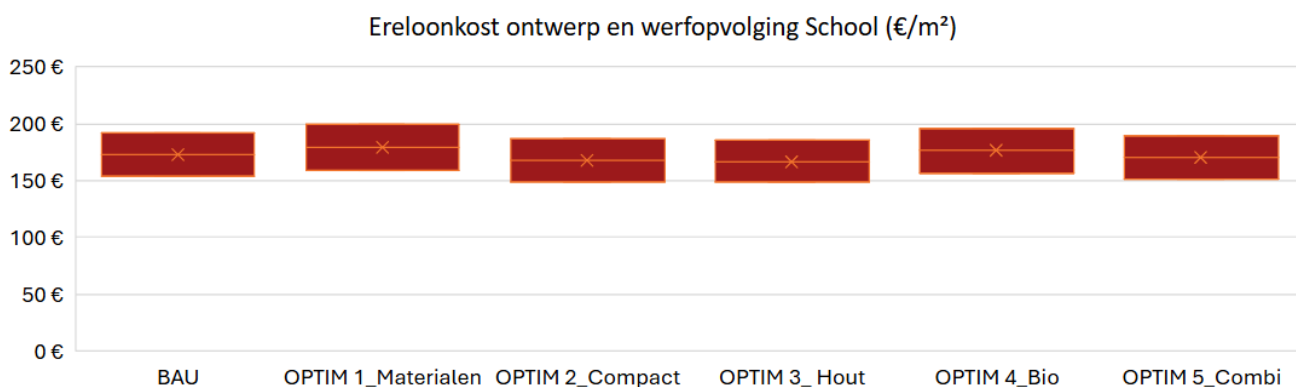


Figuur 69: Ereloonkost per m² gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de halfopen woning

De ereloonkosten voor de school worden weergegeven in Figuur 70 en Figuur 71. De materiaaloptimalisatie en het optimalisatiescenario OPTIM4 voor biogebaseerde materialen resulteren in een stijging van de bouwkosten en bijhorende ereloonkosten. De resultaten fluctueren minder dan bij de woning.



Figuur 70: Ereloonkost gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de school



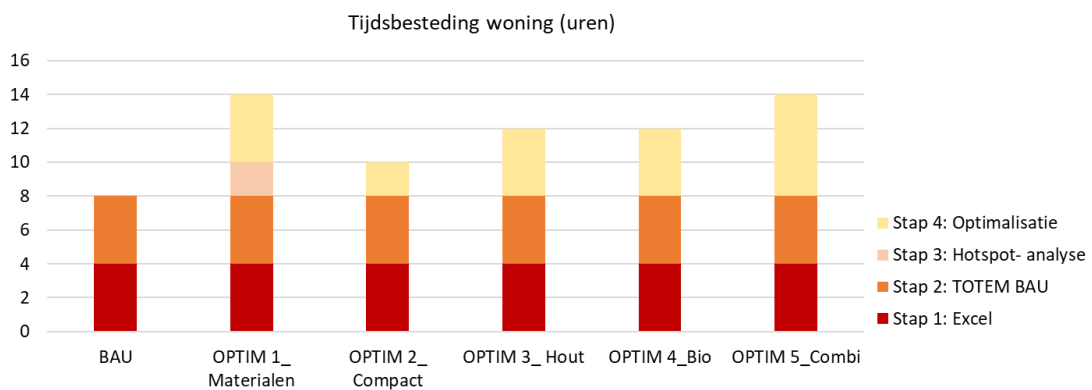
Figuur 71: Ereloonkost per m² gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de school

4.7.3 Ereloonkosten TOTEM modellering

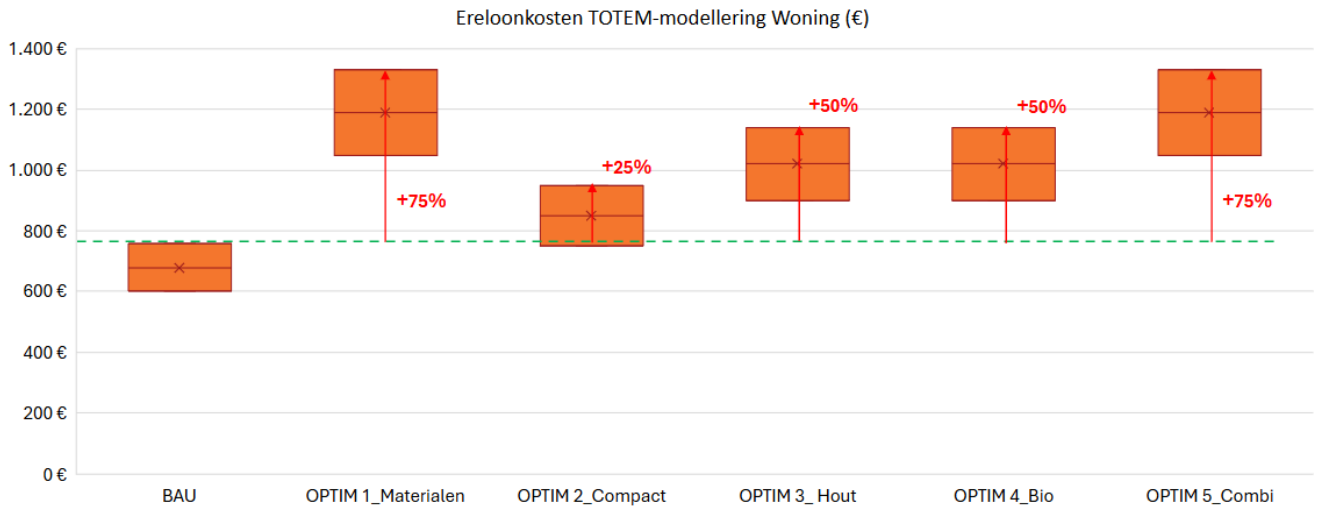
De zoektocht naar evenwaardige alternatieve componenten, elementen of gebouwconfiguraties, die een reductie van de milieu-impact teweegbrengen, maakt in grote mate (of volledig) deel uit van het takenpakket van de architect. Sommige optimalisaties vragen ook bijkomend overleg en coördinatie tussen de verschillende partijen binnen het ontwerpproces. Zo zal bijvoorbeeld de ingenieur stabiliteit een hele nieuwe studie moeten opmaken indien wordt overgestapt op een houtskeletbouw. In functie van het budget van de bouwheer zal ook moeten gekeken worden welke mogelijkheden er zijn. Eens er een duidelijk beeld is van de trends in prijzen en milieu-impact-reductie, kan de architect in een vroeg stadium de bouwheer al keuzes laten maken en zo grote herwerkingen van het ontwerp en van de TOTEM-studie vermijden. Dit zal resulteren in een lagere ereloonkost.

Voor de woning is een compact alternatief ontwerpen weinig werk en de TOTEM-modellering ervan gaat heel vlot. De oppervlaktes van de elementen moeten aangepast worden maar de element-opbouwen blijven dezelfde. Voor het overgaan naar een houtskeletbouw of voor het gebruik van biobaseerde materialen ligt de

tijdsbesteding hoger (zie Figuur 72). De combinatie van een compactere woning met biogebaseerde materialen resulteert in de grootste TOTEM ereloonkosten (zie Figuur 73) omdat twee optimalisaties moeten worden uitgevoerd. De ereloonkost is dezelfde als bij de materiaaloptimalisatie. Aangezien er (in deze studie) geen hotspotanalyse wordt uitgevoerd voor optimalisaties 2 tot 5, wordt deze tijd uitgespaard. Ze blijft echter wel nuttig en geeft belangrijke inzichten. Zo zouden de houtskeletbouw en biogebaseerde varianten verder kunnen geoptimaliseerd worden op basis van de methodologie voorgesteld in paragraaf 4.4.2.



