FACULTEIT INGENIEURSWETENSCHAPPEN
EN ARCHITECTUUR

Het ecologisch debat tussen renovatie en herbouw van eengezinswoningen

Anneleen Bollé, Judith Haanen
Studentennummers: 01604641, 01600232

Promotoren: prof. dr. ir. arch. Marijke Steeman, prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche
Begeleiders: ir.-arch. Yanaika Decorte, ir.-arch. Stijn Van de Putte

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Academiejaar 2020-2021

UNIVERSITEIT
GENT

VOORWOORD

Als toekomstige ingenieur-architecten is het belangrijk om op een verantwoorde en duurzame manier met de bebouwde wereld om te gaan. Dankzij deze masterproef, die het resultaat is van een boeiend en leerzaam jaar, kregen we de kans om ons inzicht en onze kennis op een veelzijdige manier verder uit te bouwen. Uiteraard was dit niet mogelijk geweest zonder de steun van een aantal mensen. Daarom nemen we in dit voorwoord uitdrukkelijk de tijd om een aantal personen te bedanken.

Allereerst willen wij onze promotoren prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman en prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche ten zeerste bedanken voor het aanbieden van dit interessante onderwerp. Wij zijn enorm vereerd dat dit onderwerp, waarvoor vele studenten interesse hadden, aan ons werd toegewezen en toevertrouwd en dat wij de kans hebben gekregen om ons hierin verder te verdiepen. Daarnaast willen wij jullie ook bedanken voor het begeleiden en het ondersteunen tijdens het vervolmaken van deze masterproef. Jullie feedback, interesse en ervaring hebben ertoe geleid dat wij onze masterproef tot een goed einde konden brengen.

Ook wensen wij onze dank te betuigen aan onze begeleiders ir.-arch. Yanaika Decorte en ir.-arch. Stijn Van de Putte voor de gesprekken, interessante opmerkingen en waardevolle tips, die ons telkens enorm verder hielpen en ons het gevoel gaven dat we er niet alleen voor stonden. Elk contact gaf ons de moed en motivatie om ons verder toe te leggen op de materie. Ook hun betrokkenheid, bereikbaarheid en aanspreekbaarheid stellen wij erg op prijs. Steeds waren wij welkom met al onze vragen. Zonder hen had deze opdracht nooit zo vlot kunnen verlopen en hadden wij dit eindresultaat niet kunnen bereiken.

Graag willen wij ook onze ouders bedanken, die ons de mogelijkheid hebben geboden om deze studie te kunnen volgen en ons al die jaren ondersteund hebben. De aanmoedigingen van onze ouders, en ook die van onze zussen, vrienden en studiegenoten, niet alleen dit jaar maar ook gedurende de voorbije vijf jaren van onze opleiding, apprecieerden wij enorm en zorgden ervoor dat we steeds in onszelf bleven geloven.

Ten slotte willen we ook elkaar bedanken voor de vlotte en leuke samenwerking en de kritische ingesteldheid die geleid heeft tot een resultaat waar we fier op zijn. Het afgelopen jaar ging geen dag voorbij zonder dat we elkaar spraken. De vele lachbuien en enorm fijne momenten samen, die geleid hebben tot een hechte vriendschap, koesteren wij voor het leven. 1015 Microsoft Teams gesprekken later, dienen wij met trots onze masterproef in en sluiten wij in schoonheid onze studententijd af.

Heel erg bedankt aan allen en veel leesplezier! Anneleen & Judith

Deze pagina is niet beschikbaar omdat ze persoonsgegevens bevat.
Universiteitsbibliotheek Gent, 2022.

This page is not available because it contains personal information.
Ghent University, Library, 2022.

OVERZICHT

Het ecologisch debat tussen renovatie en herbouw van eengezinswoningen

Door: Anneleen Bollé (01604641)
Judith Haanen (01600232)

Promotoren: prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman
prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche

Begeleiders: ir.-arch. Yanaika Decorte
ir.-arch. Stijn Van de Putte

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw
Voorzitter: prof. dr. ir.-arch. Johan Lagae
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2020 - 2021

Samenvatting

De Belgische woningvoorraad is verouderd en voor het bereiken van de energiedoelstellingen is een grote inspanning nodig. In deze masterproef wordt onderzocht hoe gebouwen zo efficiënt en duurzaam mogelijk aangepakt kunnen worden. Wanneer moet de keuze gaan naar renovatie en wanneer naar afbraak gevolgd door nieuwbouw, of kortweg herbouw? Het onderzoek start met het uitvoeren van een levenscyclusanalyse 'van wieg tot graf' op een casestudy, een rijwoning in Gentbrugge. Vervolgens wordt met behulp van SimaPro de totale milieu-impact van twee scenario's berekend, namelijk een renovatie- en herbouwscenario die beiden voldoen aan de richtwaarden van een passiefhuis. In een volgende fase van het onderzoek worden deze scenario's uitgebreid door middel van een variatie in isolatiegraad bij de vier constructieonderdelen die tot het warmteverliesoppervlak van de rijwoning behoren, meer bepaald het dak, de buitenmuren, de vloer op volle grond en de ramen. Met al deze scenario's als basis wordt er met behulp van grafieken op zoek gegaan naar een kantelpunt, de situatie waarbij de totale milieu-impact van een renovatiescenario gelijk is aan de totale milieu-impact van een herbouwscenario. Vervolgens wordt bestudeerd wat de invloed van zeven verschillende variaties op de bestaande toestand van de casestudy is op de totale milieu-impact van de renovatie- en herbouwscenario's en op de keuze tussen renovatie en herbouw. Naast een aantal variaties op de casestudy worden ook verschillende aannames van de toegepaste methodologie, zoals de afvalverwerking en de referentieperiode, aan de hand van een gevoeligheidsanalyse onderzocht en vergeleken. Op die manier kunnen uit het onderzoek een aantal interessante vaststellingen gemaakt worden over het ecologisch debat tussen renovatie en herbouw.

Trefwoorden

levenscyclusanalyse, milieu-impact, renovatie, herbouw, eengezinswoning

THE ECOLOGICAL DEBATE BETWEEN RENOVATION AND RECONSTRUCTION OF SINGLE-FAMILY DWELLINGS

Anneleen Bollé & Judith Haanen

Supervisors: prof. dr. ir.-arch. Marijke Steeman, prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche, ir.-arch. Yanaika Decorte, ir.-arch. Stijn Van de Putte

Abstract – What is the best way to change existing buildings to make them more environmentally friendly and sustainable? When should the choice go to renovation and when to reconstruction? In this research a life cycle analysis from cradle-to-grave is carried out on a terraced house in Gentbrugge, Belgium. First, a comparative analysis is performed between two scenarios: a passive renovation scenario and a passive reconstruction scenario. Subsequently, these scenarios are expanded by variation in the degree of insulation of the four construction parts that belong to the building envelope. This way it can be investigated how much more efficient a new building should be compared to a renovated building to achieve a better environmental performance. Finally, in order to generalize the results, the influence of seven different variations of the existing building on the total environmental impact of all renovation and reconstruction scenarios is examined. In this way, the research makes a number of interesting observations and contributes to the ecological debate between renovation and reconstruction.

Keywords – life cycle analysis, environmental impact, renovation, reconstruction, single-family dwelling

I. INTRODUCTION

The climate is changing, the temperature on earth is rising. The global CO_2 emissions are far too high and must be reduced urgently. The general goal is that the European Union should be climate neutral by 2050, which can be achieved by drastically reducing emissions. The building sector plays an important role in achieving the European climate goal. According to the publication of Van den Bergh, K. (2019) [2], 30% of the CO_2 emissions in Belgium originate from the building sector. The cause of this extremely high percentage is the outdated Belgian building stock, mainly consisting of houses with poor thermal performances and high energy losses. To become climate neutral by 2050, it is obvious that these houses need to be tackled urgently, but it is less obvious how this should be done. From an environmental point of view, would it be better to renovate or to reconstruct? The available literature on this subject does not provide an unambiguous answer. The aim of this research is to gain more insight into the choice between renovation and reconstruction in terms of environmental impact.

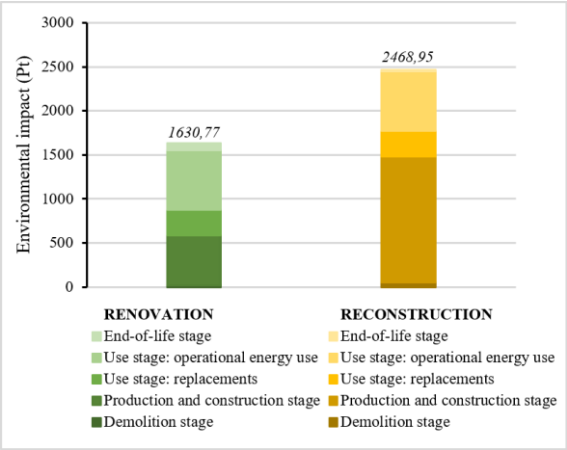
II. METHODOLOGY

How does renovation relate to reconstruction in terms of environmental impact? To answer this question, the environmental impact of a renovation and reconstruction scenario for a specific case study is examined. The case study is a terraced house built in 1963 that consists of two floors and a small cellar. The structure of the floor and of the flat roof is made of concrete, the external walls are made of bricks and the windows have a wooden frame and single glazing. None of these construction parts of the building envelope meet the current regulations as no insulation is provided. Both the renovation scenario and the reconstruction scenario comply with the passive standard. The environmental impact of both scenarios is determined by the use of life cycle analysis (LCA).

The functional unit for this study is the whole single-family dwelling and the reference study period is set to 60 years, which is assumed to be the expected service life of the building. According to the European standard NBN EN 15978, a cradle-to-grave analysis, where all life cycle stages are taken into account, is carried out. The renovation scenario includes five stages. In the first stage the (partial) demolition of the construction parts of the building envelope and the demolition of the finishing layers are taken into account. Finishing layers like paint and plaster have a short life span and it is assumed that replacement is recommended at the beginning of the life cycle. The second stage includes the production of new materials needed for the renovation and the third stage, i.e. the construction stage, comprises the transport from factory to site and 5% material loss. The use phase takes replacements and operational energy use over a life cycle of 60 years into account and the last stage or the end-of-life stage includes the demolition of the entire building. The reconstruction scenario includes the same five stages, but the first demolition stage now includes the demolition of the whole building, the production and construction stage includes the production and construction of a complete new building and the end-of-life stage includes the demolition of the finishing layers, to ensure a fair comparison with the renovation scenario. The assumptions that are made in this research are according to the publication "Environmental Profile of Building Elements" by OVAM (2018) [2]. To calculate the environmental impact the software tool SimaPro is used, with data retrieved from the Ecoinvent 3.6 database. This database contains mainly data that is representative for Switzerland or Western Europe, but when available Belgian inputs are applied. The impact assessment method used is ReCiPe (Hierarchist) and the comparative analysis is done using the single score expressed in Points, the highest aggregation level of this method. The focus of this research is on the building envelope. Consequently, technical and electrical installations are not taken into account and a standard condensing modulating gas boiler is assumed. For electricity use, the Belgian electricity mix is used and for natural gas, the Swiss process is taken into account, since no Belgian process is available in the database.

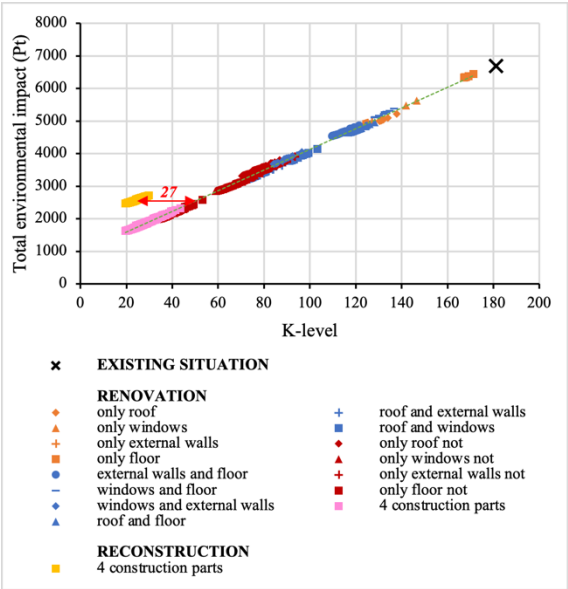
III. RESULTS

The result of the comparison between the passive renovation and the passive reconstruction scenario is shown in the graph below.



It is clear that renovation has a lower environmental impact than reconstruction. This is mainly due to the fact that the production and construction stage of the reconstruction scenario has a higher environmental impact because of all the new materials that are needed. The use stage also has a big impact, but is the same for both scenarios. The demolition and end-of-life stage have a small environmental impact for both scenarios.

How much more efficient should a new building be compared to a renovated building to achieve a better overall environmental performance? To be able to formulate an answer to this question, the degree of insulation for the renovated and new building is varied. For the renovation scenarios, eight renovation options for the external walls and the roof are considered, six for the floor and three for the windows, ranging from no renovation to the passive standard. For the reconstruction scenarios, five options for the external walls and the roof are considered, four for the floor and two for the windows, ranging from the standard requirements for new houses in Belgium to the passive standard. On the graph below, these scenarios are plotted with the K-level of the building, which is taking the mean U-value and the compactness of the house into account, on the x axis and the total environmental impact on the y axis.



The tipping point between renovation and reconstruction is defined as the point where both scenarios have the same total environmental impact. As the graph above shows, a tipping point is found when the difference in K-level between the renovation and the new building is 27. If the difference in K-level is less than 27, renovation is the best option from an environmental point of view. This is the case for the renovation scenarios where all four construction parts of the building envelope are renovated (pink squares on the graph above) or when three construction parts are renovated and not the floor (red squares on the graph above), except for the scenario where all four construction parts are minimally renovated and the floor is not. For all the other renovation scenarios, so when the difference in K-level with the new building is more than 27, reconstruction is the best option from an environmental point of view.

The previous results are applicable to the specific case study in Gentbrugge. To be able to draw more general conclusions regarding the Belgian building stock, some variations on the existing situation are made. This way, it can be investigated whether this has an influence on the choice between renovation and reconstruction and/or on the tipping point between the two scenarios. The existing situation of the case study is subject to seven different variations: degree of insulation, geometry, window area, roof typology, roof structure, building typology and floor finishing. If the construction parts of the existing building contain insulation, the environmental impact of the renovation scenarios decreases significantly. When four construction parts of the building envelope are insulated or three construction parts except the floor, renovating the building is always the best option. If this is not the case, reconstruction is the best option from an environmental point of view. For the other variations, there is an influence on the environmental impact, but the effect on the choice between renovation and reconstruction remains limited. When the existing building is larger, the new building should perform at least 24 K-level points better than the renovated building in order to have a lower environmental impact. In case the building has a pitched roof, the difference in K-level between the renovated and the new building should be more than 23 and when the roof structure is made of wood, the difference should be more than 26 in order for reconstruction to be better. For a semi-detached house, the new building should have a K-level that is at least 25 points lower than the K-level of the renovated building to be the best option and for a detached house the difference should be at least 23 points. The chance that in those cases reconstruction will be the best option, is slightly higher compared to the initial investigated terraced house, but the difference remains very limited. The window area and the floor finishing have a negligible impact on the choice between renovation and reconstruction. So in most cases, the choice between the two scenarios will remain unchanged.

IV. CONCLUSIONS

Assuming a lifespan of 60 years and a renovation of all construction parts of the building envelope with or without the floor, renovation will always have the lowest environmental impact and be a better choice than reconstruction from an environmental point of view. Renovating only one or two construction parts or renovating three construction parts including the floor, will in most cases make reconstruction a better choice. When the existing situation of the case study is varied, the effect on the difference in environmental impact and the choice between renovation and reconstruction remains limited, so it can be concluded that the conclusions made in this study are generally applicable to a wide range of single-family houses. Of all scenarios, the passive renovation scenario has over a lifespan of 60 years the lowest environmental impact, so it can be decided that this strategy should be applied to the obsolete building stock in order to drastically reduce CO_2 emissions from homes and to combat the climate crisis.