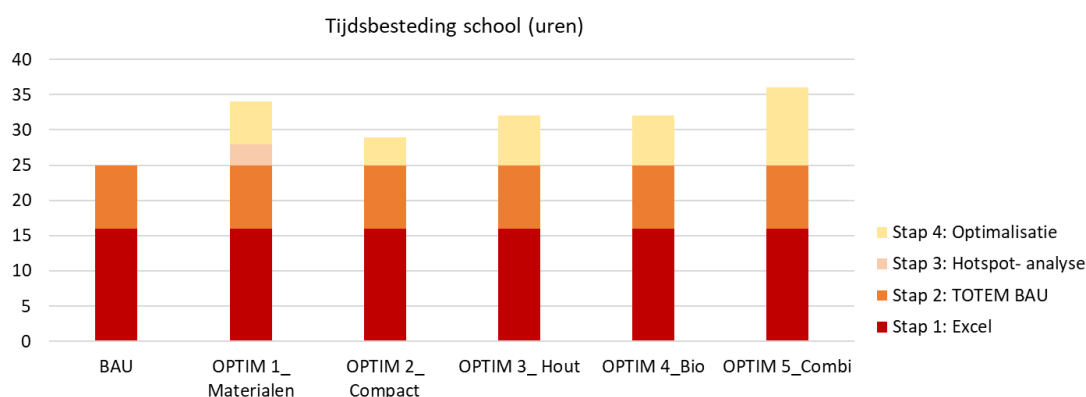
Figuur 72: Tijdsbesteding in uren TOTEM modellering voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de halfopen woning



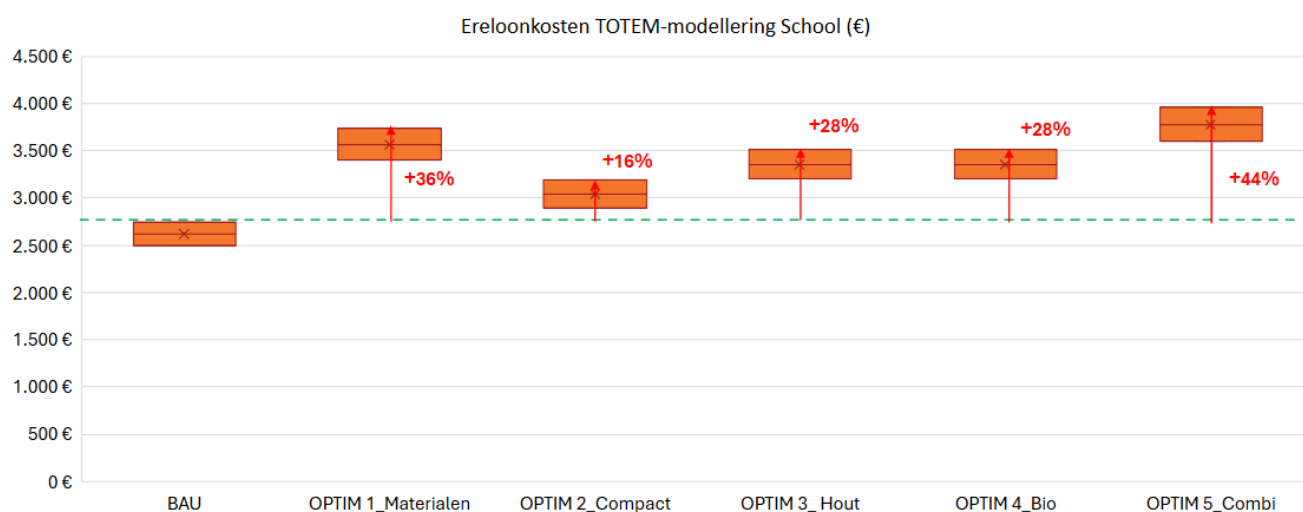
Figuur 73: Ereloonkost gerelateerd aan de TOTEM modellering voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de halfopen woning

Bij de school is het herwerken naar een compact alternatief veel extra werk. De tijd is hier bovendien onderschat aangezien het meerwerk van andere partijen zoals ingenieur technieken of stabiliteit niet ingerekend wordt (Figuur 74). Ook de alternatieve draagstructuur of het nagaan van de brand- en bouwfysische eigenschappen van de biogebaseerde materialen vraagt meer werk dan bij een woning gezien de hogere eisen bij schoolgebouwen. De gecombineerde optimalisatie (compactheid en biogebaseerde materialen) resulteert ook

hier in de grootste TOTEM ereloonkost (zie Figuur 75). Stap 3 ‘Hotspot-analyse’ werd enkel in rekening gebracht voor de materiaaloptimalisatie OPTIM 1. De reden hiervoor is dat voor de ontwerpoptimalisaties (OPTIM 2, 3, 4 & 5) een alternatief ontwerp is uitgewerkt zonder rekening te houden met de milieu-hotspots.



Figuur 74: Tijdsbesteding TOTEM modellering voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de school



Figuur 75: Ereloonkost gerelateerd aan de TOTEM modellering voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de school

4.7.4 Conclusies

Net zoals voor de eerste optimalisatie blijkt dat bij het uitwerken van de optimalisatiestrategieën veel tijd gaat naar het maken van keuzes waarbij de haalbaarheid, uitvoerbaarheid, materiaalprestaties en ook de kosteneffectiviteit niet in het gedrang komen. Hierbij is dus voldoende kennis nodig om oneerlijke of onrealistische vergelijkingen te vermijden. Deze optimalisatie gebeurt daarom best door of in samenspraak met de architect.

Zowel voor de woning als voor de school is het opmeten en modelleren van het gebouw in TOTEM de grootste tijdsbesteding. Hier zou op verschillende manieren tijd bespaard kunnen worden. Zo dient een EPB-verslaggever een gelijkaardige opmeting te doen en kunnen deze waardes overgenomen worden. Bovendien passen architecten vaak dezelfde of gelijkaardige element-opbouwen toe, waardoor de modellering niet van nul gestart moet worden (mits de ontwikkeling van een eigen elementenbibliotheek in TOTEM).

Het compact maken van een klein bouwproject vraagt heel wat minder werk dan voor een groot bouwproject, wat soms een complexe puzzel is. Ook de andere partijen moeten hun deel herwerken. Denk maar aan het hertekenen en herdimensioneren van leidingen bij een andere configuratie. Voor een alternatieve draagstructuur moet de stabiliteitsingenieur ook een grote herberekening doen. Daarom is het belangrijk om deze analyse zo vroeg mogelijk in het ontwerpproces uit te voeren.

Bij een klein bouwproject is de meerkost van een TOTEM-studie significant (

Figuur 76). Voor het ereloon gerelateerd aan ontwerp en werfopvolging is de prijs per vierkante meter relatief constant en verschilt ze ook niet zo veel tussen de twee projecten. Voor het ereloon voor de TOTEM modellering is het totale ereloon voor de school wel hoger, maar per m² weegt het ereloon bij de woning veel zwaarder door. Bij grotere projecten stijgt de tijdsbesteding niet evenredig met de bruikbare vloeroppervlakte en maakt het daarom een kleinere fractie uit van de totale ereloonkost dan voor kleinere projecten.



Figuur 76: Vergelijkend overzicht van de ereloonkosten gerelateerd aan het ontwerp en de werfopvolging en de TOTEM modellering voor de BAU- en optimalisatiescenario's van de woning en de school

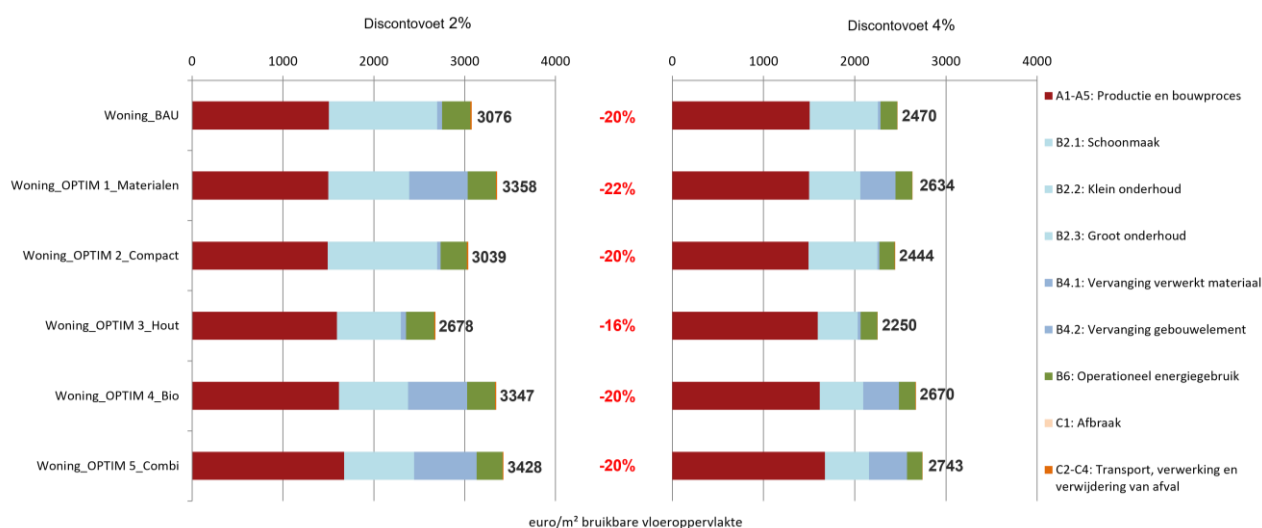
4.8 GEVOELIGHEIDSANALYSE DISCONTOVOET

4.8.1 Inleiding

In deze studie wordt een discontovoet van 2% aangenomen. Om de invloed van de discontovoet op de geactualiseerde financiële kosten te evalueren, wordt er een vergelijking gemaakt met een hogere discontovoet van 4%. Bij een hogere discontovoet blijven de initiële investeringskosten gelijk, maar toekomstige kosten, onderhoud en energieverbruik wegen minder zwaar door in de levenscycluskost.

4.8.2 Resultaten

Uit Figuur 77 blijkt dat de trends en conclusie van de optimalisatiestappen gelijk blijven bij een discontovoet van 4%. De absolute kosten voor de halfopen woning liggen ongeveer 20% lager, maar de relatieve verhoudingen tussen de varianten blijven ongewijzigd. Bij een hogere discontovoet wegen de initiële investeringskosten zwaarder door en een hogere discontovoet zet dus minder aan tot een langetermijnvisie. Bij de drie andere gebouwen zijn de resultaten zeer vergelijkbaar met reducties in levenscycluskost tussen 16% en 22% bij een hogere discontovoet van 4%.



Figuur 77: Levenscycluskost van de woning voor een scenario met een discontovoet van 2% (links) en 4% (rechts), opgedeeld per levenscyclufase

4.8.3 Conclusies

Een hogere discontovoet van 4% zorgt voor een daling van de levenscycluskosten van 16-22%, maar de relatieve verhoudingen tussen de verschillende optimalisatie-varianten blijven gelijk. De levenscycluskost van alle scenario's reduceert evenwaardig en beïnvloedt daarom de beslissingen niet. Maar de invloed van de productiefase weegt met een hogere discontovoet wel meer door, de invloed van de latere levenscyclufasen wordt beperkter.

4.9 GEVOELIGHEIDSANALYSE AFVALVERWERKING

4.9.1 Inleiding

Na toetsing van de prijzen voor bouw- en sloopafval binnen OVAM blijkt dat de aangenomen prijzen uit Tabel 2 hoog zijn. Vermoedelijk zijn de prijzen voor bouw- en sloopafval dus niet even sterk gestegen als de algemene ABEX-index. Dit kan verklaard worden door de nieuwere en steeds strengere sorteerregels (VLAREMA 9), waarbij afval steeds waardevoller wordt (OVAM 2025). Hierdoor is het niet onrealistisch dat deze prijzen in de toekomst (verder) zullen dalen, of dat men zelfs betaald wordt bij het inleveren van gescheiden afval. Er zal echter steeds (te betalen) gemengd afval bestaan, maar steeds minder en minder. Deze prijsdaling wordt echter (deels) tegengewerkt door de stijgende loonkost die gepaard gaat met het strenger scheiden van afval. De stijgende loonkost en dalende afvoerkost kunnen dus voor prijswijzigingen zorgen die afwijken van de ABEX-index.

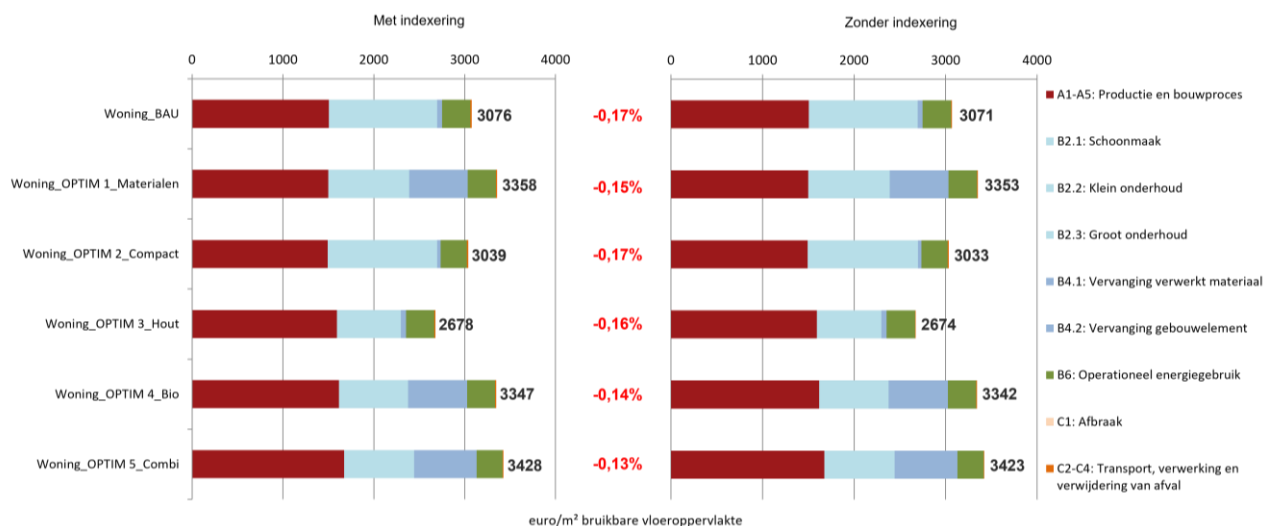
Daarom wordt in deze sensitiviteitsanalyse de levenscycluskost van de woning vergeleken met een scenario waarbij de ABEX index-stijging niet wordt toegepast. Hierbij worden dus de prijzen per ton voor de verschillende afvalcategorieën volledig overgenomen uit het SuFiQuaD onderzoeksproject (Allacker 2010), zonder indexatie. Deze prijzen worden weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8: Niet-geïndexeerde kosten voor bouw- en sloopafval voor de gevoeligheidsanalyse (Allacker 2010)

Kosten bouw- en sloopafval		
Schoon inert afval (bakstenen en beton)	10,97	€/ton
Schoon inert afval (voornamelijk bakstenen) – inclusief niet gesorteerd gemengd afval	21,93	€/ton
Gemengd afval – niet gesorteerd	32,90	€/ton
Gevaarlijk afval, glas en verpakkingen	76,76	€/ton
Gesorteerd houtafval	54,83	€/ton
Metalen	0,00	€/ton
Gesorteerd plastic om te recycleren	10,97	€/ton

4.9.2 Resultaten

Voor de woning in het BAU-scenario daalt de financiële kost gerelateerd aan het einde van de levensduur van 15,7€/m² naar 11,1€/m², dit is een reductie van -29,9%. Voor de totale levenscyclus geeft dit echter slechts een daling van 0,17%, het aandeel van de einde-levensduurfase is namelijk heel klein. Ook bij de andere scenario's zijn deze verschillen heel erg klein. Aangezien de impact van de afvalverwerkingskost in deze gevoeligheidsanalyse verwaarloosbaar is, wordt deze analyse niet herhaald voor de andere gebouwen.