V. REFERENCES

[1] Van den Bergh, K. (2019, 01 18). CO2-uitstoot van je woning verminderen: wat kan jij doen? Opgehaald van Bouw-energie: https://bouw-energie.be/nl-be/blog/post/co2-uitstoot-van-je-woning-verminderen

[2] Allacker, K., Debacker, W. et al. (2018). Environmental profile of building elements. Mechelen: OVAM.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 1
1.1 KLIMAATDOELEN 1
1.2 BIJDRAGE BOUWSECTOR 1
1.3 DOEL VAN DIT ONDERZOEK 5

2 LITERATUURONDERZOEK 6
2.1 ENERGIEPRESTATIE 6
2.2 SCENARIO'S 7
2.3 REFERENTIEPERIODE 8
2.4 GEOMETRISCHE EQUIVALENTIE 9
2.5 LOCATIE 10
2.6 CASESTUDY'S 11

3 CASESTUDY 13
3.1 BESTAANDE TOESTAND 13
3.2 RENOVATIESCENARIO 17
3.3 HERBOUWSCENARIO 17

4 METHODOLOGISCH KADER 19
4.1 LEVENSCYCLUSANALYSE 19
4.2 METHODOLOGIE 20
4.2.1 Bepaling doel en reikwijdte 20
4.2.2 Inventarisatie 24
4.2.3 Impactanalyse 25
4.2.4 Interpretatie 27

5 RESULTAAT 28
5.1 RENOVATIESCENARIO VERSUS HERBOUWSCENARIO 28
5.1.1 Gebouwniveau 28
5.1.2 Elementniveau 29
5.1.3 Materiaalniveau 31
5.2 VARIATIE ISOLATIEGRAAD RENOVATIE- EN HERBOUWSCENARIO 36
5.2.1 Isolatiegraad renovatiescenario 36
5.2.2 Isolatiegraad herbouwscenario 37
5.2.3 Renovatiescenario's versus herbouwscenario's 38
5.2.4 Kantelpunt 41
5.2.5 Optimale isolatiedikte 43

6 VARIATIES OP DE CASESTUDY 47
6.1 ISOLATIEGRAAD 47
6.1.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario 47
6.1.2 Kantelpunt 50

6.2 GEOMETRIE 54
6.2.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario 54
6.2.2 Kantelpunt 56
6.3 RAAMOPPERVLAKTE 60
6.3.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario 60
6.3.2 Kantelpunt 61
6.4 DAKTYPOLOGIE 63
6.4.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario 63
6.4.2 Kantelpunt 66
6.5 DAKOPBOUW 69
6.5.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario 69
6.5.2 Kantelpunt 71
6.6 GEBOUWTYPOLOGIE 74
6.6.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario 74
6.6.2 Kantelpunt 74
6.7 VLOERAFWERKING 77
6.7.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario 77
6.7.2 Kantelpunt 79

7 GEVOELIGHEIDSANALYSES 83
7.1 TRANSPORT VAN DE PRODUCTIE- EN CONSTRUCTIEFASE 83
7.2 EINDVERWERKING VAN BOUW- EN SLOOPAFVAL 85
7.3 ONTMANTELING EN AFBRAAK 86
7.4 REFERENTIEPERIODE 89

8 DISCUSSIE 97

9 BESLUIT 99

10 BIBLIOGRAFIE 101

BIJLAGEN

BIJLAGE A: MATERIALEN SIMAPRO
BIJLAGE B: SCENARIO VOOR TRANSPORT VAN BOUWMATERIALEN VAN FABRIEK NAAR WERF (OVAM)
BIJLAGE C: LEVENSDUUR EN VERVANGINGEN MATERIALEN (OVAM)
BIJLAGE D: AFVALSCENARIO'S SIMAPRO
BIJLAGE E: AFVALSCENARIO'S VOOR DE 37 IN MMG BESCHOUWDE AFVALCATEGORIEËN (OVAM)

LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN

FIGUUR 1: CO_2-UITSTOOT IN BELGIË IN 2016 (KLIMAAT.BE) 2
FIGUUR 2: INDELING HUIZEN EN APPARTEMENTEN VOLGENS ENERGIEKLASSE - 2019 (VLAAMS GEWEST) 2
FIGUUR 3: INDELING HUIZEN EN APPARTEMENTEN VOLGENS ENERGIEKLASSE - 2019 (WAALS GEWEST) 3
FIGUUR 4: INDELING HUIZEN EN APPARTEMENTEN VOLGENS ENERGIEKLASSE - 2019 (BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST) 3
FIGUUR 5: FOTO'S CASESTUDY GENTBRUGGE 13
FIGUUR 6: GRONDPLANNEN CASESTUDY GENTBRUGGE 14
FIGUUR 7: GEVELS CASESTUDY GENTBRUGGE 14
FIGUUR 8: OPBOUW VLOEREN CASESTUDY GENTBRUGGE 15
FIGUUR 9: OPBOUW GEMENE MUUR EN BINNENMUUR CASESTUDY GENTBRUGGE 15
FIGUUR 10: OPBOUW BUITENMUUR EN RAAM CASESTUDY GENTBRUGGE 16
FIGUUR 11: OPBOUW DAK CASESTUDY GENTBRUGGE 16
FIGUUR 12: OPBOUW CONSTRUCTIEONDERDELEN RENOVATIESCENARIO EN HERBOUWSCENARIO 18
FIGUUR 13: OVERZICHT VAN DE BESCHOUWDE LEVENSCYCLUSFASEN EN SYSTEEMGRENZEN BINNEN EUROPESE NORM EN 15978 19
FIGUUR 14: CRADLE-TO-GATE, CRADLE-TO-GRAVE EN CRADLE-TO-CRADLE BENADERING LCA 20
FIGUUR 15: FASEN LEVENSCYCLUSANALYSE RENOVATIESCENARIO 22
FIGUUR 16: FASEN LEVENSCYCLUSANALYSE HERBOUWSCENARIO 23
FIGUUR 17: OVERZICHT VAN DE STRUCTUUR VAN RECIPE 26
FIGUUR 18: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWBOUWSCENARIO (GEBOUWNIVEAU) 28
FIGUUR 19: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWBOUWSCENARIO (ELEMENTNIVEAU) 30
FIGUUR 20: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWBOUWSCENARIO (MATERIAALNIVEAU) 31
FIGUUR 21: MATERIAALIMPACT BUITENMUREN 32
FIGUUR 22: MATERIAALIMPACT RAMEN 33
FIGUUR 23: MATERIAALIMPACT BINNENMUREN 33
FIGUUR 24: MATERIAALIMPACT GEMENE MUREN 34
FIGUUR 25: MATERIAALIMPACT DAK 34
FIGUUR 26: MATERIAALIMPACT VLOEREN EN TERRAS 35
FIGUUR 27: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S 39
FIGUUR 28: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM 42
FIGUUR 29: UITBREIDING RENOVATIESCENARIO'S EN HERBOUWSCENARIO'S 44
FIGUUR 30: UITBREIDING RENOVATIESCENARIO'S EN HERBOUWSCENARIO'S ZOOM 45
FIGUUR 31: UITBREIDING RENOVATIESCENARIO'S EN HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (MATERIAAL- EN ENERGIE-IMPACT) 46
FIGUUR 32: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (VARIATIE ISOLATIEGRAAD) 49
FIGUUR 33: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (DRIE VERSCHILLENDE ISOLATIEGRADEN) 50
FIGUUR 34: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S (VARIATIE ISOLATIEGRAAD) 52
FIGUUR 35: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (VARIATIE ISOLATIEGRAAD) 53
FIGUUR 36: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (VARIATIE GEOMETRIE) 55
FIGUUR 37: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (CONSTANTE DIEPTE (LINKS) EN CONSTANTE BREEDTE (RECHTS)) 56
FIGUUR 38: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S (VARIATIE GEOMETRIE) 57
FIGUUR 39: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (VARIATIE GEOMETRIE) 59
FIGUUR 40: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (VARIATIE RAAMOPPERVLAKTE) 60
FIGUUR 41: VERSCHIL IN MILIEU-IMPACT TUSSEN RENOVATIE EN HERBOUW (VARIATIE RAAMOPPERVLAKTE) 61
FIGUUR 42: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S (VARIATIE RAAMOPPERVLAKTE) 62
FIGUUR 43: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (VARIATIE RAAMOPPERVLAKTE) 63

FIGUUR 44: OPBOUW ZADELDAK 64
FIGUUR 45: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (VARIATIE DAKTYPOLOGIE) 65
FIGUUR 46: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO PER M^2 BRUIKBARE VLOEROPPERVLAKTE (VARIATIE DAKTYPOLOGIE) 66
FIGUUR 47: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S (VARIATIE DAKTYPOLOGIE) 67
FIGUUR 48: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (VARIATIE DAKTYPOLOGIE) 68
FIGUUR 49: OPBOUW HOUTEN DAK 69
FIGUUR 50: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (VARIATIE DAKOPBOUW) 70
FIGUUR 51: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S (VARIATIE DAKOPBOUW) 72
FIGUUR 52: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (VARIATIE DAKOPBOUW) 73
FIGUUR 53: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (VARIATIE GEBOUWTYPOLOGIE) 74
FIGUUR 54: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S (VARIATIE GEBOUWTYPOLOGIE) 75
FIGUUR 55: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (VARIATIE GEBOUWTYPOLOGIE) 76
FIGUUR 56: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (VARIATIE VLOERAFWERKING) 78
FIGUUR 57: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S (VARIATIE VLOERAFWERKING) 80
FIGUUR 58: RENOVATIESCENARIO'S VERSUS HERBOUWSCENARIO'S ZOOM (VARIATIE VLOERAFWERKING) 81
FIGUUR 59: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (METHODE VOOR TRANSPORT VAN PRODUCTIE- EN CONSTRUCTIEFASE) 84
FIGUUR 60: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (METHODE VOOR EINDVERWERKING BOUW- EN SLOOPAFVAL) 86
FIGUUR 61: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (SCENARIO VOOR ONTMANTELING EN AFBRAAK) . 88
FIGUUR 62: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (SCENARIO REFERENTIEPERIODE) 91
FIGUUR 63: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO PER JAAR (SCENARIO REFERENTIEPERIODE) 91
FIGUUR 64: MILIEU-IMPACT IN FUNCTIE VAN REFERENTIEPERIODE (RENOVATIE K20) 92
FIGUUR 65: MILIEU-IMPACT IN FUNCTIE VAN REFERENTIEPERIODE (RENOVATIE K29) 93
FIGUUR 66: MILIEU-IMPACT IN FUNCTIE VAN REFERENTIEPERIODE (RENOVATIE K38) 93
FIGUUR 67: MILIEU-IMPACT IN FUNCTIE VAN REFERENTIEPERIODE (RENOVATIE K68) 94
FIGUUR 68: MILIEU-IMPACT IN FUNCTIE VAN REFERENTIEPERIODE (RENOVATIE K181) 95
FIGUUR 69: K-PEIL RENOVATIE IN FUNCTIE VAN KANTELPUNT REFERENTIEPERIODE 96

TABEL 1: CEN-INDICATOREN EN CEN+-INDICATOREN 25
TABEL 2: RENOVATIEOPTIES PER CONSTRUCTIEONDERDEEL 37
TABEL 3: NIEUWBOUWOPTIES PER CONSTRUCTIEONDERDEEL 38
TABEL 4: OPTIES BESTAANDE TOESTAND PER CONSTRUCTIEONDERDEEL 48
TABEL 5: SCENARIO'S VARIATIE ISOLATIEGRAAD 51
TABEL 6: RENOVATIEOPTIES ZADELDAK 64
TABEL 7: NIEUWBOUWOPTIES ZADELDAK 65
TABEL 8:RENOVATIEOPTIES HOUTEN DAK 70
TABEL 9: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (METHODE VOOR TRANSPORT VAN PRODUCTIE- EN CONSTRUCTIEFASE) 84
TABEL 10: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (METHODE VOOR EINDVERWERKING BOUW- EN SLOOPAFVAL) 85
TABEL 11: SCENARIO'S VOOR ONTMANTELING EN AFBRAAK 87
TABEL 12: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (SCENARIO VOOR ONTMANTELING EN AFBRAAK) ... 88
TABEL 13: SCENARIO'S REFERENTIEPERIODE 89
TABEL 14: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO (SCENARIO REFERENTIEPERIODE) 90
TABEL 15: PASSIEF RENOVATIESCENARIO VERSUS PASSIEF HERBOUWSCENARIO PER JAAR (SCENARIO REFERENTIEPERIODE) 90

1 INLEIDING

1.1 KLIMAATDOELEN

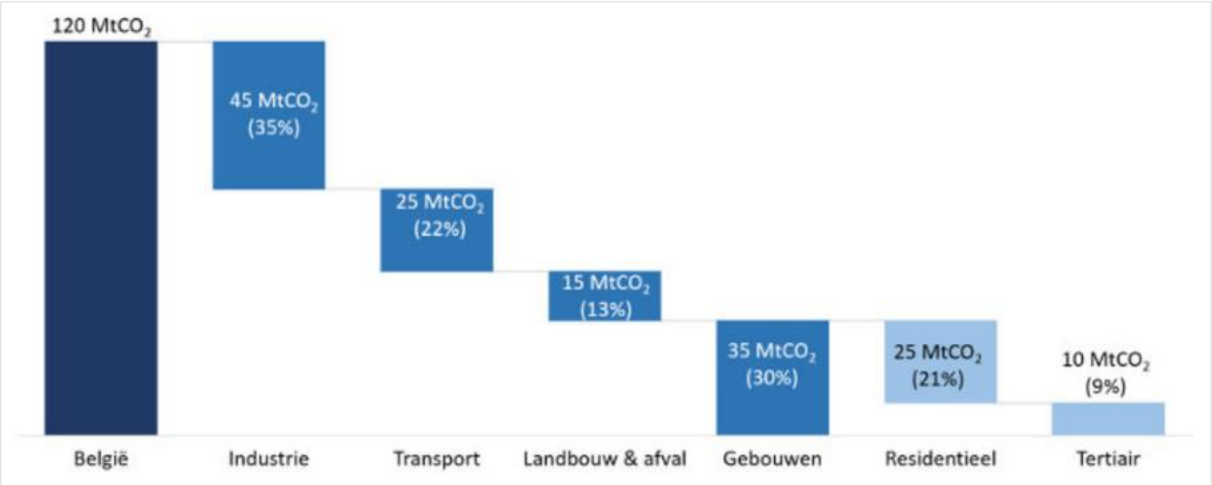
Klimaatverandering heeft grote gevolgen voor mens en natuur. De aarde warmt op en extreme weersomstandigheden komen vaker voor. Het is een rechtstreeks gevolg van de stijgende concentraties aan broeikasgassen in onze atmosfeer. Om de gevolgen te beperken, werd bij het klimaatakkoord van Parijs internationaal afgesproken om de wereldwijde temperatuurstijging te beperken tot minder dan 2°C ten opzichte van het pre-industriële tijdperk. Met dit akkoord verbinden 195 partijen zich ertoe om inspanningen te leveren om de wereldwijde uitstoot zo snel mogelijk te reduceren.

Ook de Europese Unie spant zich in om klimaatverandering tegen te gaan. In lijn met de verplichtingen onder het klimaatakkoord van Parijs beslisten de staatshoofden en regeringsleiders eind 2019 dat de Europese Unie tegen 2050 klimaatneutraal zou moeten worden. Om klimaatneutraal te worden, dient Europa zijn uitstoot drastisch te verminderen en de resterende uitstoot te compenseren door o.a. bebossing. In 2020 werd er afgesproken dat de Europese Unie tegen 2030 de broeikasgasuitstoot op haar grondgebied met minstens 55% moet terugdringen ten opzichte van 1990. De herziene doelstelling zet de Europese Unie op pad naar klimaatneutraliteit tegen 2050.

De EU-lidstaten moeten nationale langetermijnstrategieën ontwikkelen om de broeikasgasemissie-reducties te realiseren die nodig zijn om aan de verplichtingen van de Overeenkomst van Parijs en de EU-doelstellingen te voldoen. Elk land moet een plan indienen en zeggen wat zijn bijdrage is om die gezamenlijke doelstelling te halen voor een periode van 10 jaar. Het Nationaal Energie- en Klimaatplan (NEKP) legt de Belgische energie- en klimaatdoelstellingen vast voor de periode 2021-2030. Naast een beschrijving van de beleidsmaatregelen bevat het plan ook een inschatting van onder andere de hoeveelheid broeikasgasemissies die hiermee verminderd zullen worden.

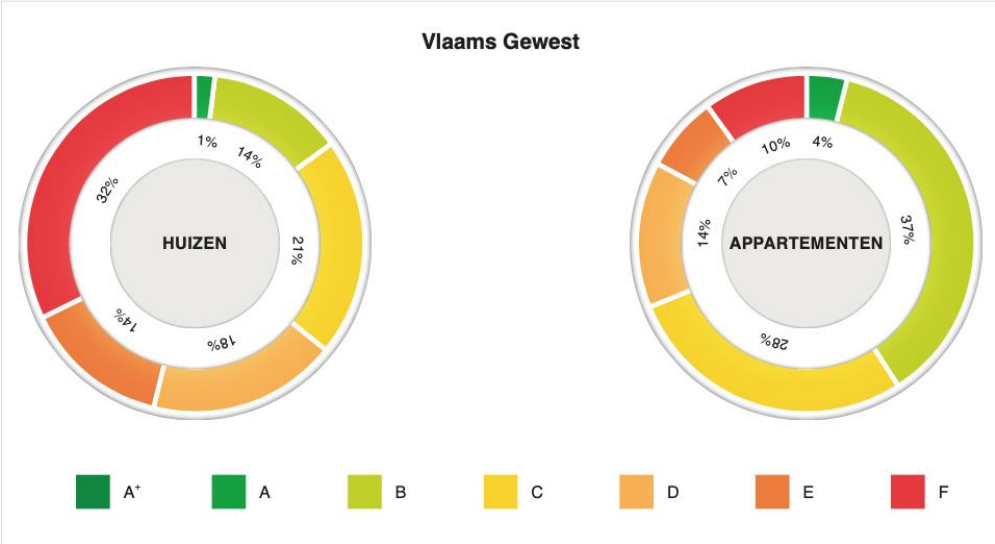
1.2 BIJDRAGE BOUWSECTOR

De bouwsector speelt een belangrijke rol in het behalen van de Europese klimaatdoelstellingen. Zo is de bouwsector in België volgens *Van den Bergh (2019*) verantwoordelijk voor 30% van de CO_2-uitstoot. Dit is minder dan de CO_2-uitstoot afkomstig van de industrie (35%), maar meer dan transport (22%) en dan landbouw en afval (13%). 21% van de CO_2-uitstoot is afkomstig van residentiële gebouwen, terwijl maar 9% afkomstig is van tertiaire gebouwen.