Figuur 78: Levenscycluskost van de woning voor een scenario met en zonder indexering van de prijzen voor bouw- en sloopafval, opgedeeld per levenscyclusfase

4.9.3 Conclusies

De invloed van de prijzen voor afvalverwerking is heel laag, bij elk van de optimalisatiescenario's. Dit effect wordt daarom beschouwd als verwaarloosbaar wanneer gesproken wordt over levenscycluskosten.

5. CONCLUSIES KOSTENSTUDIE

5.1 BOUWKOSTEN

De materiaalloptimalisaties werden voor de vier casestudies (halfopen woning, appartement, school en kantoor) berekend (paragraaf 4.4) en de invloed van ontwerpoptimalisaties voor twee casestudies (halfopen woning en school, paragraaf 4.6). De invloed hiervan op de levenscyclus milieu-impact en wordt weergegeven in Tabel 9, en Figuur 79 en Figuur 80. Zowel de absolute waarden als de relatieve daling of stijging worden vermeld voor elk van de vier casestudies.

Hieruit blijkt dat door materiaalloptimalisatie (OPTIM 1) reducties in de levenscyclusimpact van 20% (kantoor) tot 29% (appartement) mogelijk zijn. De materiaalloptimalisaties leiden tot een bijkomende investeringskost van -0,4% (woning) tot 13% (appartement) ten opzichte van de BAU. Wanneer er naar de volledige levenscycluskost gekeken wordt, is er een kostentoeename voor alle gebouwen, variërend tussen 4% (kantoor) en 24% (appartement). Dit is de grootste stijging in levenscycluskost van de vijf optimalisatiescenario's. Door het gebruik van een forfaitaire kost voor de installaties en het vast meubilair is de toename in ereloonkost voor het ontwerp

en de werfopvolging beperkt tot maximaal 5% (woning). Deze installaties en het vast meubilair blijven namelijk gelijk bij elke optimalisatiestap.

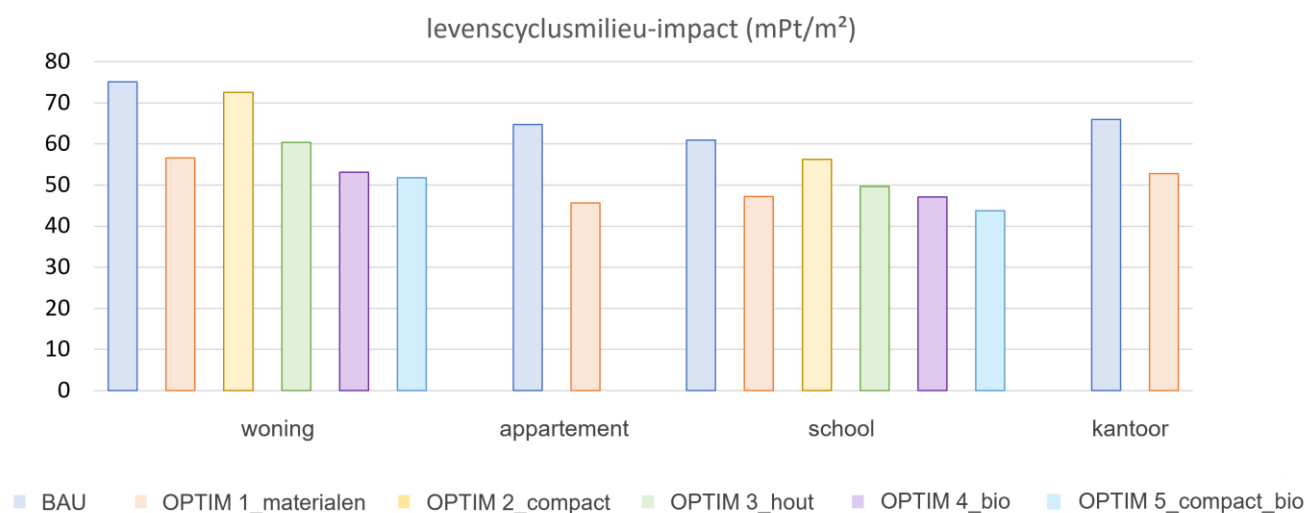
OPTIM 2, waarin het gebouw compacter wordt, krijgt een vertekend beeld in de onderstaande figuren en tabel: door enkel de impact per m² te communiceren, wordt compacter (en kleiner) bouwen afgestraft in plaats van gepromoot. De vloeroppervlakte van de woning daalt, waardoor de hoeveelheid elementen per m² vloeroppervlakte stijgt (aantal kamers blijft behouden, dus verhoudingsgewijs zijn er meer binnenwanden). In de school blijft de totale vloeroppervlakte wel gelijk, maar daalt de hoeveelheid elementen van de gebouwschil, hier wordt de winst wel duidelijk. Wanneer naar de financiële impact op gebouwniveau gekeken wordt (zie Tabel 5 en Tabel 7), blijkt compacter (en kleiner) bouwen ook bij de woning een heel grote invloed te hebben (-25%). Elke gebouwde m² kost geld, en moet nadien verwarmd en onderhouden worden. Daarom raden wij aan om in de TOTEM-tool ook steeds de impact van het volledige gebouw te communiceren.

In OPTIM 3 wordt de structuur van het gebouw aangepast naar een houtskelet. Hiermee wordt een milieuwinst van 20% en 18% gerealiseerd voor de woning en de school. Bij zowel de school als de woning geeft dit ook een reductie van de levenscycluskost (6% tot 13%). De investeringskost stijgt wel voor de woning (+6%).

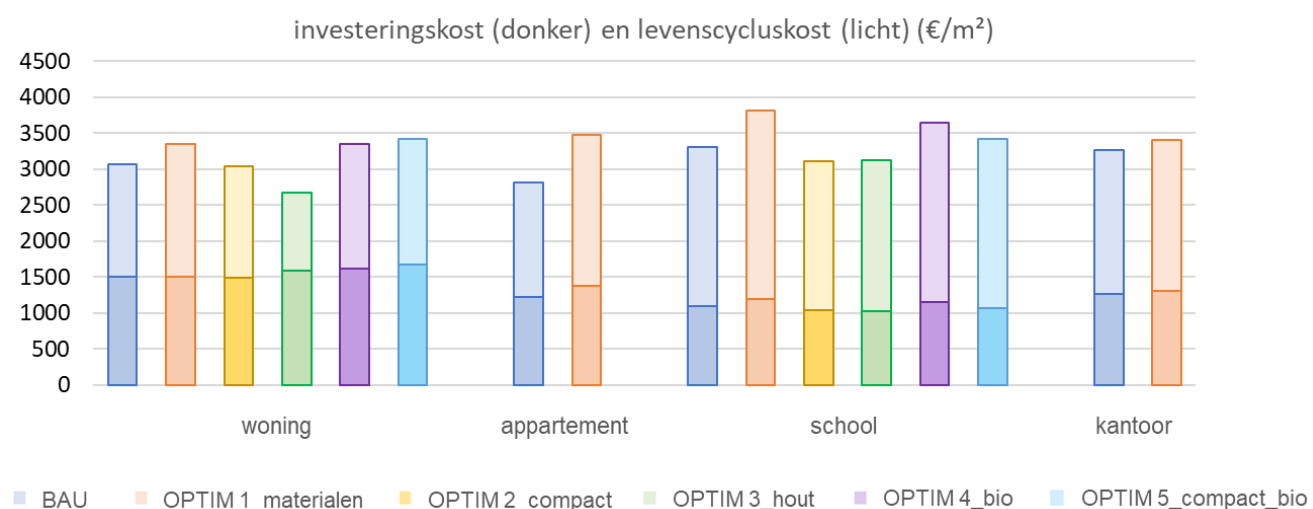
In OPTIM 4 worden de gebouwen zoveel mogelijk biogebaseerd ontworpen. De vloer op volle grond en de kelderwanden van de school blijven massief. Deze variant zorgt voor de grootste milieuwinst bij de gebouwen. Deze conclusie is enkel van toepassing voor de element-opbouwen gemodelleerd in deze studie en kan niet veralgemeend worden naar alle biogebaseerde materialen. Er werd geoptimaliseerd naar de levenscyclusimpact. Deze zorgt wel voor een hogere levenscycluskost dan de houtskelet-variant.

Tot slot werd in OPTIM 5 een combinatie gemaakt van OPTIM 2 (compacter bouwen) en OPTIM 4 (biogebaseerd bouwen). Deze zorgt voor de grootste milieu-impactdaling, en op gebouwniveau geeft deze ook een grote financiële kostendaling.

De verschillende optimalisaties werden vergeleken voor elk van de elementen, per levenscyclusfase en voor de voornaamste indicatoren. Het is belangrijk om tijdens het optimaliseren deze allemaal mee te nemen, om zo een volledig zicht te krijgen en verschuiving van impacten te vermijden.



Figuur 79 Levenscyclus milieu-impact van de verschillende optimalisatie-scenario's voor elk van de vier gebouwen



Figuur 80: Investeringskost (donker) en levenscycluskost (licht) van de verschillende optimalisatie-scenario's voor elk van de vier gebouwen

In Tabel 9 wordt ook de effectiviteit van de optimalisaties weergegeven. De effectiviteitsfactor wordt berekend als de financiële meer- (of min-) kost per gedaald millipunt. Dit wordt zowel bekeken voor de extra (of kleinere) investeringskost als voor de extra (of kleinere) levenscycluskost. De min-kosten zijn aangeduid in het groen, hier wordt zowel milieuwinst als financiële winst gemaakt. Maar deze bijna vanzelfsprekende optimalisatiekeuzes zijn wel ten nadele van de architect, die een procentueel ereloon op de bouwkosten krijgt. Dit moet dan gecompenseerd worden met het ereloon van TOTEM of een hoger procentueel ereloon bij het verkleinen van het project.

De effectiviteitsfactor varieert per gebouw en per optimalisatievariant, en is niet gelijkmatig. Enkel compacter bouwen resulteert altijd in een grote milieu- en financiële reductie. Een optimalisatie-aanpak leidt niet consequent tot eenzelfde meer- of min-kost, dit is element per element, gebouw per gebouw te optimaliseren. Al kan de TOTEM-expert wel een database ontwikkelen van voordelige element-opbouwen.

Tabel 9: Overzichtstabel conclusies

	woning	-%	appartement	-%	school	-%	kantoor	-%
LCA BAU (mPt/m ²)	75		65		61		66	
Investeringskost BAU (€/m ²)	1506		1222		1095		1261	
Levenscycluskost BAU (€/m ²)	3076		2812		3316		3270	
LCA OPTIM 1 (mPt/m ²)	57	-25%	46	-29%	47	-22%	53	-20%
Investeringskost OPTIM 1 (€/m ²)	1500	-0,4%	1382	13%	1195	9%	1310	4%
Levenscycluskost OPTIM 1 (€/m ²)	3358	9%	3485	24%	3815	15%	3410	4%
Effectiviteitsfactor Δ Investerings/ Δ LCA (€/mPt)	-0,32		8,42		7,30		3,71	
Effectiviteitsfactor Δ Levenscycluskost/ Δ LCA (€/mPt)	15,24		35,42		36,42		10,61	
LCA OPTIM 2 (mPt/m ²)	73	-3%			56	-8%		
Investeringskost OPTIM 2 (€/m ²)	1492	-1%			1038	-5%		
Levenscycluskost OPTIM 2 (€/m ²)	3039	-1%			3116	-6%		
Effectiviteitsfactor Δ Investeringskost/ Δ LCA (€/mPt)	-5,60				-12,39			
Effectiviteitsfactor Δ Levenscycluskost/ Δ LCA (€/mPt)	-14,80				-43,48			
LCA OPTIM 3 (mPt/m ²)	60	-20%			50	-18%		
Investeringskost OPTIM 3 (€/m ²)	1593	6%			1022	-7%		
Levenscycluskost OPTIM 3 (€/m ²)	2678	-13%			3120	-6%		
Effectiviteitsfactor Δ Investeringskost/ Δ LCA (€/mPt)	5,92				-6,52			
Effectiviteitsfactor Δ Levenscycluskost/ Δ LCA (€/mPt)	-27,07				-17,54			
LCA OPTIM 4 (mPt/m ²)	53	-29%			47	-23%		
Investeringskost OPTIM 4 (€/m ²)	1617	7%			1148	5%		
Levenscycluskost OPTIM 4 (€/m ²)	3347	9%			3654	10%		
Effectiviteitsfactor Δ Investeringskost/ Δ LCA (€/mPt)	5,05				3,84			
Effectiviteitsfactor Δ Levenscycluskost/ Δ LCA (€/mPt)	12,32				24,49			
LCA OPTIM 5 (mPt/m ²)	52	-31%			44	-28%		
Investeringskost OPTIM 5 (€/m ²)	1674	11%			1066	-3%		
Levenscycluskost OPTIM 5 (€/m ²)	3428	11%			3415	3%		
Effectiviteitsfactor Δ Investeringskost/ Δ LCA (€/mPt)	7,21				-1,69			
Effectiviteitsfactor Δ Levenscycluskost/ Δ LCA (€/mPt)	15,11				5,74			

In deze studie vonden ook vier gevoeligheidsanalyses plaats. Hieruit bleek een grote onzekerheid op de toekomstige prijzen voor afvalverwerking, maar de invloed ervan bleek verwaarloosbaar. De hogere discontovoet leidt niet tot andere optimalisatiekeuzes, maar zorgt er wel voor dat er een grotere focus op de korte termijn komt in plaats van een langetermijnvisie.

Voor de school werd een variant doorerekend met minder afwerkingsmaterialen. Hieruit werd duidelijk dat het in het kader van toekomstige verplichtingen nodig is om een duidelijke scope voor de TOTEM modellering af te bakenen en standaardcomponenten aan te reiken indien sommige materiaalkeuzes nog niet gekend zijn.

Voor de school werd ook een variant met een lager glaspercentage berekend, terwijl voor de woning een variant met een hoger glaspercentage werd geanalyseerd. Schrijnwerk blijkt zowel een hogere milieu-impact als een hogere financiële kost per m² te vertegenwoordigen in vergelijking met buitenwanden. Daarenboven zijn ook de energieverliezen doorheen ramen groter dan door buitenwanden. Een goede keuze van het glaspercentage in gebouwen is dus van belang om milieu-impact en kost in evenwicht te brengen met de gewenste gebouwkwaliteiten.

In deze studie werden de optimalisaties niet enkel bekeken voor de geaggregeerde milieu-impact, maar werd ook specifiek klimaatverandering (CO₂ eq.) geanalyseerd. Uit de analyses blijkt dat het gebruik van houtskelet en biogebaseerde materialen een aanzienlijke reductie van de CO₂ eq.-uitstoot in de productiefase (A1-A5) realiseert, met zelfs een netto CO₂-opslag in sommige scenario's. Aan het einde van de levensduur (fase C) komt deze opgeslagen CO₂ echter weer vrij, wat een belangrijke kanttekening is bij de totale impact. Voor de woning en de school volgen de reducties in klimaatimpact grotendeels dezelfde trend: biogebaseerde materialen zorgen voor een lagere CO₂ eq.-impact, maar verhogen de impact van landgebruik aanzienlijk.

Het risico van impactverschuiving wordt benadrukt omdat het focussen op slechts één indicator, zoals klimaatverandering, kan leiden tot minder optimale ontwerpkeuzes vanuit een meer holistisch milieu-oogpunt. Hoewel de CO₂-reductie positief is, kunnen andere milieu-indicatoren zoals landgebruik en fijnstof aanzienlijk verslechteren. Dit benadrukt het belang van een integrale aanpak waarbij alle milieu-indicatoren worden meegenomen om goed onderbouwde ontwerpkeuzes te maken.

5.2 ERELONEN

Erelonen zijn nauw verbonden met de totale bouwkost en de complexiteit van de uitgevoerde optimalisaties. Bij de materiaaloptimalisatie in OPTIM 1, leidt de lichte daling van de bouwkost van de woning tot een proportionele daling van het ereloon. Voor de andere gebouwen steeg zowel de bouwkost als het ereloon in OPTIM1. Bij de compactere (OPTIM 2) woning en school daalt het ereloon voor het ontwerp en de werfopvolging aanzienlijk. Voor de optimalisatie met houtskelet (OPTIM3) daalt de bouwkost en de ereloonkost van de school. Die van de woning stijgt. Bij OPTIM 4, waarbij biogebaseerde materialen worden toegepast, stijgt de bouwkost voor beide gebouwen, en dit vertaalt zich in een gelijkaardige stijging van het ereloon.