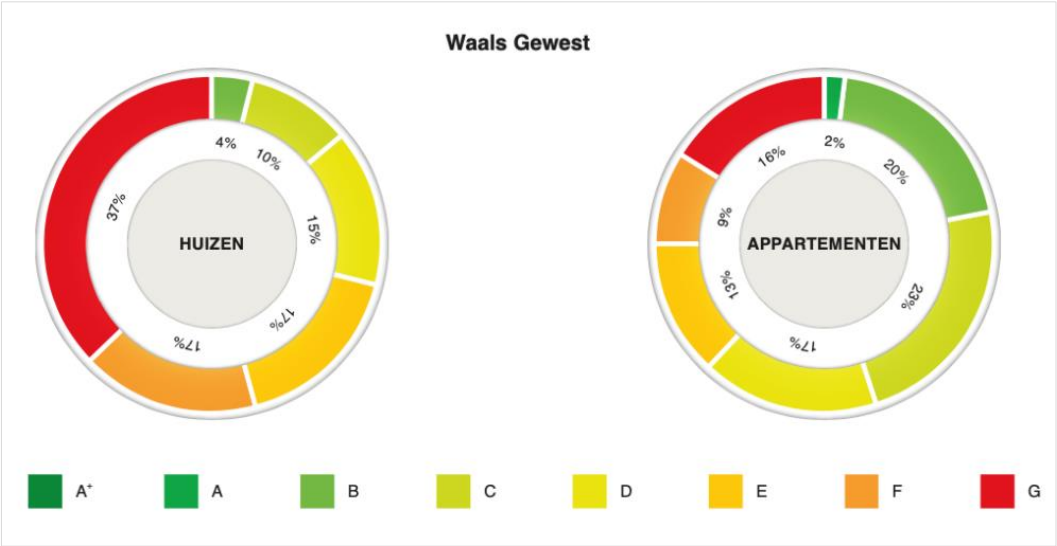


Figuur 1: CO_2-uitstoot in België in 2016 (klimaat.be)

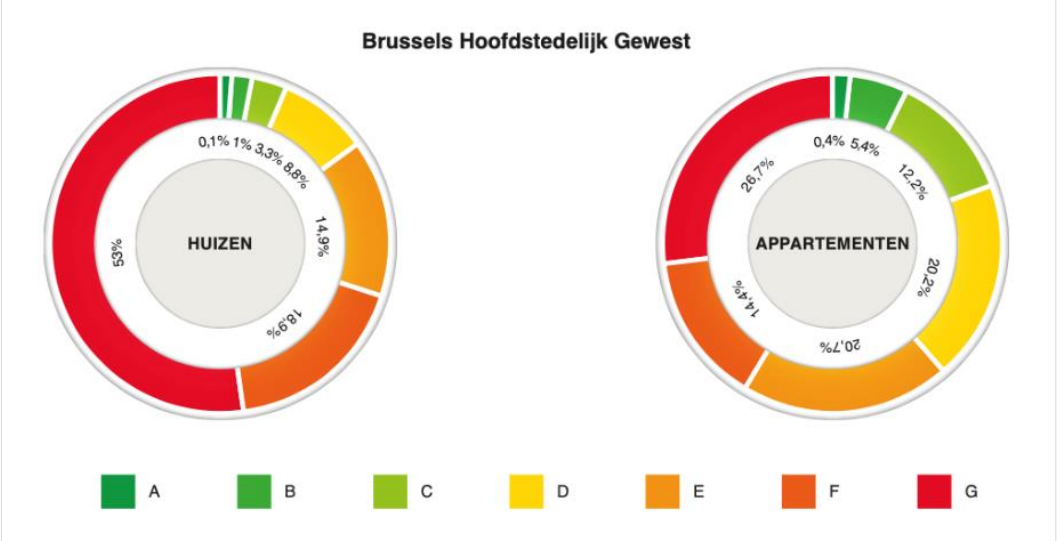
Deze beduidende bijdrage aan de CO_2-uitstoot hangt voornamelijk samen met het energiegebruik van gebouwen. Volgens *Steeman, M. (2021)* is de bouwsector in Europa verantwoordelijk voor 38% van het primaire energiegebruik, waarvan 70% voor verwarming en ventilatie. De onderstaande afbeeldingen uit *Recticel Insulation (2020)* tonen per gewest de indeling van huizen en appartementen volgens energieklasse.



Figuur 2: Indeling huizen en appartementen volgens energieklasse - 2019 (Vlaams Gewest)



Figuur 3: Indeling huizen en appartementen volgens energieklasse - 2019 (Waals Gewest)



Figuur 4: Indeling huizen en appartementen volgens energieklasse - 2019 (Brussels Hoofdstedelijk Gewest)

In het Vlaamse Gewest halen slechts 1,0% van de huizen en 4,0% van de appartementen het energielabel A, wat een EPC-gemiddelde van 100 kWh/m^2/jaar of beter betekent. In het Waalse Gewest ligt dit aandeel nog lager en haalt slechts 0,2% van de huizen en 2,3% van de appartementen het label A. In het Brusselse Hoofdstedelijke Gewest heeft 1,7% van de huizen en 8,9% van de appartementen een energielabel C, wat gelijkstaat aan 100 kWh/m^2/jaar of beter.

Het hoge energiegebruik en de hoge CO_2-uitstoot van de bouwsector zijn vooral een gevolg van de aard van het Belgische gebouwenpark. België heeft een oud vastgoedpatrimonium, wat in het algemeen gepaard gaat met weinig efficiëntie en zeer lage isolatiegraden. Uit de publicatie van de *Vlaamse Regering (2020)* blijkt dat ongeveer 55% van de eengezinswoningen en iets meer dan 40% van de appartementsgebouwen in Vlaanderen dateren van vóór de jaren 70, wat betekent dat ze gebouwd zijn voor het invoeren van energienormen. Een recente nieuwbouwwoning scoort bijna drie keer beter op energievlak dan een woning van vóór 1970 en dubbel zo goed als een woning uit de periode 1971-1985. Daarnaast telt België ook een groot aantal eengezinswoningen met vier gevels, wat leidt tot hogere energieverliezen.

Om tegen 2030 de uitstoot met 55% te verminderen en tegen 2050 klimaatneutraal te zijn, is het van groot belang om die woningen aan te pakken en om het energiegebruik en de CO_2-uitstoot van woningen in het algemeen drastisch te reduceren. Omdat renovatie hierbij een belangrijk onderdeel vormt, kwam de Vlaamse overheid in 2014 met het Renovatiepact 2050, waarin gesteld wordt dat verbouwingen vaker en grondiger moeten gebeuren. Daarnaast wordt er in het pact ook als doel nagestreefd dat tegen 2050 elk huis even energiezuinig moet zijn als een energetisch performante nieuwbouwwoning, wat een E-peil van 30 betekent. Als naar bovenstaande afbeeldingen wordt gekeken, wil dit dus zeggen dat 99% van de woningen en 96% van de appartementen in het Vlaamse Gewest zullen moeten worden aangepakt om de doelstellingen van het renovatiepact tegen 2050 te halen. In het Waalse Gewest moeten 99% van de huizen en 97% van de appartementen grondig energetisch gerenoveerd worden en in Brussel nog ongeveer 98% van de huizen en 92% van de appartementen. Dit komt er eigenlijk op neer dat het volledige Belgische gebouwenpark energetisch moet gerenoveerd worden tegen 2050. Het renovatietempo ligt echter te laag. In België worden volgens *OVAM* jaarlijks slechts 0,33% van de woningen grondig gerenoveerd. Dit percentage ligt bij al onze buurlanden meer dan drie keer zo hoog. Als het renovatietempo niet opgekrikt wordt, kan de doelstelling voor 2050 onmogelijk nog gehaald worden.

De ecologische impact van de bouwsector heeft niet alleen te maken met het energiegebruik en de CO_2-uitstoot, maar ook met het ruimtebeslag en de manier waarop er omgegaan wordt met materialen en grondstoffen. Volgens *Steeman, M. (2021)* vinden 50% van de ontgonnen natuurlijke hulpbronnen hun weg naar de bouwsector en is de Europese bouwsector ook verantwoordelijk voor 33% van de afvalproductie. Soms zijn de renovatiewerken van zo'n woning zo ingrijpend, dat de vraag rijst of het toch niet beter is om de woning te slopen en ze vervolgens opnieuw op te bouwen. De resultaten van de Woonsurvey 2018 tonen dat circa 350.000 woningen van structureel ontoereikende kwaliteit zijn en gebreken hebben die niet eenvoudig te verhelpen zijn. Ook is het met een renovatie doorgaans moeilijker om een even goede energie-efficiëntie te bereiken als met een nieuwbouw. Aan de andere kant slorpen de afbraak, verwerking van bouwafval en nieuwbouw zelf veel energie op. Het is belangrijk om bij de start van het renovatieproject grondig af te wegen wat het meest zinvol is.

Er zijn verschillende aspecten die meespelen in de beslissing. Enerzijds kan het financiële aspect de doorslag geven. Beide keuzes kunnen rekenen op premies of financiële voordelen. De renovatiepremie wordt berekend per categorie van de werken en bedraagt 20% of 30% van de aanvaarde kostprijs van de werken (exclusief btw). De premie voor afbraak en heropbouw bedraagt 10.000 euro. Onder bepaalde voorwaarden moet er slechts 6% btw betaald worden voor de sloop en heropbouw van een woning. Anderzijds is er ook nog het milieuaspect. In tegenstelling tot het financiële aspect, dat relatief eenvoudig te berekenen is, kent het milieuaspect weinig duidelijkheid en wordt het bij de afweging tussen renovatie en herbouw vaak vergeten. Toch is het van groot belang om ook bij de milieu-impact van de werkzaamheden stil te staan.

De Belgische woningvoorraad is verouderd en voor het bereiken van de energiedoelstellingen is een grote inspanning nodig. Het aanpakken van een substantieel deel van het gebouwenpark is noodzakelijk om de kwaliteit van de woningen op peil te houden en om voldoende energiebesparing te realiseren. Maar ook dat aanpakken en verbeteren van het gebouwenpark kent een zekere milieu-impact. Hoe wordt deze milieu-impact zo laag mogelijk gehouden? Hoog tijd om meer inzicht te krijgen in hoe gebouwen zo efficiënt en duurzaam mogelijk aangepakt kunnen worden.

1.3 DOEL VAN DIT ONDERZOEK

De twee opties om oude woningen aan te pakken, namelijk renoveren of de oude woning afbreken en een nieuwe woning bouwen, worden in dit onderzoek verder bekeken. Er wordt specifiek nagegaan hoe renovatie en herbouw zich t.o.v. elkaar verhouden op vlak van milieu-impact. De belangrijkste deelonderzoeksvragen van deze studie zijn de volgende:

→ Welke resultaten bekomen andere studies die met behulp van levenscyclusanalyse een vergelijking maken tussen renovatie en herbouw? Door welke parameters worden die resultaten bepaald?

→ Hoeveel performanter moet een nieuwbouwwoning zijn in vergelijking met een gerenoveerde woning om een betere milieuprestatie te hebben? Hoe wordt het resultaat beïnvloed als de bestaande toestand van de casestudy gevarieerd wordt?

→ Welke invloed oefenen de methode voor de eindverwerking van bouw- en sloopafval, de methode voor het transport van materialen in de constructie- en productiefase, het scenario voor ontmanteling en afbraak en de referentieperiode uit op het resultaat?

2 LITERATUURONDERZOEK

Er is heel wat literatuur beschikbaar over het ecologisch debat tussen renovatie en afbraak gevolgd door nieuwbouw, of kortweg herbouw, maar een duidelijke consensus ontbreekt. De resultaten van de onderzoeken die zich op dit onderwerp toeleggen, komen niet overeen en zijn soms zelfs tegenstrijdig. Er is geen eenduidig antwoord op het ecologisch debat tussen renovatie en herbouw. In wat volgt wordt verder ingegaan op die verschillende resultaten, afkomstig van zeventien bronnen, en op de parameters die een invloed uitoefenen op de keuze tussen renovatie en herbouw.

2.1 ENERGIEPRESTATIE

In het onderzoek van *Delem, Janssen et al. (2020)* worden drie renovatiescenario's en één herbouwscenario bekeken. De studie besluit dat renovatie grote voordelen heeft op vlak van milieu-impact, vooral wanneer het bestaande gebouw een zeer slechte energieprestatie heeft. De impact van de constructiematerialen en de technische installaties (ingebedde energie) die nodig zijn om de energieprestatie van het gebouw te verbeteren, is relatief klein in vergelijking met de afname in operationeel energiegebruik. De milieu-impact van de renovatiescenario's daalt als het E-peil daalt. Bij herbouw hebben de materialen voor de installaties en de constructie een relatief hoge bijdrage aan de milieu-impact (meer dan de helft van de totale milieu-impact) in vergelijking met de impact van het operationele energiegebruik, zeker wanneer er een zeer energie-efficiënt gebouw wordt bekomen met een E-peil van 30 of lager. Bij een nieuwbouw is het dus interessant om veel aandacht te besteden aan materiaalgebruik, omdat daar veel potentieel is voor optimalisatie. Daarnaast valt het ook op voor het herbouwscenario dat er geen groot verschil in milieu-impact is tussen de scenario's met een E-peil van 30 of lager. De energieprestatie van de woning heeft dus bij nieuwbouw maar een minimale invloed op de totale milieu-impact.

De invloed van het bereikte energieprestatielevel na renovatie wordt vaak aangehaald. *Verbeeck & Cornelis (2011)* vergelijken de ingebedde energie met het jaarlijkse primaire energiegebruik. Dit wordt uitgedrukt in energieterugverdientijd, wat berekend wordt door de extra ingebedde energie in de nieuwe woning te delen door de extra energiebesparing in de nieuwe woning t.o.v. de gerenoveerde woning. Het geeft een beeld over de periode die nodig is om de investering terug te verdienen. Er wordt besloten dat de milieu-impact sterk afhankelijk is van het energieprestatielevel dat na renovatie bereikt wordt. Zwakke renovaties (E150 of hoger) hebben door de lage kosten een lage terugverdientijd, maar hun milieu-impact blijft hoog. Grondige renovaties met eenzelfde energiepeil als de nieuwbouw (E100 of lager) hebben een hoge terugverdientijd. Wanneer het E-peil niet voldoende kan gereduceerd worden bij renovatie, wat vaak het geval is in de praktijk, is de milieu-impact kleiner bij afbraak gevolgd door nieuwbouw. Het vervangen van een oude woning door een nieuwbouw lijkt een optie als er voldoende aandacht wordt besteed aan hergebruik en recyclage van materialen.

Thomsen & van der Flier (2009) kijken naar de conclusies van andere studies. Ook hier wordt besloten dat de milieu-impact van renovatie meestal kleiner is dan die van herbouw, maar doordat de nieuwbouwwoning in de praktijk vaak een hogere energieprestatie haalt, wordt het verschil met renovatie

kleiner en kan herbouw de voorkeur krijgen. De meeste studies bekomen gelijkaardige resultaten. *Hasik, et al. (2019)* en *Alba-Rodríguez, Martínez-Rocamora et al. (2017)* stellen vast dat de milieu-impact van renovatie gemiddeld iets meer dan 60% lager ligt dan die van afbraak gevolgd door nieuwbouw. Het onderzoek van *Eskilsson (2015)* schat het verschil kleiner in en stelt dat de milieu-impact van renovatie 35% lager ligt. *Assefa & Ambler (2017)* bekomen als resultaat dat de milieu-impact van renovatie 20 tot 41% lager ligt en ook *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* besluiten dat renovatie in alle impactcategorieën beter presteert dan herbouw. Bij de laatstgenoemde studie wordt duidelijk aangetoond dat de operationele fase de grootste schade toebrengt aan het milieu. Deze fase bedraagt namelijk tussen 89 en 97% van de totale milieu-impact. De relatieve impact van deze fase stijgt als er voor de levensduur van de woning 80 jaar wordt aangenomen i.p.v. 50 jaar. Hetzelfde wordt besloten bij *Marique & Rossi (2018)*, waar ook een vergelijking gemaakt wordt zonder de gebruiksfase in rekening te brengen. Wanneer dezelfde thermische prestatie wordt bekomen voor de gerenoveerde woning en de nieuwe woning, krijgt het renovatiescenario opnieuw de voorkeur.

Meijer & Kara (2012) besluiten dat als de verwachte levensduur na interventie 30 jaar of meer is en de besparingen in operationele energie hoog zijn, afbraak gevolgd door nieuwbouw de beste optie is. De bestaande toestand wordt hier maar zeer minimaal gerenoveerd in tegenstelling tot de andere studies, waarbij telkens een grondige energetische renovatie wordt aangenomen. Deze studie maakt opnieuw duidelijk dat de bereikte energieprestatie na renovatie veel impact heeft op de resultaten en bijgevolg kan zorgen voor tegenstrijdige conclusies.

2.2 SCENARIO'S

Het bereikte E-peil na renovatie is niet allesbepalend. Als hetzelfde E-peil wordt bereikt na renovatie kunnen nog steeds andere resultaten ontstaan. Dit kan deels toegeschreven worden aan de vooropgestelde scenario's. Zo wordt er in *Delem, Janssen et al. (2020)* enerzijds een onderscheid gemaakt voor de gerenoveerde woning tussen minimale renovatie, renovatie tot E60 en renovatie tot E30 en anderzijds voor de nieuwe woning tussen E30 minimaal, E30/E25 passief en E0 passief. Deze scenario's worden daarna nog verder opgedeeld in groepen. Zo zijn er bijvoorbeeld twee scenario's die E30 halen na renovatie, maar wordt dat bij het ene scenario bereikt door te focussen op de gebouwschil (verwarming met een condenserende combiketel op gas) en bij het andere scenario door te focussen op de installaties (minimale isolatie-eisen, verwarming met een warmtepomp). Hierbij wordt er besloten dat een renovatie met een E-peil gelijk aan 30 en een warmtepomp een lagere milieu-impact heeft dan een renovatie met een E-peil gelijk aan 30 en een condenserende gasketel.