Een belangrijke nuance is dat er voor het herontwerp en de bijkomende werkuren in realiteit een meerkost zou moeten worden aangerekend. Het ereloon dat in regie voor TOTEM wordt berekend, compenseert mogelijk

voor de extra inspanning van het herontwerp, maar biedt geen compensatie voor het verlies aan ereloon gekoppeld aan de lagere bouwkost. Dit zou moeten gecompenseerd worden met een verhoogd procentueel ereloon bij het verkleinen van het ontwerp.

Voor kleine projecten weegt de meerkost van een TOTEM-studie zwaarder door dan voor grotere projecten. Dit komt doordat de tijdsinvestering voor het modelleren en analyseren niet evenredig toeneemt met de schaal van het project. Naarmate projecten groter worden maar niet significant complexer, blijft de tijdsbesteding relatief beperkt, waardoor de extra kosten in verhouding minder zwaar doorwegen. Met ervaring en een uitgebreide eigen TOTEM-bibliotheek kan de meerkost op termijn dalen, maar het toevoegen van een extra stap in het proces blijft.

Tijdens het optimaliseren bleek een brede expertise in ontwerp, functionaliteit en duurzaamheid noodzakelijk om gelijkwaardige alternatieven voor te stellen. Door deze taak bij de architect te leggen, wordt een kostenoptimale milieu-impactreductie een geïntegreerd onderdeel van het ontwerp, zonder afbreuk te doen aan andere prestatie-eisen.

Een bijkomende aanbeveling is dat een meerkost voor een TOTEM-studie expliciet in het ereloon zou moeten worden opgenomen om de bijkomende uren te dekken. Dit is essentieel om zowel de kwaliteit van het werk als de rechtvaardige vergoeding van de architect te waarborgen.

5.3 KRITISCHE BEDENKINGEN

In deze studie wordt een levensduur van 60 jaar verondersteld, zoals het momenteel ook in TOTEM geïmplementeerd is. In de toekomst zal echter deze levensduur worden aangepast naar 50 jaar, overeenkomstig de herziene EPB-richtlijn. Hierdoor zal het aandeel van schoonmaak, onderhoud, vervangingen en energieverbruik dalen, en de productiefase zal relatief belangrijker worden. De restwaarde zal op het einde van de levensduur hoger liggen, wat belangrijk is bij de keuze voor circulair bouwen. Om de exacte impact van deze verkorte levensduur te bepalen, is een vervolgstudie aangewezen.

Deze studie houdt geen rekening met de omkeerbaarheid van verbindingen of de toekomstgerichtheid van ontwerpkeuzes voorbij de voorziene levensduur van het gebouw. Aspecten zoals hergebruik van materialen en robuust bouwen zijn essentiële overwegingen die naast de milieu-impact in beschouwing moeten worden genomen bij het maken van ontwerp- en materiaalkeuzes. Bijvoorbeeld, een grote overspanning of hogere verdiepingen worden in een TOTEM-analyse afgestraft vanwege het bijkomende materiaalgebruik. Toch kan dergelijke flexibiliteit in het ontwerp op lange termijn bijdragen aan een langere bruikbaarheid van het gebouw, dankzij een aanpasbaar grondplan dat inspeelt op toekomstige behoeften. Hoewel deze aspecten buiten het bereik van deze studie vallen, zijn ze cruciaal om duurzame en veerkrachtige ontwerpen te bevorderen.

In deze studie werden de installaties niet gemodelleerd. Deze kunnen ook geoptimaliseerd worden, wat de finale milieu-impactreducties en bijhorende kosten kan beïnvloeden. Verder werd er steeds gekozen voor generieke materialen uit de TOTEM-bibliotheek, door te kiezen voor specifieke materialen zal de milieu-impact veranderen. Daarnaast werd er steeds voor nieuwe materialen gekozen, door ook gebruik te maken van

hergebruikte materialen kan de milieu-impact nog meer verlaagd worden. Het energieverbruik werd berekend met de equivalente graaddagen, wat het energieverbruik onderschat. Dit kan met een bijhorende EPB-studie nog verder verfijnd worden.

In hoofdstuk 7 wordt aanbevolen om de link tussen kostprijsberekeningen en TOTEM te verbeteren. Dit kan door een template of exportfunctie voor kostprijsinschattingen toe te voegen of de mogelijkheid te bieden meetstaten of kostendatabanken te uploaden. Dit vraagt echter een harmonisatie in de element- en componentstructuur tussen de meetstaat en TOTEM. Om deze kostprijsstijgingen onder controle te houden kan ook in een vervolgstudie verder ingezet worden op de optimalisatie van de financiële kosten, en zo de materialenoptimalisatie en kostenoptimalisatie beter op elkaar af te stemmen.

6. AFTOETSING RESULTATEN MET LITERATUUR

6.1 STUDIES UIT NEDERLAND

In Nederland wordt sinds Bouwbesluit 2012 de MPG (MilieuPrestatie Gebouwen) berekend voor nieuwe woningen en kantoren (> 100 m²) (W/E adviseurs 2017).

In 2011 vond een onderzoek naar de bedrijfseffecten en milieu-effecten van de introductie van Bouwbesluit 2011 plaats (Bex et al. 2011). In Bouwbesluit 2011 worden onder andere nieuwe eisen naar het beperken van de uitstoot broeikasgassen en uitputting grondstoffen vastgelegd². Het onderzoek naar deze categorie van nieuwe eisen is interessant om te vergelijken met deze studie. Al wordt dus het effect van al deze eisen samen bekeken, in een groter geheel. Dus het effect van enkel deze maatregel is moeilijk te beoordelen. Bouwbesluit 2011 blijkt niet voor grotere administratieve lasten te zorgen, ondanks de strengere energie-eisen, de regelgeving vereenvoudigt namelijk op andere vlakken. Er wordt geen inhoudelijke duurzaam bouwen-eis opgelegd, waardoor het milieu-effect van de maatregelen nog moeilijk te bepalen is. Tot slot vindt dit Bouwbesluit plaats in een moeilijke economische tijd, waarin er weinig wordt verkocht en het dus moeilijker is om extra prijzen door te rekenen. In deze studie werden dus geen kosten berekend, de bedrijven werden bevraagd welke invloed deze nieuwe eisen zullen hebben op vlak van hun bedrijfswerking en op vlak van het milieu.

Een kostenstudie rond de introductie van 'Bouwbesluit 2012' is momenteel niet beschikbaar, deze studie zou het meest vergelijkbaar zijn met deze TOTEM-studie.

In de 'Wijziging bouwbesluit 2012' werd een kosteninschatting gemaakt ten gevolge van de nieuwe eisen, onder andere de invoering van milieugrenswaarden bij bouw van woningen, woongebouwen en kantoorfuncties (>100m²) (van der Poll et al. 2011). Hierbij wordt ingeschat dat deze niet voor een noemenswaardige

² Daarnaast worden er ook nieuwe brandeisen, eisen voor gas-, water- en elektravoorzieningen, nieuwe eisen voor trappen, eisen naar de bezetting in een gebouw, strengere energie-eisen, eisen naar het scheiden van bouw- en sloopaafval en eisen voor het gebruik van de fysieke ruimte vastgelegd.

nalevingskost zullen zorgen, aangezien de meeste woningen en kantoren reeds voldoen aan deze grenswaarden. Er is ook geen extra regeldruk of er komen geen extra bestuurlijke lasten omdat voor deze wijziging de MPG berekening al standaard uitgevoerd werd.