Meijer & Kara (2012) maken een ruwer onderscheid. Bij deze studie worden er drie scenario's met elkaar vergeleken, namelijk een renovatiescenario (een renovatie naar minimumnormen), een transformatiescenario (een drastische renovatie tot een comfortniveau vergelijkbaar met moderne normen) en een herbouwscenario. Bij de studie van *Pittau, Amato et al. (2019)* worden de renovatie- en herbouwscenario's verder onderverdeeld volgens de gebruikte isolatiematerialen. In het onderzoek van *Assefa & Ambler (2017)* zijn de scenario's gelinkt aan een zeer specifieke casestudy, namelijk een bibliotheektoren met een glazen gevel. Er wordt bij zowel renovatie als herbouw een onderscheid gemaakt tussen een scenario zonder trombemuur en een scenario met trombemuur. Ook *Ramírez-Villegas, Eriksson et al. (2019)* kiezen zeer specifieke renovatiescenario's. Deze studie maakt een

vergelijking tussen vier renovatiescenario's, namelijk een zware energetische renovatie, een renovatie van de gebouwschil, een renovatiescenario met een ventilatiesysteem met warmteterugwinning en verminderde binnentemperatuur en een renovatiescenario met een ventilatiesysteem met warmteterugwinning zonder verminderde binnentemperatuur. De gekozen renovatiescenario's van *Ramírez-Villegas, Eriksson et al. (2019)* weerspiegelen de maatregelen die gewoonlijk worden toegepast bij de renovatie van gebouwen in Zweden.

In het algemeen worden in de onderzoeken dus twee groepen scenario's met elkaar vergeleken, namelijk renovatiescenario's enerzijds en herbouwscenario's anderzijds, maar een renovatie (of herbouw) in de ene studie betekent niet altijd hetzelfde als een renovatie (of herbouw) in een andere studie.

2.3 REFERENTIEPERIODE

Volgens *Meijer & Kara (2012)* is, naast de besparingen in operationeel energiegebruik, ook de verwachte levensduur bepalend voor de keuze tussen renovatie en herbouw. Als de verwachte levensduur na interventie meer dan 30 jaar is en de besparingen in operationele energie hoog zijn, dan blijkt afbraak gevolgd door nieuwbouw de beste optie. Voor kortere periodes of als de besparingen in operationele energie laag zijn, blijkt renovatie of transformatie de beste optie. Voor de verschillende casestudy's die bekeken worden, ligt het kantelpunt bij de drie verschillende scenario's (renovatie, transformatie en herbouw) tussen 20 en 40 jaar na de interventie. Zoals reeds vermeld in het hoofdstuk over energieprestatie, moet hier wel worden opgemerkt dat er als renovatiescenario een zeer lichte renovatie wordt aangenomen. Dit in tegenstelling tot de grondige en energetische renovaties die bij andere studies vaak vooropgesteld worden om de vergelijking met herbouw te maken.

Palacios-Munoz, Peuportier et al. (2019) onderzoeken het verschil in milieu-impact tussen renovatie en herbouw en gebruiken hiervoor drie methodes om de levensduur van het gebouw te bepalen. Er wordt aangehaald dat er een belangrijk verschil is tussen de levensduur van een gerenoveerd gebouw en een nieuwbouw. Een nieuwbouw heeft doorgaans een langere levensduur. Afhankelijk van de levensduur die gehanteerd wordt, worden er andere resultaten bekomen. Wanneer dezelfde levensduur voor de gerenoveerde woning en de nieuwe woning wordt verondersteld, komt passief renoveren als beste optie naar voren. Dit is ook het geval wanneer er voor de bepaling van de levensduur statistische data wordt gebruikt. Wanneer een levensduur van 210 jaar voor de nieuwe woning wordt verondersteld en 30 jaar voor de gerenoveerde woning, blijkt afbraak gevolgd door nieuwbouw de beste optie vanuit milieuoogpunt. Aangezien een levensduur van 210 jaar in de praktijk niet gemakkelijk te garanderen is, wordt opnieuw besloten dat passief renoveren de voorkeur krijgt.

De referentieperiode of levensduur voor gebouwen neemt in de literatuur zeer uiteenlopende waarden aan. De waarden gaan van 30 jaar tot 210 jaar, maar de overgrote meerderheid van de studies hanteert een referentieperiode van 50 of 60 jaar.

2.4 GEOMETRISCHE EQUIVALENTIE

De studie van *Wastiels, Janssen et al. (2016)* vergelijkt twee renovatiescenario's en één herbouwscenario. Het eerste renovatiescenario is een Box-in-Box renovatie, waarbij het gebouw wordt geïsoleerd van binnenuit. De onderste vloer wordt niet verwarmd of gebruikt. Het tweede renovatiescenario is een ETICS renovatie waarbij het gebouw aan de buitenkant wordt geïsoleerd en waarbij net zoals in het eerste renovatiescenario de onderste vloer niet verwarmd of gebruikt wordt. Bij het herbouwscenario wordt de onderste vloer wel verwarmd en gebruikt. Omdat de vloeroppervlaktes van de drie verschillende scenario's niet gelijk zijn, wordt de vergelijking tussen de twee renovatiescenario's en het herbouwscenario bij dit onderzoek gemaakt per m² verwarmde vloeroppervlakte. Er wordt gevonden dat de milieu-impact van herbouw kleiner is dan die van de renovatieopties. Dit kan verklaard worden door het feit dat de nieuwe woning een extra niveau heeft dat verwarmd wordt, waardoor de verwarmde oppervlakte dus groter is en de totale milieu-impact per m^2 kleiner. De zoldervloer is echter niet volledig afgewerkt en om een eerlijke vergelijking met de renovatiescenario's te kunnen garanderen, worden er in een tweede fase van het onderzoek bij de nieuwe woning slechts twee vloeren meegerekend. Als de vergelijking opnieuw wordt gemaakt per m^2 bruikbare vloeroppervlakte ligt de milieu-impact van het herbouwscenario 20 % hoger dan de Box-in-Box renovatie. De ETICS renovatie scoort gelijkaardig aan de Box-in-Box renovatie. Wanneer er per m^2 vloeroppervlakte wordt gerekend, scoort de ETICS renovatie iets beter dan de Box-in-Box, omdat de oppervlakte groter is door het isoleren aan de buitenkant i.p.v. aan de binnenkant. Het onderzoek van *Wastiels, Janssen et al. (2016)* toont dus aan dat de geometrische equivalentie een belangrijke invloed uitoefent op de resultaten en op de keuze tussen renovatie en herbouw op vlak van milieu-impact.

Bij de onderzoeken van *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* en *Eskilsson (2015)* zijn de vloeroppervlaktes van het renovatie- en het herbouwscenario ook verschillend. Bij de studie van *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* heeft de bestaande toestand, en dus ook de renovatie, een vloeroppervlakte van 91,68 m^2. Bij de nieuwe woning wordt er van de beschikbare vloeroppervlakte optimaal gebruik gemaakt door de zolder te benutten als slaapruimte, waardoor een totale vloeroppervlakte van 144,16 m^2 bereikt wordt. De studie van *Eskilsson (2015)* vergelijkt twee appartementsgebouwen in Zweden. Het ene appartementsgebouw heeft een oppervlakte van 5228 m^2 en dient als casestudy voor renovatie, het andere heeft een oppervlakte van 811 m^2 en dient als casestudy voor herbouw. Beide studies concluderen dat renoveren beter is vanuit milieuoogpunt, doordat ze de milieu-impact van het renovatie- en het herbouwscenario per m^2 vloeroppervlakte bekijken en daarmee een eerlijkere vergelijking vooropstellen. Het onderzoek van *McGrath, Nanukuttan, et al. (2013)* maakt ook een aparte vergelijking per m^2 vloeroppervlakte voor de productie- en constructiefase. Hierbij scoort opnieuw herbouw het slechtst, ondanks dat de milieuschade van het herbouwscenario sterk wordt gereduceerd door het feit dat de nieuwe woning een grotere vloeroppervlakte heeft dan de gerenoveerde woning.

Verbeeck & Cornelis (2011), *Palacios-Munoz, Peuportier et al. (2019)*, *Assefa & Ambler (2017)*, *Ramírez-Villegas, Eriksson et al. (2019)*, *Marique & Rossi (2018)*, *Pittau, Amato et al. (2019)* en *Jorgji, Di Bari et al. (2019)* daarentegen veronderstellen voor de verschillende scenario's dezelfde vloeroppervlakte. In de andere onderzoeken komt de geometrische equivalentie tussen de gerenoveerde en de nieuwe woning niet ter sprake.

2.5 LOCATIE

De locatie van de casestudy is een belangrijke parameter die invloed heeft op de resultaten van het onderzoek. De onderzoeken van *Delem, Janssen et al. (2020)*, *Verbeeck & Cornelis (2011)*, *Wastiels, Janssen et al. (2016)* en *Marique & Rossi (2018)* vinden plaats in Vlaanderen en in Brussel. *Meijer & Kara (2012)* en *Thomsen & van der Flier (2009)* voeren onderzoek uit in Nederland, *Hasik et al. (2019)* in de Verenigde Staten, *Alba-Rodríguez, Martínez-Rocamora et al. (2017)* en *Palacios-Munoz, Peuportier et al. (2019)* in Spanje, *Rønning, Vold et al. (2009)* in Noorwegen, *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* in Groot-Brittannië, *Assefa & Ambler (2017)* in Canada, *Ramírez-Villegas, Eriksson et al. (2019)* en *Eskilsson (2015)* in Zweden, *Sié, Payet et al. (2016)* in Frankrijk, *Pittau, Amato et al. (2019)* in Noord-Italië en *Jorgji, Di Bari (2019)* in Albanië.

De locatie speelt een belangrijke rol op veel vlakken. De scenario's worden vaak gekozen op basis van het energieniveau dat men wenst te bereiken met de renovatie of nieuwbouw. Die gewenste energieniveaus zijn vaak gelinkt aan de eisen die door het land gesteld worden. Zo hanteren *Verbeeck & Cornelis (2011)* voor de nieuwe woning de Vlaamse wettelijke eisen voor isolatie en energieprestatie volgens de EPBD (op dat moment K45 en E80), terwijl *Eskilsson (2015)* dan weer de Zweedse regelgeving volgt die gepubliceerd is door Boverket. Aangezien elk land zijn eigen eisen en standaarden heeft, zorgt dit al voor een eerste verschil. Alleen al in Europa zijn er zeer afwijkende energieprestatie-eisen. De lidstaten van de EU mogen zelf wetten maken met betrekking tot milieu en kiezen op die manier dus zelf hoe ze aan het milieubeleid van de EU zullen beantwoorden.

Ook de casestudy's verschillen van land tot land. Zo verschilt een woning uit Spanje van een woning uit Noorwegen of Canada. Elk land heeft zijn eigen bouwtradities met zijn eigen typische bouwmaterialen. Omdat het gaat om heel diverse klimaten zullen de warmte- en koelvraag en bijgevolg ook de soort technische installaties en het operationeel energiegebruik sterk verschillen. Ook de manier waarop het operationeel energiegebruik wordt berekend verschilt. Zo wordt in de Belgische studie van *Delem, Janssen et al. (2020)* de EPB-methode gehanteerd en gebruiken *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* de Standard Assessment Procedure (SAP) voor renovatie en de Dwelling Energy Assessment Procedure (DEAP) voor nieuwbouw. De SAP is het door de Britse overheid aanbevolen methodesysteem voor het meten van de energieklasse van woningen. DEAP is een Ierse berekeningsmethode voor de energieprestaties en bijhorende CO_2-emissies die het gevolg zijn van ruimteverwarming, ventilatie, waterverwarming en verlichting.

Voor het bepalen van de milieu-impact wordt er beroep gedaan op databanken, waaruit belangrijke inventarisatiegegevens worden gehaald. De databank die vandaag de dag het meest gebruikt wordt, is de Zwitserse Ecoinvent LCI-databank. Deze databank bevat inventarisatiegegevens over duizenden processen van materialen en producten, waaronder ook bouwmaterialen en bouwproducten (ontginnen van grondstoffen, transport, materiaaltoevoer, energievoorziening, afvalbeheer etc.). Deze gegevens zijn voornamelijk representatief voor Zwitserland en West-Europa. In sommige bronnen worden ook andere databanken gehanteerd zoals de ICE (Inventory of Carbon and Energy). Deze databank bevat gegevens over de ingebedde energie en de CO_2-emissies van materialen. Zo wordt bijvoorbeeld in de studie van *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* de Ecoinvent databank aangevuld met gegevens uit de ICE-databank voor de geprefabriceerde betonelementen. In het onderzoek van *Assefa & Ambler (2017)* worden de gegevens geput uit de Athena Impact Estimator for Buildings. Deze databank werd ontwikkeld door het instituut Athena Sustainable Materials in Ottawa. Hetzelfde instituut voorziet ook een bijhorende

softwaretool. *Ramírez-Villegas, Eriksson et al. (2019)* gebruiken naast gegevens van de Ecoinvent databank ook gegevens van de GaBi-databank en EPD's. EPD's of 'Environmental Product Declarations' kwantificeren de milieu-impact van een bouwmateriaal, rekening houdend met de verschillende levenscyclusfasen. *Marique & Rossi (2018)* gebruiken nog andere databases, zoals CRTI uit Luxemburg, CML 2001, inies.fr, ICE en BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability). Het gebruik van verschillende databanken kan opnieuw één van de redenen zijn voor de uiteenlopende onderzoeksresultaten.

Bovendien wordt er in de studies vaak een elektriciteitsmix gehanteerd die representatief is voor dat bepaald land. *Alba-Rodríguez, Martínez-Rocamora et al. (2017)* en *Palacios-Munoz, Peuportier et al. (2019)* gebruiken een Spaanse elektriciteitsmix, terwijl er in het onderzoek van *Eskilsson (2015)* gewerkt wordt met een elektriciteitsmix van Zweden, die gekarakteriseerd wordt door relatief lage broeikasgasemissies per kWh in vergelijking met de elektriciteitsmix van andere landen. *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* bekijkt de impact van een variërende elektriciteitsmix. Er wordt vertrokken van de elektriciteitsmix van Groot-Brittannië uit 2007, waarbij 77,63% van de elektriciteitsproductie afkomstig is van fossiele brandstoffen zoals steenkool, olie en gas. Het doel is echter om tegen 2050 de elektriciteitsmix te decarboniseren. Als doel wordt de elektriciteitsmix van Zweden vooropgesteld, die reeds sinds 2007 veel grotere aandelen hernieuwbare en nucleaire energie bevat. Er worden drie scenario's bekeken: de Britse elektriciteitsmix over de volledige levensduur, de Zweedse elektriciteitsmix over de volledige levensduur en een mix, waarbij er vertrokken wordt van de Britse elektriciteitsmix en na 30 jaar wordt overgeschakeld naar de Zweedse elektriciteitsmix. Dit wordt voor zowel een totale levensduur van 50 jaar als van 80 jaar bekeken. Wanneer de mix van de Britse en Zweedse elektriciteitsmix wordt gebruikt, zijn er t.o.v. de Britse elektriciteitsmix duidelijk reducties van de milieu-impact zichtbaar. De milieu-impact reduceert nog meer, wanneer de Zweedse elektriciteitsmix wordt gehanteerd over de hele levensduur. Er wordt per locatie rekening gehouden met een andere set van data, wat een duidelijke invloed uitoefent op de milieu-impactresultaten van de studie.

Verder speelt ook de economie van het land een rol. Armere landen zullen over het algemeen minder investeren in duurzame materialen en hernieuwbare energie dan rijkere landen. Ze zijn minder bereid om financiële inspanningen te leveren ten voordele van het milieu. Ook zullen inwoners van armere landen andere gebruikersprofielen vertonen. Zij zullen namelijk over het algemeen een veel kleiner energiegebruik hebben.

Er kan besloten worden dat veel aspecten van een vergelijkende studie, die gebruik maakt van levenscyclusanalyse of kortweg LCA, een lokaal karakter hebben, waardoor zo een studie zeer locatie specifiek is. De locatie is dus een randvoorwaarde die medeverantwoordelijk is voor de afwijkende resultaten tussen de verschillende vergelijkende analyses.

2.6 CASESTUDY'S

De casestudy's die worden bekeken in de literatuur zijn vaak residentiële gebouwen zoals een rijhuis, een vrijstaande woning, een half vrijstaande woning of een appartementsgebouw. Dit hangt samen met de doelstelling van de studie. Meestal zijn studies op zoek naar zo algemeen mogelijke resultaten en wordt er gekozen voor casestudy's die veel voorkomend en representatief zijn voor het gebouwenpark

van het desbetreffende land. Zo kiezen bijvoorbeeld *McGrath, Nanukuttan et al. (2013)* bij hun onderzoek als casestudy voor een victoriaans huis, een woning die in het Verenigd Koninkrijk zeer veel voorkomt. Wat ook opvallend is, is dat het bij de overgrote meerderheid van de casestudy's gaat om gebouwen die gerealiseerd zijn in de tweede helft van de 20ste eeuw. Dit is een zeer logische keuze, aangezien in die periode zeer veel woningen zijn gebouwd. Zo telt België momenteel ongeveer 4.573.099 gebouwen, waarvan 1.242.375 opgericht zijn na 1981. Gebouwen die opgericht zijn vóór 1981 vertegenwoordigen dus een groot deel van het Belgische gebouwenpark. Dit komt door de explosieve nieuwbouwproductie die na de Tweede Wereldoorlog plaatsvond, waarbij de productie van huizen verdrievoudigde. De kwantiteit won noodgedwongen van de kwaliteit. Het zijn deze oudere gebouwen die vandaag aangepakt moeten worden en waarbij de vraag rijst of renovatie of herbouw de beste optie is.

Bij bijvoorbeeld de onderzoeken van *Rønning, Vold et al. (2009)*, *Assefa & Ambler (2017)* en *Pittau, Amato et al. (2019)* is de casestudy zeer specifiek uitgekozen. Hierbij is het doel om voor dat specifieke gebouw de beste keuze op vlak van milieu-impact te maken. Meestal gaat het bij zo'n onderzoeken om een niet-residentieel gebouw. Zo bekijken *Rønning, Vold et al. (2009)* en *Marique & Rossi (2018)* een kantoorgebouw, *Assefa & Ambler (2017)* een bibliotheektoren en *Pittau, Amato et al. (2019)* een industrieel gebouw. Een casestudy met een andere bestemming dan wonen zal typisch afwijkende resultaten hebben. Dit kan verklaard worden door de eventuele verschillen in onder andere technische installaties, volume, compactheid, materiaalgebruik of operationeel energiegebruik.

Rønning, Vold et al. (2009) besluiten, in tegenstelling tot vele andere studies, dat de milieu-impact van herbouw kleiner is dan die van renovatie. Het afwijkende resultaat komt voornamelijk door de operationele fase, die voor het gerenoveerde gebouw drie keer zo groot is als voor het nieuwe gebouw. Het gaat hier om een bankkantoor waarbij de totale energievraag van de bestaande toestand 524 kWh/m^2 bedraagt. Voor de nieuwbouw wordt gedoeld op een netto energievraag van 85 kWh/m^2, terwijl deze voor de renovatie maar gereduceerd kan worden tot 300 kWh/m^2. Dit komt volgens de studie door het beperkte aanpassingsvermogen van het gerenoveerde gebouw met betrekking tot het gebruik, onderhoud en ontwikkeling. Daarnaast wordt er ook gekeken naar de uitstoot per werknemer. Hierbij komt opnieuw herbouw beter uit de vergelijking, omdat het nieuwe gebouw slimmer omgaat met oppervlaktes en dus meer werkplaatsen biedt.

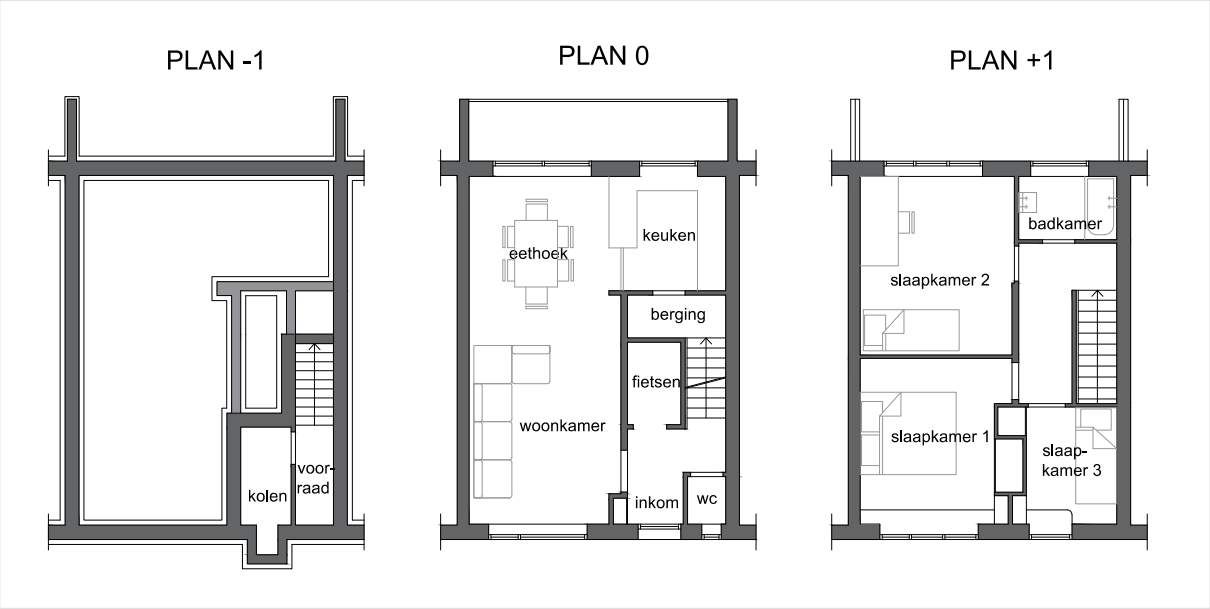
3 CASESTUDY

Hoe verhoudt renovatie zich tot afbraak gevolgd door nieuwbouw op vlak van milieu-impact? En hoeveel performanter moet een nieuwbouwwoning zijn in vergelijking met een gerenoveerde woning om een betere milieuprestatie te hebben? Om op deze onderzoeksvragen een antwoord te kunnen bieden, wordt er in deze studie vertrokken van een casestudy die representatief is voor het Belgische gebouwenpark. De belangrijkste eigenschappen en de opbouw van de bestaande woning worden in dit hoofdstuk uitvoerig beschreven. Nadien wordt achtereenvolgens een renovatie- en herbouwscenario beschreven, waarvan in eerste instantie vertrokken wordt om de vergelijkende analyse uit te voeren. Er wordt in deze studie gefocust op de gebouwschil. Technische en elektrische installaties worden niet in rekening gebracht.

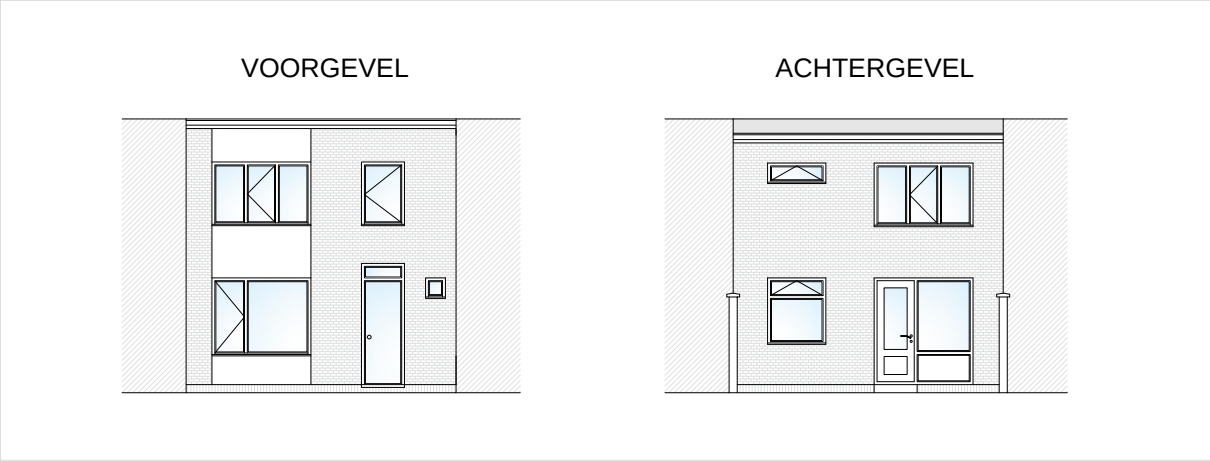
3.1 BESTAANDE TOESTAND

Figuur 5: Foto's casestudy Gentbrugge

De casestudy betreft een eengezinswoning uit 1963, gelegen in Gentbrugge en ontworpen door architect P. Bourgeois. De rijwoning bevindt zich in oorspronkelijke staat en is onderdeel van een wijk met dertig quasi-identieke woningen van de sociale huisvestingsmaatschappij WoninGent. De woningen zijn allemaal voorzien van twee bouwlagen, een kleine kelder en een plat dak. De rijwoning die in dit onderzoek wordt bestudeerd is 5,65 meter breed en 8,14 meter diep. Op het gelijkvloers bevinden zich de woonkamer, de keuken en de eethoek en op de eerste verdieping drie slaapkamers en een badkamer. Bovendien beschikt de eengezinswoning ook over een tuin met terras. De exacte planindeling en de gevelbeelden van de casestudy staan weergegeven op de onderstaande figuren.

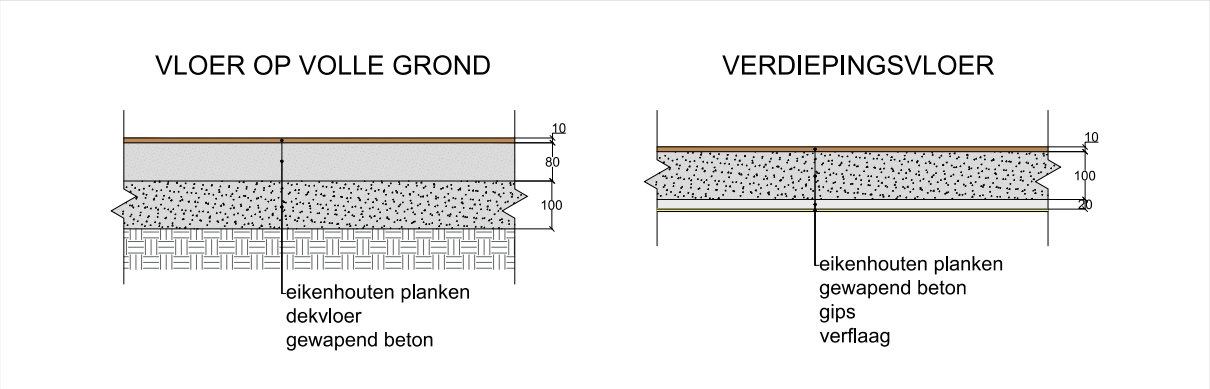


Figuur 6: Grondplannen casestudy Gentbrugge



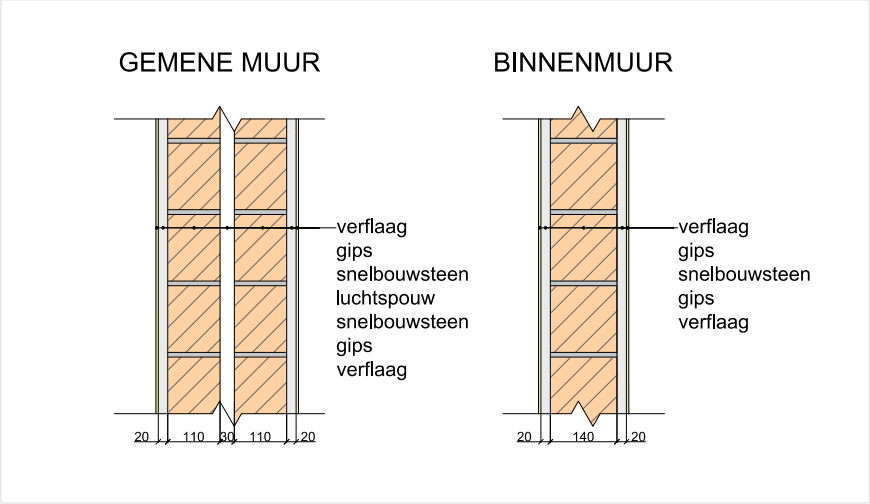
Figuur 7: Gevels casestudy Gentbrugge

De funderingen van de eengezinswoning zijn vervaardigd uit gewapend beton, net zoals de gehele kelder en de twee vloerplaten. De trap die de kelder met het gelijkvloers verbindt, is ook uitgevoerd in beton, terwijl de trap die het gelijkvloers met de eerste verdieping verbindt uit eikenhout is gemaakt. Bovenop de betonnen vloerplaat van het gelijkvloers, waarvan de dikte 10 cm is, is een betonnen dekvloer en een houten plankenvloer als afwerking aangebracht. Ook de betonnen vloerplaat van de verdiepingsvloer is afgewerkt met houten planken. De onderzijde van deze betonnen vloerplaat, het plafond van de gelijkvloerse verdieping, is over het hele oppervlak voorzien van een pleister- en verflaag. De warmtedoorgangscoëfficiënt van de vloer op volle grond bedraagt 0,73 W/m²K. Deze waarde ligt niet zo hoog aangezien de grond een belangrijke warmteweerstand levert. De onderstaande figuur toont de opbouw van beide vloeren.



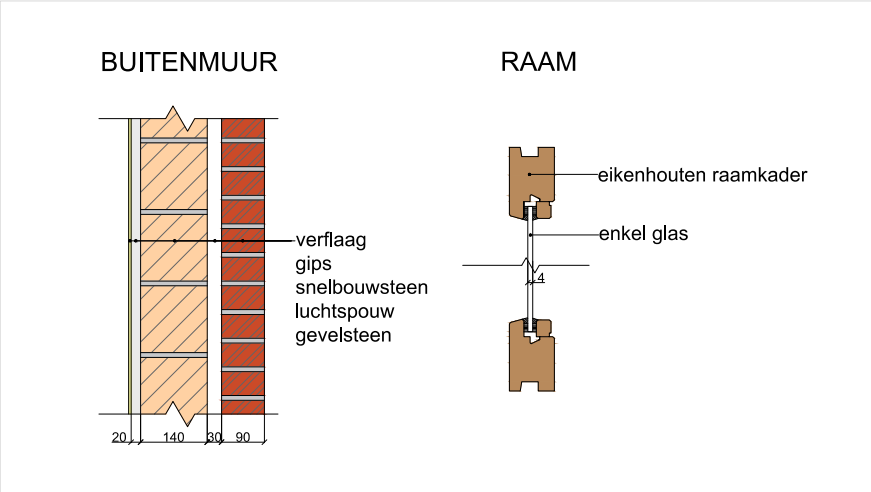
Figuur 8: Opbouw vloeren casestudy Gentbrugge

De muren zijn opgebouwd uit snelbouwstenen en kalkmortel. De binnenzijde is telkens afgewerkt met een pleister- en verflaag. De snelbouwstenen van de dragende binnenmuren hebben een dikte van 14 cm en de snelbouwstenen van de niet-dragende binnenmuren een dikte van 9 cm. De binnendeuren zijn gemaakt van eikenhout. De gemene muur bestaat uit twee enkelvoudige muren van snelbouwstenen met een dikte van 11 cm, waarbij er tussenin een luchtspouw van 3 cm is voorzien. Net zoals de andere muren zijn ook de gemene muren aan de binnenzijde van de woning afgewerkt met een pleister- en verflaag. De onderstaande figuur toont de opbouw van de gemene muren en de binnenmuren.



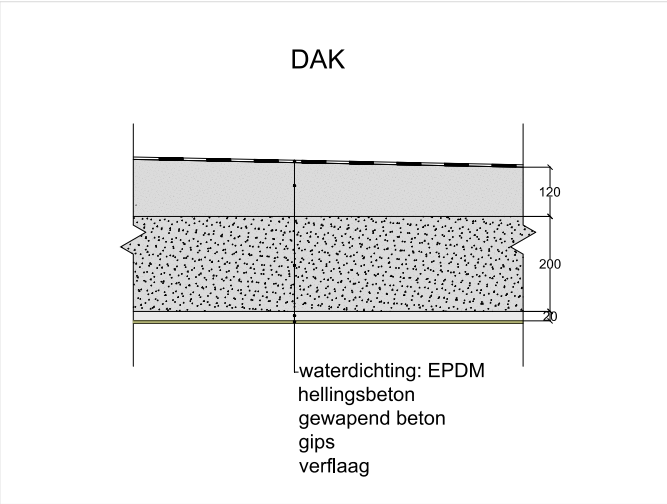
Figuur 9: Opbouw gemene muur en binnenmuur casestudy Gentbrugge

De gevel is eveneens opgebouwd uit snelbouwstenen en kalkmortel. Aan de binnenzijde worden de snelbouwstenen afgewerkt met een pleister- en verflaag. Aan de buitenzijde bevindt zich een luchtspouw van 3 cm en een afwerking van gevelstenen met onderaan een plint uit klinkaert. Een deel van de voorgevel, namelijk onder, tussen en boven de twee linkse ramen, is voorzien van cementbezetwerk. De ramen hebben een eikenhouten kader en zijn voorzien van enkele beglazing. De buitendorpels van de ramen en deuren zijn vervaardigd uit Belgische blauwe hardsteen. De U-waarde van de buitenmuren en de ramen bedraagt respectievelijk 2,59 W/m²K en 4,38 W/m²K. Doordat beide constructieonderdelen thermisch geen goede weerstand kunnen bieden, bereiken ze een hoge U-waarde en zijn de warmteverliezen groot. De onderstaande figuur toont de opbouw van de buitenmuren en de ramen.



Figuur 10: Opbouw buitenmuur en raam casestudy Gentbrugge

Een betonnen plaat met een dikte van 20 cm vormt de structuur van het plat dak. Om regenwater vlot weggevoerd te krijgen, is er bovenop de betonnen plaat een laag hellingsbeton met een helling van 2 graden voorzien. Als dakafdichting is gebruik gemaakt van EPDM. De binnenafwerking gebeurt opnieuw met een pleister- en verflaag. Ook hier is er, net zoals bij de overige constructieonderdelen van de gebouwschil, geen thermische isolatie aanwezig. Deze samenstelling van het plat dak, zoals op de onderstaande figuur afgebeeld, bereikt een U-waarde van 2,27 W/m²K.



Figuur 11: Opbouw dak casestudy Gentbrugge

De buitenmuren, de vloer op volle grond en het dak beschikken niet over thermische isolatie en door het enkelvoudig glas is ook het thermisch isolerend vermogen van de ramen miniem. Als resultaat wordt een slecht geïsoleerde woning met hoge warmteverliezen en een hoog K-peil bekomen, wat zeer typisch is voor een woning uit de jaren 60.

De dimensies, de vormgeving en het materiaalgebruik van de eengezinswoning zijn ook zeer typerend voor andere woningen van het Belgische gebouwenpark die in slechte staat zijn en dringend aangepakt moeten worden. Dit maakt van deze casestudy een zeer interessant studieobject. Door een casestudy te bekijken die representatief is, kunnen algemene conclusies met betrekking tot de aanpak van het verouderde deel van het Belgische gebouwenpark genomen worden.