De grenswaarde (1,0 voor nieuwe woningen) werd in 2021 voor het eerst verstrengd (0,8 voor nieuwe woningen). Vanaf 2025 zal deze opnieuw verstrengd worden (naar 0,5 voor nieuwe woningen). Tegelijkertijd wordt er ook wel een herschaling doorgevoerd door van EN1508+A1 over te schakelen op EN15804+A2 en de weegfactoren worden geüpdatet. Hierdoor valt de verstrenging in realiteit minder zwaar. Naar aanleiding van deze verstrenging vond een studie plaats om de bijkomende kosten ten gevolge van deze nieuwe verstrenging in te schatten: "Lasten- en regeldrukeffecten wijziging milieuprestatie-eisen bouwregelgeving – Eindrapport" (Sira Consulting 2023). De aannames en bevindingen uit deze Nederlandse studie worden vergeleken met de aannames en bevindingen in deze studie.

Het doel van de Nederlandse studie kan niet vergeleken worden met deze Vlaamse studie. In de Nederlandse studie worden ook de bijkomende kosten ingeschat bij overheden om de milieuprestatiedossiers op te volgen en te controleren, en dit op de schaal van het volledige land. In deze Vlaamse studie worden enkel kosten aan de bouwheer in rekening gebracht, op de schaal van één gebouw. In de Nederlandse studie wordt de milieuprestatie-score verstrengd, in Vlaanderen wordt de verplichting om de milieu-impact te berekening geïntroduceerd. Het verstrengen heeft een kleinere impact dan het introduceren, aangezien het proces om de milieu-impact te berekenen en te evalueren reeds bestaat. Het ontwerpproces wordt in Nederland wel bemoeilijkt door de verstrenging, terwijl in Vlaanderen initieel nog geen grenswaarden opgelegd worden. In Nederland wordt ervan uitgegaan dat het effect na vijf jaar opnieuw verdwijnt, omdat de nieuwe regels het proces niet meer verzwaren. In België zal het effect van de introductie van deze nieuwe regelgeving na vijf jaar vermoedelijk verlagen, maar nog niet verdwenen zijn, er komt namelijk nog steeds een extra taak bij in het bouwproces. Beide studies hebben dus een andere focus: in Nederland de bijkomende kost aan de maatschappij van de verstrenging, in tegenstelling tot de bijkomende kost aan een bouwheer bij de introductie van de TOTEM-verplichting. Al zullen in Nederland (een deel van) deze kosten allicht doorgerekend worden aan de bouwheer. Wanneer op termijn in België grenswaarden opgelegd worden en deze nadien verder verstrengen, kan er wel teruggegrepen worden naar deze studie.

Vanaf 2025 zal in Nederland ook de lijst van indicatoren veranderen, van 11 naar 19 milieu-indicatoren, in lijn met de Europese richtlijn (EN15804:A2). In de studie "Wijziging Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken - Effecten op regeldruk, administratieve lasten, nalevingskosten en bestuurlijke lasten" (Cebeon 2023) wordt de financiële impact van deze wijziging ingeschat. Er worden voornamelijk extra kosten verwacht voor software-ontwikkelaars die hier nog geen rekening mee hielden, voor fabrikanten die vroegtijdig een nieuwe milieuverklaring moeten indienen, voor constructeurs met lopende projecten en voor architecten (zeer beperkt) voor extra toelichting. Verder wordt er weinig financiële impact verwacht. In de TOTEM-software zitten deze 19 milieu-indicatoren reeds vervat.

6.2 VEKA KOSTENOPTIMALE STUDIES

Het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA) liet in 2022 twee studies uitvoeren om na te gaan of de EPB-eisen voor nieuwbouw nog in overeenstemming zijn met het kostenoptimum, zowel voor residentiële gebouwen (De Pauw et al. 2023) als voor niet-residentiële gebouwen (Ingenium 2022). Deze studies hebben een ander doel dan deze TOTEM-kostenstudie, maar de economische factoren en aannames kunnen wel vergeleken worden. In de kostenoptimale studies werd een algemene discontovoet van 3% aangenomen (bovenop de inflatie), er is geen bijkomstige groeivoet voor bouwmaterialen of loonkost. Er werd ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een discontovoet van 0% en 5% bij niet-residentiële gebouwen, en van 2% en 6% bij residentiële gebouwen. In deze TOTEM-kostenstudie werd een discontovoet van 2% aangenomen, en bijkomstig werd nog een groeivoet voor loonkost van 1% aangenomen, of een algemene groeivoet van 0,7% waar geen onderscheid gemaakt kan worden tussen materiaalkost en loonkost. Bovendien werd er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een discontovoet van 4%.

Voor de energieprijzen hebben deze twee VEKA-studies uit 2022 een hoog, gemiddeld en een laag scenario. In 2022 was er een ongezien hoge prijsstijging ten gevolge van de oorlog in Oekraïne. Voor deze TOTEM-kostenstudie is er een stabiel zicht op de prijzen, en wordt er dus uitgegaan van de huidige energietarieven met een standaard groeivoet (2%). In de studies uit 2022 werden ook injectietarieven (min-kost) voor een PV-installatie opgenomen, in deze TOTEM-kostenstudie worden de technieken slechts beperkt meegenomen, en wordt dit dus niet mee opgenomen. In de kostenoptimale studies zijn de onderhoudskosten en vervangingskosten percentages van de initiële investeringskost die jaarlijks moet betaald worden, er is ook geen verdiscontering op deze kosten. In de VEKA studie voor residentiële gebouwen wordt geen end-of-life kost ingerekend. In de VEKA studie niet-residentieel werden de verwijderingskosten ingerekend. In deze TOTEM-kostenstudie worden deze kosten berekend op basis van de frequenties van onderhoud of vervangingen, om in lijn te zijn met de TOTEM berekeningen.

De VEKA-studies uit 2022 gaan uit van een actualisatietermijn van 30 jaar, de woontijd van één gezin (of 20 jaar bij commerciële niet-residentiële gebouwen). In deze TOTEM-kostenstudie wordt een levensduur van 60 jaar verondersteld, hierbij heeft dus de gebruikperiode een groter aandeel in de totale levenscycluskost. De restwaarde wordt in de twee kostenoptimale studies berekend als een lineaire afschrijving over de levensduur, wanneer de evaluatieperiode korter is dan de levensduur blijft er nog een restwaarde over. In deze TOTEM-studie wordt ervan uitgegaan dat na 60 jaar slechts een deel van de bouwcomponenten (primaire lagen) nog een waarde heeft en alle afwerkingsmaterialen vervangen zullen moeten worden. Er wordt aangenomen dat de restwaarde dan nog 50% van de waarde van de structuur bedraagt.

7. AANBEVELINGEN TOTEM

Tijdens het modelleren en optimaliseren van de case studies kwamen een aantal aanbevelingen ter verdere verbetering van TOTEM naar boven:

- 1 Het zou nuttig zijn om tijdens het schetsontwerp al een eerste inschatting te kunnen maken van de milieu-impact op basis van een beperkt aantal gebouwparameters (zoals bijvoorbeeld de volumetrie, functie van het gebouw en type constructie). Dit zou de mogelijkheid bieden om al in een vroeg stadium beslissingen te kunnen nemen, rekening houdend met de milieu-impact.
- 2 Informatie over de verschillende milieu-indicatoren afzonderlijk, zoals de indicator klimaatverandering, blijkt moeilijk te verkrijgen op het niveau van componenten. Voor dergelijke analyses is een expertaccount nodig en moet men handmatig werken in Excel-exports om een hotspotanalyse uit te voeren. Hoewel een snelle analyse van de bijdragen tot de milieuscore mogelijk is op basis van de taartdiagrammen, is het niet eenvoudig om de analyse los van het energieverbruik uit te voeren, omdat percentages handmatig moeten worden herschaald. Een geïntegreerde hotspotanalyse-tool binnen TOTEM, met een boomstructuur en de mogelijkheid om filters toe te passen, zou dit proces veel efficiënter maken. Hiermee zou men bijvoorbeeld snel de 80% meest impactvolle elementen of componenten kunnen selecteren, zonder tijd te verliezen met het exporteren en bewerken van Excel-bestanden.
- 3 Het zou handig zijn als verwijderde elementen en gebouwen in een prullenbak terechtkomen, in plaats van permanent te worden gewist. Zo kunnen per ongeluk verwijderde elementen/gebouwen makkelijk worden hersteld, wat aanzienlijk tijd kan besparen. Een “undo” knop zou hierbij ook een oplossing kunnen bieden.
- 4 Extra voorgedefinieerde elementen en bijkomende generieke nieuwere ‘duurzame’ materialen zijn gewenst, in meer verschillende diktes en toepassingen (bv. houtvezelisolatie, resolschuim). Hoewel hier de voorbije jaren al grote stappen in zijn gezet.
- 5 In een regelgevend kader zijn duidelijke richtlijnen nodig rond het rapporteren van afwerkingsmaterialen en het afbakenen van de scope van de analyse. Standaardcomponenten of standaardwaarden zouden aangereikt moeten worden voor het geval sommige materiaalkeuzes nog niet zijn gemaakt.
- 6 Grenswaarden per m² bruikbare vloeroppervlakte kunnen nadelig zijn voor kleinere en compactere gebouwen. TOTEM zou daarom de mogelijkheid moeten bieden om de resultaten op verschillende manieren te visualiseren (totaal, per m² en per bewoner) of in overeenstemming met het Nederlands systeem zou in de benchmark een correctie moeten worden toegepast voor kleinere gebouwen.
- 7 Het onderzoeken van de kosteneffectiviteit van optimalisaties is een waardevolle toevoeging voor alle gebruikers. We raden aan om een template of exportmogelijkheid te ontwikkelen waarmee gebruikers snel kostprijzen kunnen inschatten door gegevens in te vullen. Als alternatief zou TOTEM zelf een functionaliteit kunnen bieden om meetstaten of kostendatabanken te uploaden volgens een gestandaardiseerd formaat. Dit ligt echter buiten de scope van het doel van de tool, maar zou voor architecten een handige toevoeging zijn. Hiermee kan een gecombineerde analyse worden uitgevoerd waarbij kosten en milieu-impact naast elkaar worden gelegd.

- 8 Momenteel kan je slechts vier alternatieven (gebouwen of elementen) met elkaar vergelijken. Dit is vaak te weinig. Zes alternatieven kunnen vergelijken zou al tijd kunnen besparen.
- 9 De modellering van metselwerk zou bij voorkeur geparametriseerd moeten worden. Vaak moet men teruggrijpen naar een 'gelijkaardige' component waarbij de afmetingen van de stenen en de hoeveelheid of de soort mortel niet kloppen.
- 10 Bij het dupliceren van een project of element is het logischer om automatisch te verspringen naar de kopie, zodat aanpassingen in de kopie gebeuren. Dit volgt de logica van de Microsoft Suite, waar veel mensen aan gewoon zijn. Zo gebeurt het vaak dat een kopie wordt gemaakt en dat het originele element per ongeluk wordt aangepast.
- 11 Voor architectenbureaus die een eigen bibliotheek van elementen en gebouwen willen uitwerken, is er nog geen eenvoudige manier om dit op te stellen en als geheel toegankelijk te maken voor medewerkers. Je kan reeds elementen, gebouwen en projecten delen maar dit is soms veel werk.
- 12 Bij het genereren van een verslag voor de vergelijking van verschillende elementen zijn onder de tab 'Impact per component' de verschillende kleuren verwarrend, ook al is er per element een eigen legende voorzien. Het feit dat kleuren overeenkomen doet suggereren dat het om dezelfde componenten gaat, wat niet zo is. Dit wordt duidelijk door de legendes te analyseren. Het zou echter duidelijker zijn als hieraan kleur-categorieën zouden gekoppeld worden om tussen twee of meer elementen ook te kunnen zien of het eerder de afwerkingsmaterialen, de structuur of iets anders is dat sterk van elkaar verschilt qua milieu-impact.

BIBLIOGRAFIE

ABEX (2024) ABEX index. <https://www.abex.be/nl/indexen-abex/>. Accessed 24 Jan 2017

AGION (2025) Daglicht. <https://www.agion.be/daglicht>. Accessed 13 Feb 2025

Allacker K (2010) Sustainable building, The development of an evaluation method. PhD dissertation, KU Leuven

archipelago architecten (2024) archipelago. In: archipelago. <https://archipelago.be/en/projects/>. Accessed 2 Nov 2024

ASPEN (ed) (2020a) ASPENINDEX Regio België - Nieuwbouw. Antwerpen

ASPEN (ed) (2020b) ASPENINDEX Regio België - Ombouw. Antwerpen

Bex P, van der Poll P, van den Berg K, Marinkovic D (2011) BET/MET-analyse Bouwbesluit 2011 Onderzoek naar bedrijfseffecten en milieueffecten van de introductie van het Bouwbesluit 2011. Nieuwegein

Cebeeon (2023) Wijziging bepalingmethode milieuprestatie bouwwerken - effecten op regeldruk, administratieve lasten, nalevingskosten en bestuurlijke lasten - eindrapport. Nieuwegein

CEN (ed) (2019) EN 15804:2012+A2 Sustainability of construction works - Environmental product declaration - Core rules for the product category of construction products

CEN (ed) (2015) EN 16627 Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods

De Pauw M, Creylman J, Van den Bulck N (2023) Onderzoek naar de kostenoptimale niveaus bij nieuwbouw van residentiële gebouwen. VEKA

De Troyer F (2007) Bouweconomie en systeembouw. Acco, Leuven

European Union (2024) Directive (EU) 2024/1275 on the energy performance of buildings (recast)

Ingenium (2022) Kostenoptimale niveaus bij nieuwbouw van niet-residentiële gebouwen. VEKA

Objectif Zéro, Cecotepe, Cap Construction (2023) COZEB 3 - Mise à jour et extension de l'étude CO-ZEB déterminant le niveau de performance énergétique optimal en fonction des coûts conformément à la Directive 2010/31/EU et analyse de sensibilité des résultats obtenus. SPW - TLPE - DBD, Jambes

Orde van Architecten Deontologische Norm nr.2

OVAM (2025) Vlarema 9 wijzigingen voor grondstofverklaringen. <https://ovam.vlaanderen.be>. Accessed 13 Feb 2025

OVAM, SPW, Brussels Environment (2025) TOTEM. www.totem-building.be. Accessed 15 Jan 2024

Ray-Jones A, Clegg D (1978) CI/SfB Construction Indexing Manual. RIBA Publications Ltd, London

Sira Consulting (2023) Lasten- en regeldrukeffecten wijziging milieuprestatie-eisen bouwregelgeving. Nieuwegein

Trigaux D (2017) Elaboration of a sustainability assessment method for neighbourhoods. PhD dissertation, KU Leuven

Trigaux D, Lam WC, Servaes R, Allacker K, Debacker W, Delem L, De Nocker L, De Troyer F, Janssen A, Peeters K, Spirinckx C, Van Dessel J (2023) Environmental profile of buildings [update 2023]. OVAM, SPW, Brussels Environment

UPA-BUA (ed) (2020) Borderel van eenheidsprijzen 2020. Brussel

van der Poll P, van der Heijden J, Loosman K (2011) Effectmeting wijziging Bouwbesluit 2012 Drijvende bouwwerken, milieuprestatiegrenswaarden en de label C-plicht voor kantoren. Nieuwegein

VITO, KU Leuven, TU Graz (2018) PEF4Buildings - Study on the application of the PEF Method and related guidance documents to a newly office building - Deliverable D4: Proposal for approach for benchmark and classes of performance for new office buildings

VMSW (2021) Ontwerpleidraad Social woningbouw 2022

VREG (2024) Elektriciteitsprijzen. dashboard.vreg.be/report/DMR_Prijzen_elektriciteit.html. Accessed 3 Nov 2024

W/E adviseurs (2017) Onderzoek “Principes en parameters Milieuprestaties Gebouwen (MPG)” - Op basis van ervaringen in 2012-2016. Stichting Bouwkwiteit, Utrecht

BIJLAGE 1 WERKDOCUMENTEN (DIGITAAL)

BIJLAGE 2 MATERIAALOVERZICHT EN HOTSPOTANALYSE (DIGITAAL)