3.2 RENOVATIESCENARIO

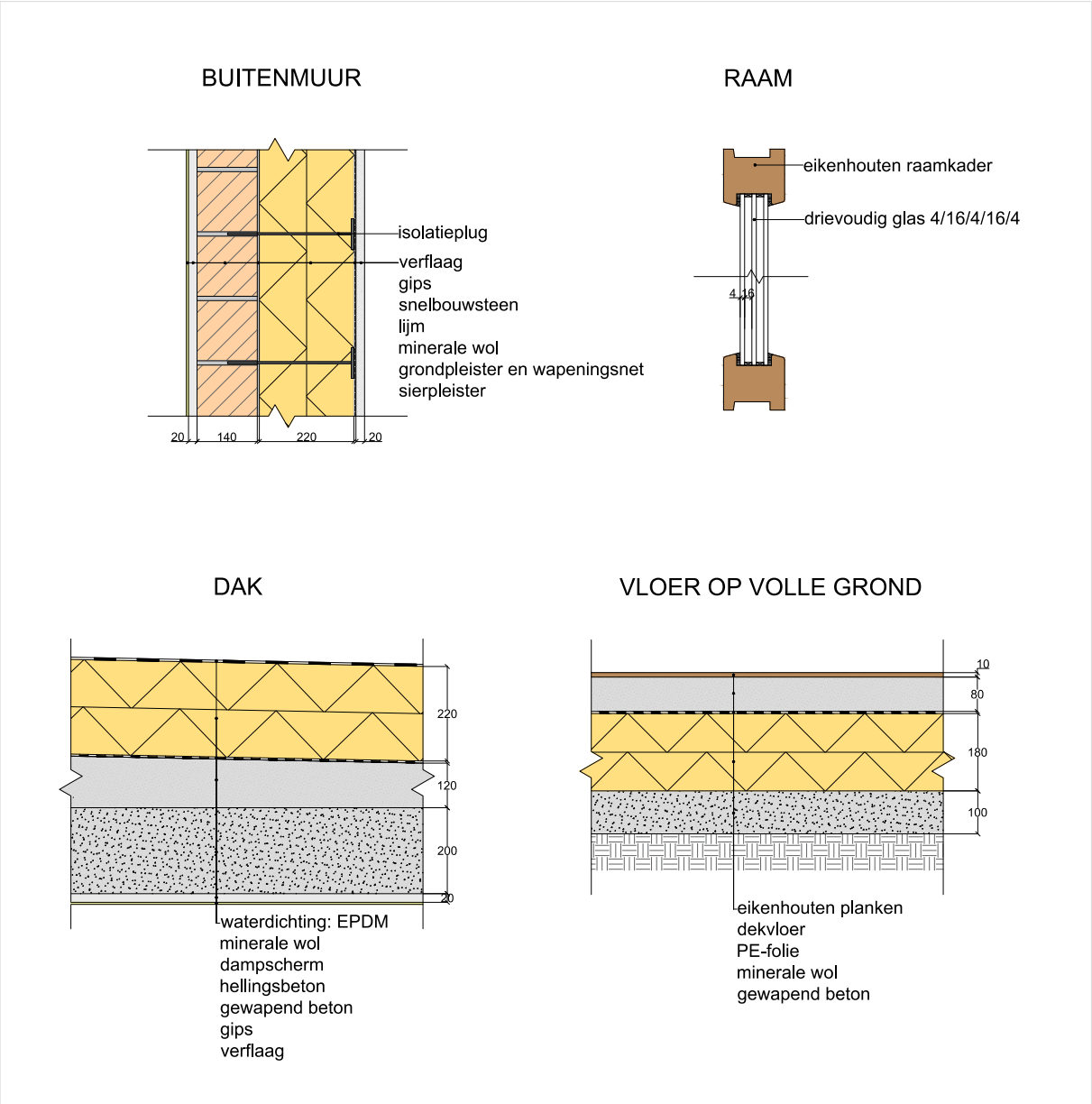
Bij het renovatiescenario wordt er gerenoveerd tot een passieve standaard, waarbij in deze studie volgende richtwaarden worden gehanteerd: een maximale U-waarde van 0,80 W/m²K voor de ramen en een maximale U-waarde van 0,15 W/m²K voor de buitenmuren, de vloer op volle grond en het dak. Om dit te verwezenlijken is het nodig om deze vier constructieonderdelen, die deel uitmaken van het warmteverliesoppervlak, stevig aan te pakken en van isolatie te voorzien. Thermisch isoleren zal namelijk zorgen voor meer comfort en minder energiegebruik.

De gevelsteen en het cementbezetwerk worden bij de buitenmuren afgebroken en vervangen door een ETICS systeem met 22 cm minerale wol en met onderaan een plint uit blauwe hardsteen. De ramen met enkel glas worden volledig vervangen door een nieuw eikenhouten raamkader met drievoudige beglazing. Het plat dak wordt gerenoveerd langs de buitenzijde. De EPDM wordt verwijderd en op het hellingsbeton wordt een dampscherm en vervolgens 22 cm minerale wol over het volledige dakoppervlak voorzien. Nadien wordt opnieuw een dakafdichting uit EPDM geplaatst. Ook bij de vloer op volle grond wordt er isolatie toegevoegd. De houten plankenvloer en dekvloer worden afgebroken, waardoor 18 cm minerale wol op de betonnen vloerplaat kan geïnstalleerd worden en de transmissieverliezen sterk zullen afnemen. In tegenstelling tot de buitenmuren en het dak, waar de isolatiepakketten oplopen tot 22 cm, volstaat 18 cm minerale wol voor de vloer om aan de richtwaarden van een passiefwoning te voldoen. Dit komt omdat de warmteweerstand van de grond hier een belangrijke rol speelt. Vervolgens wordt er op het isolatiemateriaal een PE-folie geplaatst, waarna de dekvloer en houten plankenvloer opnieuw kunnen worden aangebracht. De opbouw van de constructieonderdelen van de gebouwschil worden weergegeven op Figuur 12.

3.3 HERBOUWSCENARIO

Bij het herbouwscenario wordt de rijwoning eerst gesloopt, waarna een compleet nieuwe woning wordt opgebouwd. Voor het nieuwe gebouw wordt dezelfde geometrie aangenomen als die van het bestaande en het gerenoveerde gebouw. Daarnaast worden er voor de nieuwe woning ook gelijke transmissieverliezen aangenomen. Dit gebeurt door voor elk constructie-element van de gebouwschil dezelfde U-waarde aan te nemen als bij de gerenoveerde woning, wat ertoe leidt dat ook de nieuwbouw aan de richtwaarden van een passiefhuis voldoet.

De opbouw en de materialen van de constructieonderdelen van het herbouwscenario zijn zeer gelijkend aan die van het renovatiescenario. Net zoals bij de renovatie worden de ramen voorzien van drievoudig glas en worden de buitenmuren opgebouwd volgens het ETICS systeem met een isolatielaag van 22 cm uit minerale wol. Ook de vloer op volle grond en het dak hebben dezelfde opbouw als het renovatiescenario en worden voorzien van een laag minerale wol van respectievelijk 18 cm en 22 cm dik. De opbouw van de constructieonderdelen van de gebouwschil worden eveneens weergegeven op Figuur 12.

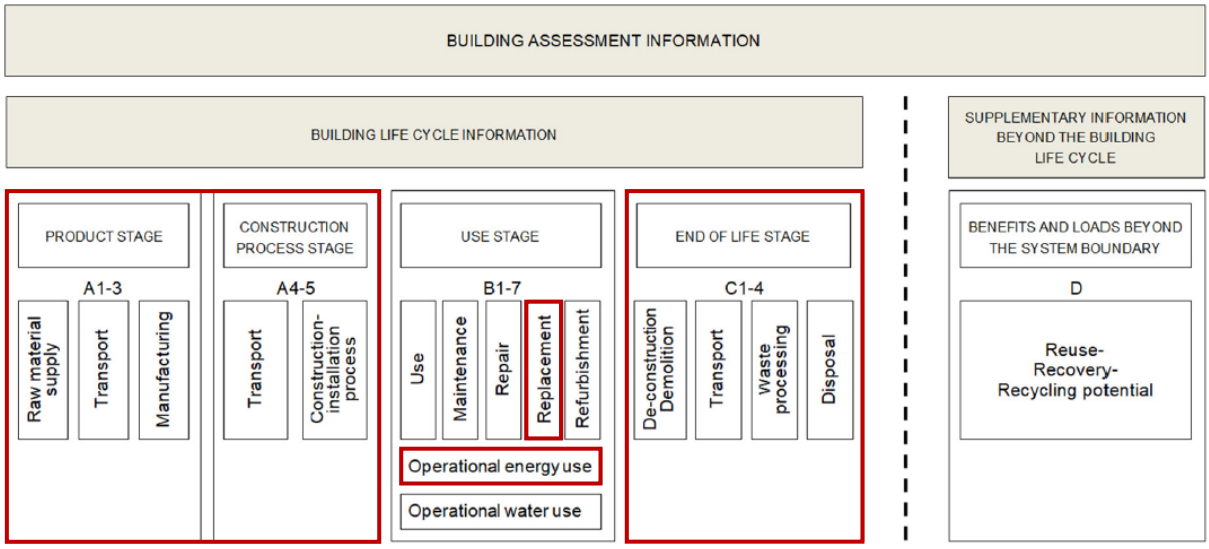


Figuur 12: Opbouw constructieonderdelen renovatiescenario en herbouwscenario

4 METHODOLOGISCH KADER

4.1 LEVENSCYCLUSANALYSE

Om de totale milieubelasting van bouwproducten, gebouwelementen en volledige gebouwen te bepalen, wordt er gebruik gemaakt van levenscyclusanalyse of LCA. Bij deze analyse wordt er rekening gehouden met alle activiteiten die plaatsvinden tijdens de levenscyclus van een product, namelijk van de ontginning van de grondstoffen tot de recyclage of afbraak. Het bevat een analyse van alle grondstoffen en alle emissies samen, geeft de milieueffecten over een langere tijdsduur weer en geeft een soort beoordeling om verschillende milieu-verbeterende mogelijkheden met elkaar te vergelijken. In het algemeen wordt de LCA-procedure onderverdeeld in vier levenscyclusfasen, namelijk een productiefase, een constructiefase, een gebruiksfase en een eindelevensfase. Onderstaande figuur uit de publicatie van *Fabio Fantozzi (2019)* toont de verschillende levenscyclusfasen.



Figuur 13: Overzicht van de beschouwde levenscyclusfasen en systeemgrenzen binnen Europese norm EN 15978

In de jaren 90 van de 20e eeuw is er door de Internationale Organisatie voor Standaardisatie (ISO) een standaard voor LCA opgesteld. De ISO-normen 14040 en 14044 beschrijven de basisprincipes en het raamwerk voor LCA. Binnen het Technisch Comité CEN TC 350 werden bovendien de Europese normen NBN EN 15804 voor milieu-evaluatie van bouwproducten en NBN EN 15978 voor milieu-evaluatie van gebouwen opgemaakt.

Om een levenscyclusanalyse uit te voeren is een internationaal erkend raamwerk opgesteld, waarin de LCA-procedure gestructureerd wordt aan de hand van vier verschillende fasen:

1. Bepaling doel en reikwijdte
2. Inventarisatie
3. Impactanalyse
4. Interpretatie

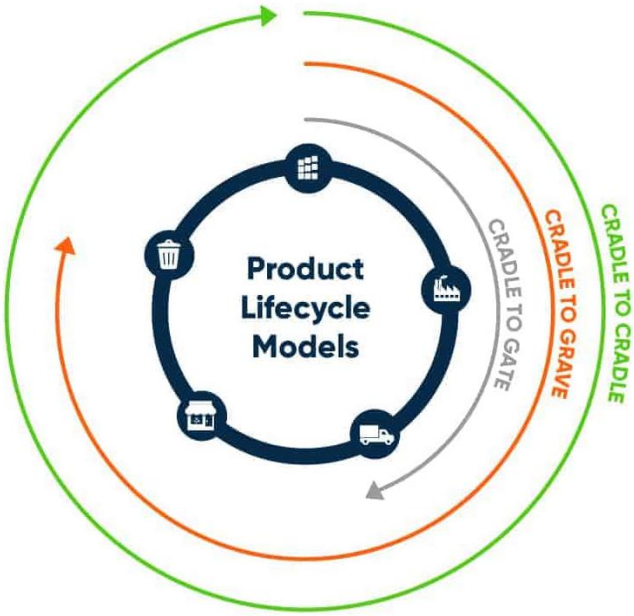
4.2 METHODOLOGIE

4.2.1 Bepaling doel en reikwijdte

In de eerste fase wordt het doel en de reikwijdte van het onderzoek bepaald. Wat is de reden voor het uitvoeren van een LCA en wat wordt er precies onderzocht? Het doel van dit onderzoek is nagaan hoe renovatie zich verhoudt ten opzichte van herbouw op vlak van milieu-impact. Dit gebeurt aan de hand van een vergelijkende analyse.

De vraag is niet alleen wat er geanalyseerd wordt, maar ook hoe diep er geanalyseerd wordt. De reikwijdte legt de systeemgrenzen vast. Dit wordt bepaald door het tijdsbestek, het geografische en technologische bereik en de nauwkeurigheid van het onderzoek. Zo moet er onder andere bepaald worden welke levenscyclusfasen in rekening worden genomen.

Er worden een aantal algemene types van LCA onderscheiden. Wanneer bij een onderzoek alle levenscyclusfasen in rekening worden gebracht, wordt er gesproken van een 'cradle-to-grave' of 'van wieg tot graf' LCA. 'Cradle-to-cradle' of 'van wieg tot wieg' gaat nog een stapje verder. Het is een belangrijke term die gebruikt wordt binnen de circulaire economie. Bij deze benadering ondergaat het afval een recyclageproces waardoor het eigenlijk opnieuw een grondstof wordt. Een voorwaarde hierbij is dat het product door dit recyclageproces niet in waarde mag dalen. De kringloop wordt gesloten en dit is de reden waarom dit type LCA ook wel closed-loop recycling wordt genoemd. Wanneer enkel de productiefase in rekening wordt gebracht, wordt er gesproken van een 'cradle-to-gate' of 'van wieg tot fabriekspoort' LCA. Soms wordt er in studies gebruik gemaakt van een 'cradle-to-gate with options' of 'van wieg tot fabriekspoort met opties'. Bij dit type LCA wordt de productiefase samen met een aantal andere fasen naar keuze meegenomen in het onderzoek. De reikwijdte van verschillende LCA-onderzoeken kan variëren, maar de productiefase van het bouwproduct wordt altijd meegenomen. Onderstaande figuur uit *Levenscyclusanalyse (LCA) – Een Volledig Overzicht (2021)* toont de drie meest voorkomende types van LCA.



Figuur 14: Cradle-to-gate, cradle-to-grave en cradle-to-cradle benadering LCA

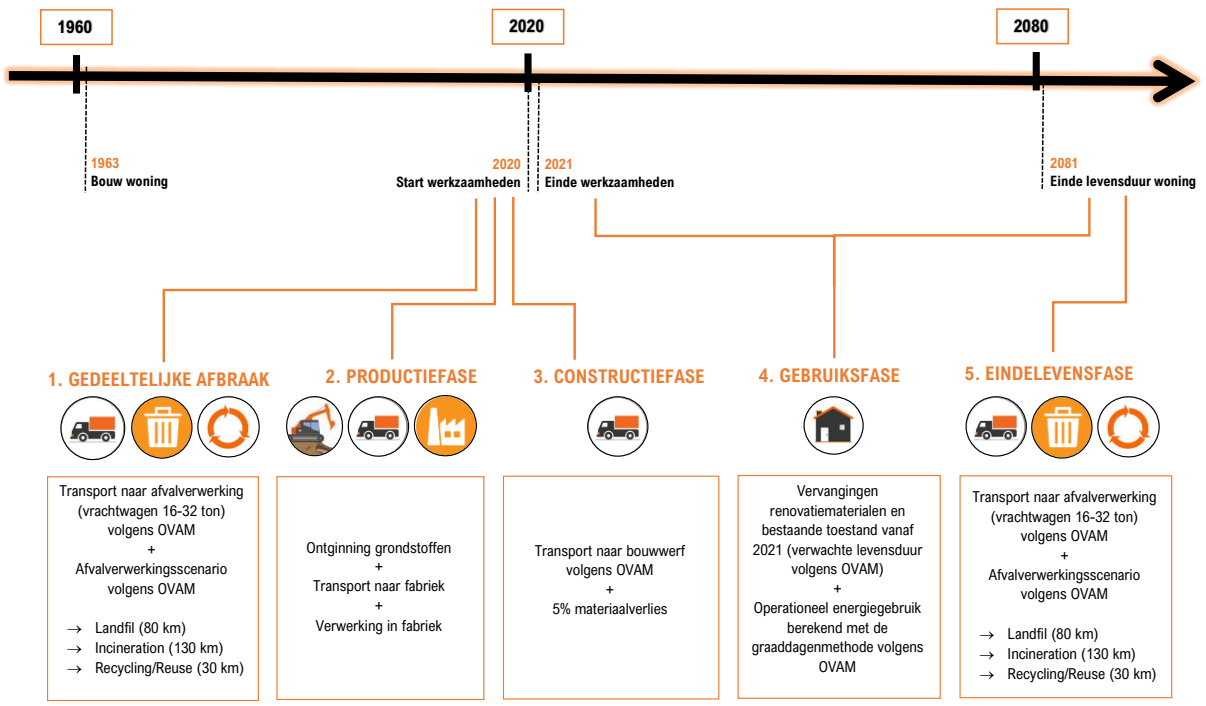
Bij dit onderzoek over het debat tussen renovatie en herbouw gaat het om een analyse op gebouwniveau. In de Europese norm NBN EN 15978 voor milieu-evaluatie van gebouwen wordt voor een analyse op gebouwniveau een LCA van 'cradle-to-grave' of 'van wieg tot graf' verplicht. In dit onderzoek worden bijgevolg alle levenscyclusfasen in rekening gebracht. Wat er exact van elke levenscyclusfase wordt ingerekend, is op Figuur 13 uit de publicatie van *Fabio Fantozzi (2019)* aan de hand van rode kaders aangeduid. De productie- en constructiefase worden volledig meegerekend en worden verder in dit onderzoek beschouwd als één fase. De gebruiksfase omvat in deze studie enkel de vervangingen en het operationele energiegebruik. De eindelevensfase wordt opnieuw volledig meegenomen.

Een belangrijk begrip bij deze eerste fase van de LCA-procedure is de functionele eenheid. De functionele eenheid bevat gegevens over de specifieke eigenschappen, de vereisten, de functie(s) en de levensduur van een product, element of gebouw. Het is een referentie-eenheid voor het bepalen van de milieu-impact en fungeert als een vergelijkingsbasis. Binnen de bouwsector kan de functionele eenheid op drie verschillende niveaus vastgelegd worden, namelijk op productniveau, elementniveau en gebouwniveau.

De levensduur van een product, element of gebouw wordt vastgelegd in de functionele eenheid. Voor vergelijkende LCA-studies tussen renovatie en herbouw wordt de levensduur of referentieperiode gedefinieerd als de periode die begint op het jaar van de verbouwing of nieuwbouw en eindigt wanneer het gebouw niet meer voldoet aan de eisen en/of zijn functie niet meer kan vervullen. In de literatuur neemt de referentieperiode voor gebouwen uiteenlopende waarden aan, maar meestal wordt een periode van 50 of 60 jaar gehanteerd, omdat dit overeenkomt met de verwachte levensduur van een gebouw na renovatie of herbouw.

De functionele eenheid en de referentieperiode zijn verschillend voor elk onderzoek en moeten allebei telkens duidelijk gedefinieerd worden. Het ecologisch debat tussen renovatie en herbouw van eengezinswoningen, wat het hoofdthema van dit onderzoek is, gaat over een vergelijkende studie op gebouwniveau. Dit in combinatie met het feit dat het Belgische gebouwenpark voor het overgrote deel bestaat uit eengezinswoningen met een zekere ouderdom, heeft geleid tot de keuze voor een rijwoning uit 1963 als functionele eenheid voor deze studie. De referentieperiode wordt vastgelegd op 60 jaar. Elementen of materialen met een kortere levensduur dan de aangenomen levensduur van het gebouw, moeten in die periode vervangen worden.

Onderstaand schema toont specifiek voor het renovatiescenario wat de verschillende levenscyclusfasen inhouden. De gemaakte aannames zijn grotendeels gebaseerd op het OVAM-rapport 'Environmental profile of building elements' van *Allacker, et al. (2018).*



Figuur 15: Fasen levenscyclusanalyse renovatiescenario

De woning, gebouwd in 1963, is ongeveer 60 jaar later toe aan een grondige energetische renovatie. De eerste stap is een gedeeltelijke afbraak van de constructieonderdelen die gerenoveerd zullen worden. Daarnaast worden ook alle afwerkingslagen, meer bepaald de verflagen, pleisterlagen, dakafdichtingen en vloerafwerkingen, afgebroken en vernieuwd. Door de korte levensduur van deze materialen wordt er verondersteld dat ze zich in slechte staat bevinden en er nood is aan vervanging. Bij de eerste fase of de gedeeltelijke afbraakfase wordt enerzijds het afvalverwerkingsscenario en anderzijds het transport naar de afvalverwerking volgens OVAM ingerekend. Het materiaal kan gestort (landfill), verbrand (incineration) en/of gerecycleerd of hergebruikt (recycling/reuse) worden. Het transport gebeurt volgens OVAM met een vrachtwagen van 16-32 ton. Het aantal kilometers die afgelegd moeten worden, zijn afhankelijk van het afvalverwerkingsscenario: voor storting wordt 80 km aangenomen, voor verbranding 130 km en voor recyclage/hergebruik 30 km.

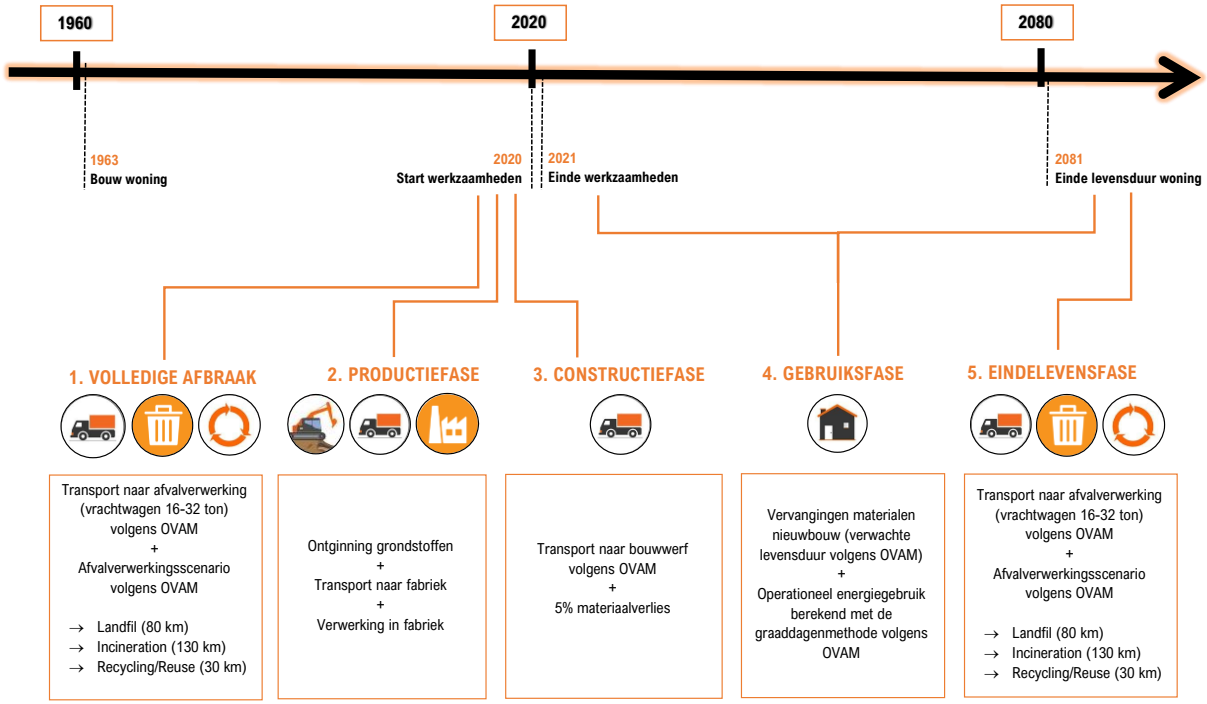
In de tweede fase of de productiefase wordt de milieu-impact van de ontginning van de grondstoffen, het transport naar de fabriek en de verwerking in de fabriek ingerekend. De derde fase is de constructiefase en omvat het transport naar de bouwwerf en 5% materiaalverlies, door bijvoorbeeld het snijden van materialen op maat.

Na deze fase wordt het gebouw opnieuw in gebruik genomen en voor de komende 60 jaar worden de vervangingen van de materialen die een levensduur hebben kleiner dan 60 jaar ingerekend. Om de levensduur van materialen in te schatten, wordt gebruik gemaakt van het OVAM-rapport 'Technische levensduur van gebouwcomponenten' van *Vandenbroucke (2018)*. Het aantal vervangingen wordt gevonden door de levensduur van het gebouw (60 jaar) te delen door de levensduur van de desbetreffende gebouwcomponent en hier één van af te trekken (de initiële installatie). Wanneer er geen geheel getal gevonden wordt, wordt er een onderscheid gemaakt tussen componenten die nodig zijn voor de veiligheid of het comfort en componenten die louter een esthetische functie hebben. Als veiligheid of comfort een belangrijke rol speelt, wordt het bekomen getal afgerond naar boven. Als de

component louter een esthetische functie heeft, worden de volgende vuistregels toegepast. Als de resterende levensduur van het gebouw kleiner is dan de helft van de levensduur van de component, dan wordt er afgerond naar beneden. Indien de resterende levensduur van het gebouw groter is dan de helft van de levensduur van de component, wordt er afgerond naar boven. Daarnaast wordt er ook met een zekere logica geredeneerd. Materialen die onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, zoals mortel en snelbouwsteen, krijgen dezelfde levensduur toegewezen. Ook wanneer een materiaal een ander materiaal met een kortere levensduur bedekt en het onmogelijk is om dat achterste materiaal te vervangen zonder daarbij het voorliggende af te breken, wordt voor de levensduur van het voorliggende materiaal dezelfde levensduur aangenomen als die van het achterliggende materiaal. Zowel de vervangingen van de materialen die zijn toegevoegd tijdens de renovatiewerken als van de materialen die nog aanwezig waren van de bestaande toestand worden meegenomen in de berekening. Naast de vervangingen wordt bij de gebruiksfase ook het operationele energiegebruik in rekening gebracht. Het operationele energiegebruik van de woning wordt berekend a.d.h.v. de graaddagenmethode die wordt voorgesteld in het rapport van OVAM.

Na 60 jaar wordt verondersteld dat het gerenoveerde gebouw op het einde van zijn leven is en wordt het volledig afgebroken. Bij deze laatste fase of de eindelevensfase wordt net zoals bij de eerste afbraakfase het transport naar de afvalverwerking met een vrachtwagen van 16-32 ton en de afvalverwerking zelf meegerekend. Afhankelijk van het materiaal wordt het afval verwerkt door storting, verbranding en/of recyclage/hergebruik.

Voor het herbouwscenario wordt hieronder een gelijkaardig schema weergegeven. De aannames zijn hier eveneens gebaseerd op het OVAM-rapport 'Environmental profile of building elements' van *Allacker, et al. (2018).*



Figuur 16: Fasen levenscyclusanalyse herbouwscenario

De verschillende aannames die gemaakt worden bij de productie-, constructie- en gebruiksfase van het herbouwscenario komen overeen met de aannames die gemaakt zijn bij het renovatiescenario. Het verschil zit bij de eerste fase of de afbraakfase en bij de laatste fase of de eindelevensfase. De afbraakfase houdt bij het herbouwscenario de volledige afbraak van de bestaande woning in, in tegenstelling tot de gedeeltelijke afbraak bij het renovatiescenario. Op het einde van de levensduur wordt de rijwoning ook niet volledig afgebroken, maar zullen enkel de afwerkingslagen (de verflagen, pleisterlagen, dakbedekkingen en vloerafwerkingen) afgebroken worden. Net zoals bij de aanvang van de renovatiewerken wordt er ook hier verondersteld dat deze lagen door hun korte levensduur opgefrist zullen moeten worden aan het einde van een 60 jaar durende levenscyclus. Deze veronderstelling wordt gemaakt om een eerlijke vergelijking tussen het renovatie- en herbouwscenario na te streven.

4.2.2 Inventarisatie

In de inventarisatiefase, of de zogenaamde Life Cycle Inventory (LCI) fase, worden alle gegevens verzameld. Hier wordt er gekeken naar de milieu-inputs (winning van grondstoffen, energiegebruik, landgebruik, etc.) en de milieu-outputs (emissies naar lucht, water en bodem, afval, gewijzigd landschap, etc.). De hoeveelheden van deze milieu-input- en outputstromen worden bepaald in functie van de functionele eenheid. Een groot deel van de gegevens voor een LCA-studie is reeds beschikbaar via databanken. De databank die vandaag de dag het meest gebruikt wordt, is de Zwitserse Ecoinvent LCI-databank. Andere databanken die gebruikt worden bij het uitvoeren van een LCA zijn o.a. CRTI, CML 2001, inies.fr, ICE en BEES.

Om de milieu-impact te evalueren, wordt er in deze studie gebruik gemaakt van de software SimaPro, waarin de Ecoinvent database versie 3.6 gehanteerd wordt. Deze database bevat inventarisatiegegevens over de processen van materialen en producten. Er is telkens gekozen voor de 'market' processen en 'system' processen. Elke activiteit die aanwezig is in de Ecoinvent database heeft een geografische locatie. Hierbij wordt de voorkeur altijd eerst gegeven aan Belgische inputs (BE), dan aan Europese inputs (RER) en tot slot aan globale inputs (GLO), welke gemiddelde waarden zijn van alle landen in de wereld. Wanneer deze drie mogelijkheden niet beschikbaar zijn in de Ecoinvent database, wordt er gekozen voor RoW, wat staat voor 'Rest-of-the-World', of voor Zwitserse inputs (CH).

Een belangrijk aspect waarmee moet worden rekening gehouden tijdens de inventarisatiefase is allocatie. Eén proces kan verschillende producten genereren. Allocatie is de verdeling van de milieu-impact over die verschillende producten. Dit komt bijvoorbeeld voor bij de recyclage of het hergebruik van bepaalde materialen of producten. Er moet dan bepaald worden welke voordelen/lasten gerekend worden bij de eerste levenscyclus (het recycleerbare product) en welke bij de tweede levenscyclus (het gerecycleerde product). Hiervoor zijn er verschillende systemen ontwikkeld, zoals Cut-off, APOS (Allocation at the Point of Substitution) en Consequential System *(Ecoinvent)*. Het systeem dat meestal gehanteerd wordt en ook in dit onderzoek wordt gebruikt, is Cut-off. Hierbij worden de impacts op het milieu en de voordelen voor het milieu gerekend bij de tweede levenscyclus van het gerecycleerde product.

Daarnaast worden er, zoals eerder vermeld, bij dit onderzoek ook gegevens gebruikt die ter beschikking worden gesteld door OVAM (Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij) aan de hand van de publicatie 'Environmental profile of building elements' en het rapport over de technische levensduurdata van gebouwcomponenten.

De aannames in SimaPro en de gebruikte gegevens zijn opgenomen in de bijlagen. In bijlage A kan een lijst teruggevonden worden met alle materialen die uit SimaPro zijn gebruikt om de materialen van de casestudy te kwalificeren. Wanneer een bepaald materiaal niet beschikbaar is in de database, wordt er telkens gekozen voor een ander materiaal dat zeer dicht aanleunt bij het origineel. Voor het transport van de verschillende bouwmaterialen van de fabriek naar de werf worden de scenario's, vrachtwagentypes en af te leggen afstanden gegeven in bijlage B. Een overzicht van de gebruikte materialen met bijhorende levensduur en aantal vervangingen is toegevoegd in bijlage C. Aan de hand van bijlage D en bijlage E wordt de milieu-impact van de afbraak bepaald. Bijlage D bevat de afvalscenario's die voor elk materiaal in SimaPro zijn opgesteld en bijlage E toont per materiaal of materiaalcategorie de afvalscenario's die door OVAM vooropgesteld worden.

4.2.3 Impactanalyse

In de derde stap van de LCA-procedure wordt de eigenlijke beoordeling uitgevoerd. Bij een impactanalyse of effectenbeoordeling wordt de bijdrage van het product, element of gebouw aan verschillende milieu-impactcategorieën gekwantificeerd. De milieu-impactcategorieën komen overeen met milieuproblemen die binnen de huidige maatschappij als belangrijk worden beschouwd, zoals klimaatverandering, verzuring of aantasting van de ozonlaag. Binnen een LCA-studie worden deze milieu-impactcategorieën weergegeven onder de vorm van milieu-impactindicatoren die de echte milieu-impact beschrijven.

De twee Europese normen, NBN EN 15804 voor milieu-evaluatie van bouwproducten en NBN EN 15978 voor milieu-evaluatie van gebouwen, geven een voorstel voor milieu-impactcategorieën en hun bijhorende indicatoren, de zogenaamde CEN-indicatoren. Bijkomend worden vaak ook de CEN+-indicatoren gehanteerd, die de aanvullende impactindicatoren van de CEN-indicatoren zijn.

CEN-indicatoren
Klimaatverandering
Aantasting van de ozonlaag
Verzuring van bodem en waterbronnen
Eutrofiëring
Fotochemische oxidantvorming
Uitputting van niet-fossiele abiotische grondstoffen
Uitputting van fossiele abiotische grondstoffen

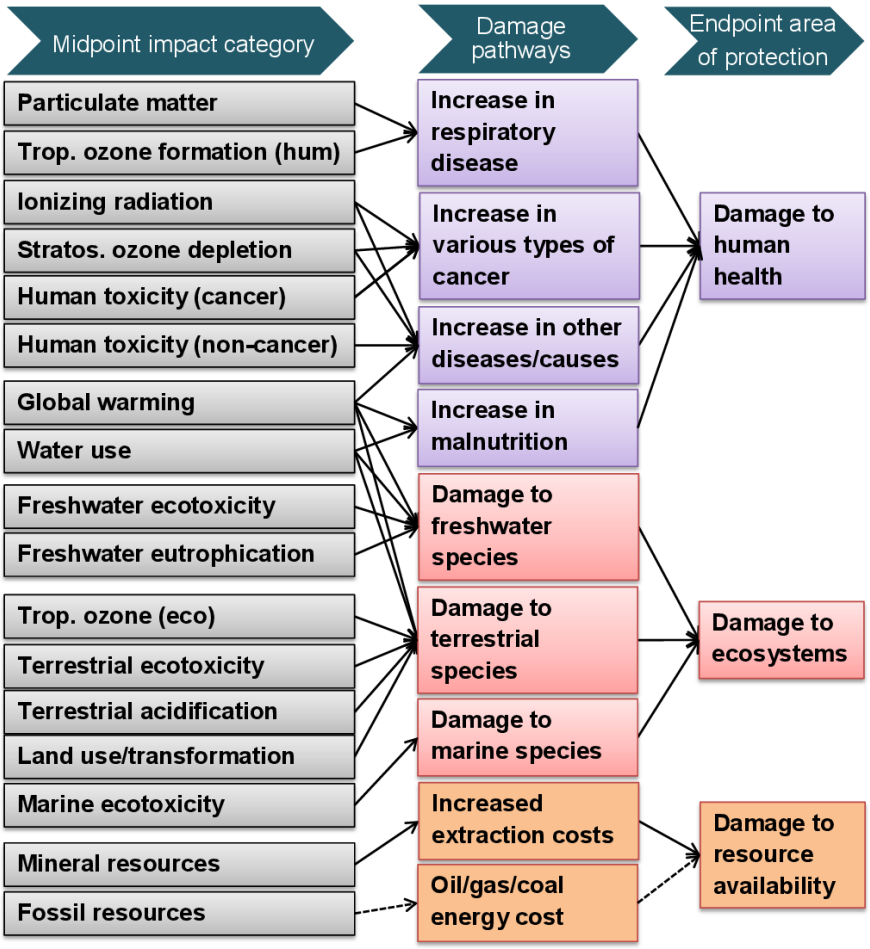
CEN+-indicatoren
Menselijke toxiciteit: kanker
Menselijke toxiciteit: niet kanker
Fijnstofvorming
Ioniserende straling, menselijke gezondheid
Ecotoxiciteit
Uitputting watervoorraden
Landbezetting: organisch bodemmateriaal
Landtransformatie: organisch bodemmateriaal
Landbezetting: biodiversiteit
Landtransformatie: biodiversiteit

Tabel 1: CEN-indicatoren en CEN+-indicatoren

De milieu-input- en -outputstromen die in de inventarisatiefase zijn verzameld, worden hier geclassificeerd onder de verschillende milieu-impactindicatoren. Vervolgens wordt de bijdrage van elke input- en outputstroom uitgedrukt in een referentie-eenheid. Zo wordt bijvoorbeeld klimaatverandering uitgedrukt in kg CO_2-equivalenten. CO_2-emissies zijn niet de enige emissies die klimaatverandering veroorzaken. Ook N_2O, methaan etc. leveren een bijdrage. Deze andere emissies worden omgezet naar een equivalente waarde in CO_2-equivalenten. Zo wordt 1 kg methaan gelijkgesteld aan 25 kg CO_2-equivalenten. Dit proces wordt karakterisering genoemd.

Op die manier wordt per milieu-impactindicator één waarde bekomen die de milieu-impact kwantificeert. Door normalisatie wordt voor elke milieu-impactindicator dezelfde eenheid bekomen. Nadien kan er een weging uitgevoerd worden, waarbij de genormaliseerde waarden met weegfactoren vermenigvuldigd worden. De weegfactoren worden bepaald door de onderzoeker en zijn dus eerder subjectief. Hierdoor kunnen er verschillende eindresultaten bekomen worden. Door al deze waarden bij elkaar op te tellen, wordt er dan een ééngetalscore bekomen. Door het feit dat er één score wordt bekomen, kan er gemakkelijk een vergelijking worden gemaakt tussen verschillende producten, elementen of gebouwen.

Om deze derde stap van de LCA-procedure uit te voeren bestaan er veel verschillende soorten impactanalysemethodes. In dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van de ReCiPe(H)-methode. Het is een methode die bij vele LCA-studies toegepast wordt en die ook gebruikt kan worden in de softwaretool SimaPro. De ReCiPe-methode bekijkt de milieu-impact op drie niveaus. De onderstaande figuur uit de publicatie van *Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2018)* toont de structuur van de ReCiPe-methode.



Figuur 17: Overzicht van de structuur van ReCiPe

Het eerste niveau bedraagt 18 midpoint indicatoren, zoals onder andere klimaatverandering, verzuring, fijnstofvorming, ecotoxiciteit en aantasting van de ozonlaag. Midpoint indicatoren zijn gericht op losse milieuproblemen. Het tweede niveau bevat 3 endpoint indicatoren: schade aan de menselijke gezondheid, schade aan de ecosystemen en schade aan de beschikbaarheid van grondstoffen. Endpoint indicatoren geven een beeld van de milieuschade op een hoger aggregatieniveau. Het derde niveau bevat één enkele geaggregeerde score uitgedrukt in milieupunten (Pt). Deze ééngetalscore geeft de globale milieu-impact

weer en wordt bekomen door het uitvoeren van een normalisatie, een groepering en een weging. Bij dit onderzoek zal er enkel gebruik gemaakt worden van de ééngetalscore om de milieu-impact van producten, elementen en gebouwen te beoordelen en met elkaar te vergelijken.

Daarnaast moet er in een LCA-studie ook kennis zijn van het energiegebruik. Ook voor het berekenen van het energiegebruik zijn er verschillende methodes. In de lijn met het OVAM-rapport 'Environmental profile of building elements' van *Allacker, et al. (2018)* wordt in dit onderzoek enkel het energiegebruik voor verwarming ten gevolge van transmissieverliezen in rekening gebracht. Daarnaast wordt er uitgegaan van de standaard technische installatie die in het document vooropgesteld wordt, namelijk een condenserende modulerende aardgasketel. Het energiegebruik voor verwarming ten gevolge van transmissieverliezen wordt berekend aan de hand van de graaddagenmethode volgens OVAM. Voor het elektriciteitsverbruik van de condenserende modulerende aardgasketel wordt de Belgische elektriciteitsmix gebruikt (Electricity, low voltage {BE}| market for | Cut-off, S) en voor het verbruik van het aardgas zelf wordt het Zwitserse proces (Natural gas, low pressure {CH}| market for | Cut-off, S) in rekening gebracht, omdat er hiervoor geen Belgisch proces in de Ecoinvent database beschikbaar is.

4.2.4 Interpretatie

In de eerste stap van de LCA-procedure wordt gedefinieerd wat het doel van het onderzoek is en wat er precies zal worden meegenomen in het onderzoek. Vervolgens worden in de tweede stap de gegevens verzameld en gestructureerd. In de derde stap wordt de eigenlijke beoordeling uitgevoerd. De laatste stap is de interpretatie van de resultaten. Er kan nu teruggekoppeld worden naar de initiële doelstelling(en) van de LCA-studie. Het is belangrijk om de resultaten in de context te plaatsen en de verschillende aannames en randvoorwaarden die verondersteld zijn, niet uit het oog te verliezen.

In deze laatste stap van de LCA-procedure worden ook tekortkomingen en aanbevelingen besproken en worden gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Bij deze studie worden vier gevoeligheidsanalyses uitgevoerd: de methode voor het transport van de productie- en constructiefase, de methode voor de eindverwerking van bouw- en sloopafval, het scenario voor ontmanteling en afbraak en de referentieperiode. Door bepaalde parameters te laten variëren, kan onderzocht worden welke invloed de zojuist genoemde aspecten hebben op het onderzoeksresultaat.

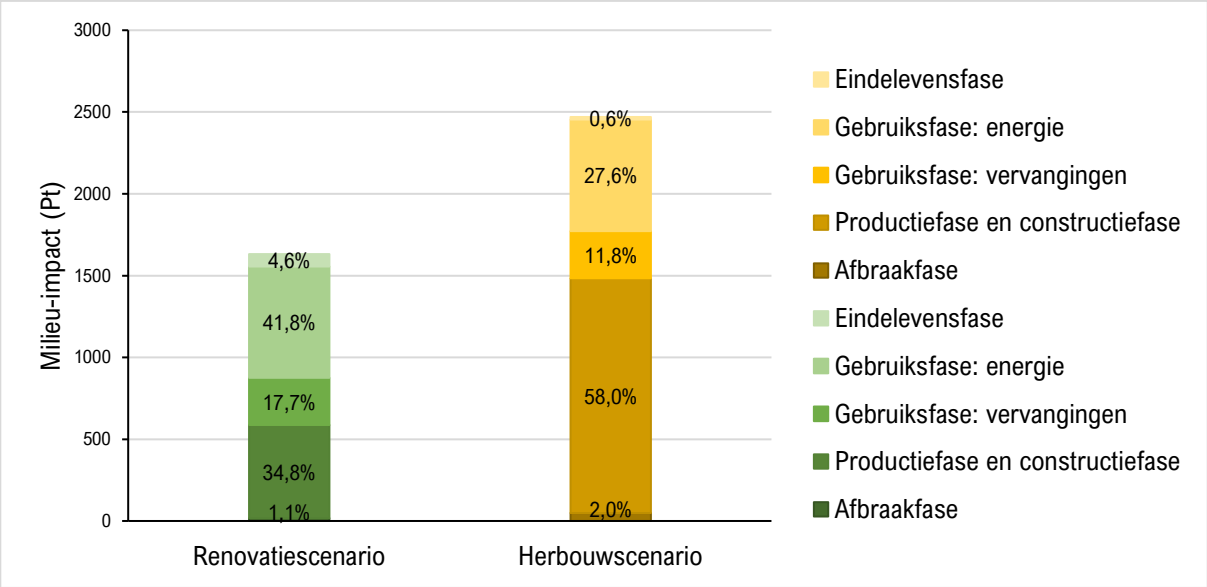
5 RESULTAAT

5.1 RENOVATIESCENARIO VERSUS HERBOUWSCENARIO

In dit deel wordt er verder gewerkt met het in 3.2 en in 3.3 besproken renovatie- en herbouwscenario. Aan de hand van een vergelijkende analyse tussen beide scenario's wordt er gezocht naar een antwoord op de vraag: Hoe verhoudt renovatie zich tegenover herbouw op vlak van milieu-impact? Met de hiervoor besproken LCA-methode wordt de milieu-impact van beide scenario's gekwantificeerd. Dit gebeurt op gebouwniveau, elementniveau en materiaalniveau.

5.1.1 Gebouwniveau

De milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario op gebouwniveau bedraagt respectievelijk 1630,77 en 2468,95 milieupunten. Herbouw heeft dus een beduidend hogere totale milieu-impact dan renovatie. Onderstaande grafiek toont de milieu-impact van elk scenario per levenscyclusfase, uitgedrukt in milieupunten. In wat volgt wordt er ingegaan op de belangrijkste verschillen.



Figuur 18: Passief renovatiescenario versus passief herbouwbouwscenario (gebouwniveau)

Bij het begin van de werkzaamheden moeten er zowel bij het renovatie- als bij het herbouwscenario materialen afgebroken worden. Deze fase wordt de afbraakfase genoemd. Afbraakprocessen gaan gepaard met het gebruik van energie en de uitstoot van fijn stof, waardoor ze een zekere milieu-impact hebben. In tegenstelling tot herbouw, waarbij de volledige woning afgebroken wordt, wordt bij renovatie enkel datgene afgebroken dat opgefrist of gerenoveerd moet worden. Daardoor is de milieu-impact van de afbraakfase bij het renovatiescenario lager dan bij het herbouwscenario. Het valt ook op dat, net zoals in de literatuur terug te vinden is, de afbraakfase een relatief lage milieu-impact heeft in vergelijking met het totaal.

In de tweede fase worden nieuwe materialen geproduceerd, getransporteerd en geconstrueerd. De productie- en constructiefase worden samen bekeken. De constructiefase, die het transport naar de werf en 5% materiaalverlies inhoudt, heeft echter een beperkt aandeel in vergelijking met de productiefase. De milieu-impact van deze tweede fase is voor herbouw bijna dubbel zo groot als voor de renovatie. Bij het herbouwscenario moet namelijk alles van de woning opnieuw geproduceerd en geconstrueerd worden, terwijl bij het renovatiescenario enkel wat er afgebroken wordt voor opfrissing en renovatie en wat er nog extra toegevoegd wordt bij de renovatie, zoals isolatie, opnieuw geproduceerd moet worden.

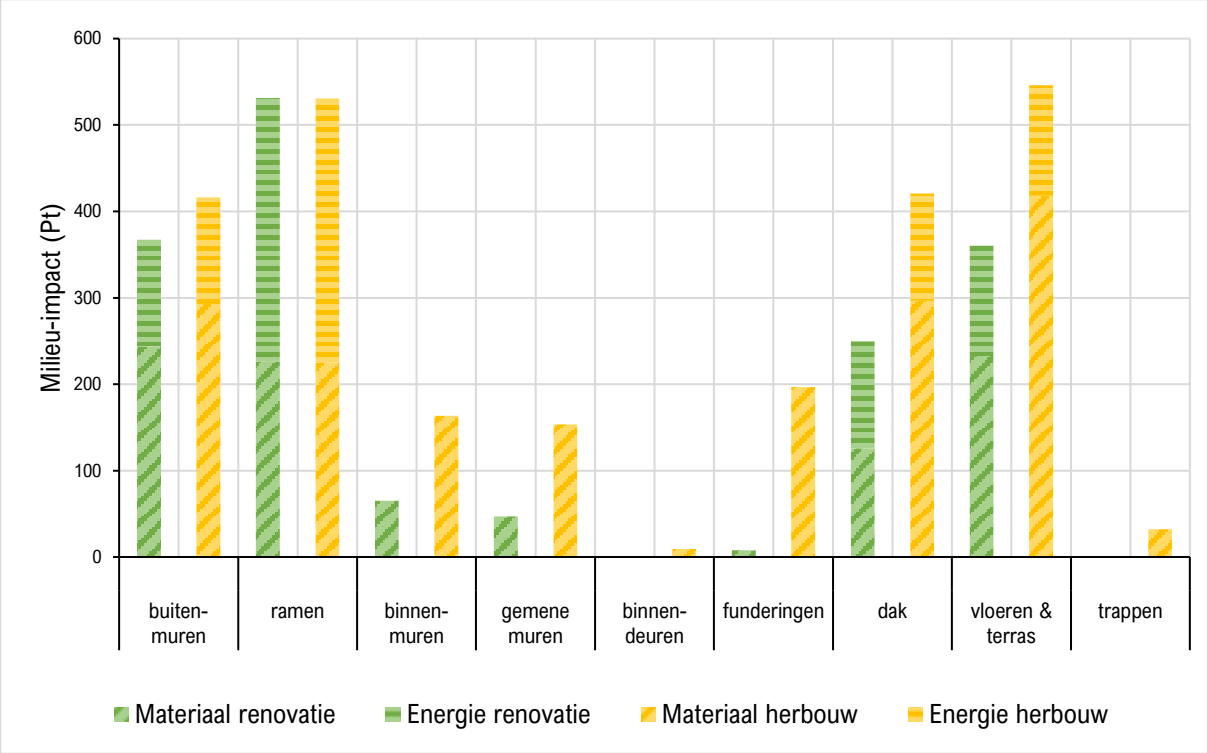
De gebruiksfase wordt opgesplitst in twee onderverdelingen, enerzijds de vervangingen en anderzijds het operationele energiegebruik. Het renovatie- en herbouwscenario behalen voor beide deelfasen ongeveer dezelfde score. Bij de vervangingen is dat een gevolg van de gelijkaardige opbouwen en materialen die bij beide scenario's toegepast worden. Elk materiaal heeft zijn eigen levensduur en moet op het einde van zijn levensduur vervangen worden. Doordat de overeenkomst tussen beide scenario's zo groot is, is ook de milieu-impact ten gevolge van de vervangingen ongeveer gelijk. Bij het operationele energiegebruik is dat een gevolg van de gelijke U-waarden die zijn aangenomen. Zowel het gerenoveerde gebouw als het nieuwe gebouw halen de passieve standaard. De warmteverliezen zijn gelijk en bijgevolg is ook de milieu-impact voor het operationele energiegebruik gelijk. Bij het renovatiescenario heeft het operationele energiegebruik wel een grotere relatieve impact (41,8%) t.o.v. het totaal dan bij het herbouwscenario (27,6%), omdat bij het herbouwscenario de materiaalimpact de overhand heeft.

De vierde fase of eindelevensfase gaat over de afbraak op het einde van zijn levensduur. Er wordt verondersteld dat de gerenoveerde woning 60 jaar na de renovatiewerken het einde van zijn levensduur bereikt heeft, waardoor de volledige woning na 60 jaar afgebroken moet worden. In totaal heeft de structuur van deze woning dan 120 jaar gepresteerd. De nieuwe woning wordt op dezelfde manier bekeken. Ook daarbij wordt er uitgegaan van een totale levensduur van 120 jaar voor de structuur van de woning. Aangezien 60 jaar na de werken, wat de referentieperiode is van deze LCA-studie, de structuur van de nieuwe woning het einde van zijn 120-jarige levensduur nog niet heeft bereikt, moet de volledige woning ook niet afgebroken worden. Enkel wat opgefrist moet worden, zal worden afgebroken. Hierdoor is de milieu-impact van de eindelevensfase bij herbouw lager dan bij renovatie. Net zoals de afbraakfase zal ook deze fase slechts een beperkte bijdrage leveren aan de totale milieu-impact.

Er kan besloten worden dat de productie-, constructie- en gebruiksfase het grootste aandeel van de totale milieu-impact vertegenwoordigen. De afbraak- en eindelevensfase hebben een beperkte impact.

5.1.2 Elementniveau

Vervolgens wordt ook een vergelijkende analyse uitgevoerd op elementniveau. De woning is opgebouwd uit negen verschillende constructieonderdelen, namelijk de buitenmuren, de ramen, de binnenmuren, de gemene muren, de binnendeuren, de funderingen, het dak, de vloeren en de trappen. Opnieuw wordt de milieu-impact telkens als enkelvoudige score berekend. De onderstaande grafiek toont de resultaten, uitgedrukt in milieupunten. De balkjes met schuine strepen tonen de milieu-impact van het materiaal, of kortweg de materiaalimpact, de balkjes met horizontale strepen tonen de milieu-impact van het operationele energiegebruik, of kortweg de energie-impact. De energie-impact speelt uiteraard enkel een rol bij de elementen van de gebouwschil, namelijk de buitenmuren, de ramen, het dak en de vloer op volle grond. De transmissieverliezen doorheen de gemene muren worden als verwaarloosbaar beschouwd, aangezien er wordt verondersteld dat beide buren hun woning voldoende verwarmen.



Figuur 19: Passief renovatiescenario versus passief herbouwbouwscenario (elementniveau)

Met een enkelvoudige score van 546,10 milieupunten scoren de vloeren van de nieuwe woning het hoogste. Dit is een gevolg van de grote hoeveelheid beton waaruit de vloeren zijn opgebouwd. De productie van beton heeft namelijk een zeer hoge milieu-impact. Ook bij het renovatiescenario moeten er twee dekvloeren geproduceerd worden, waardoor de vloeren ook hier een hoge score behalen.

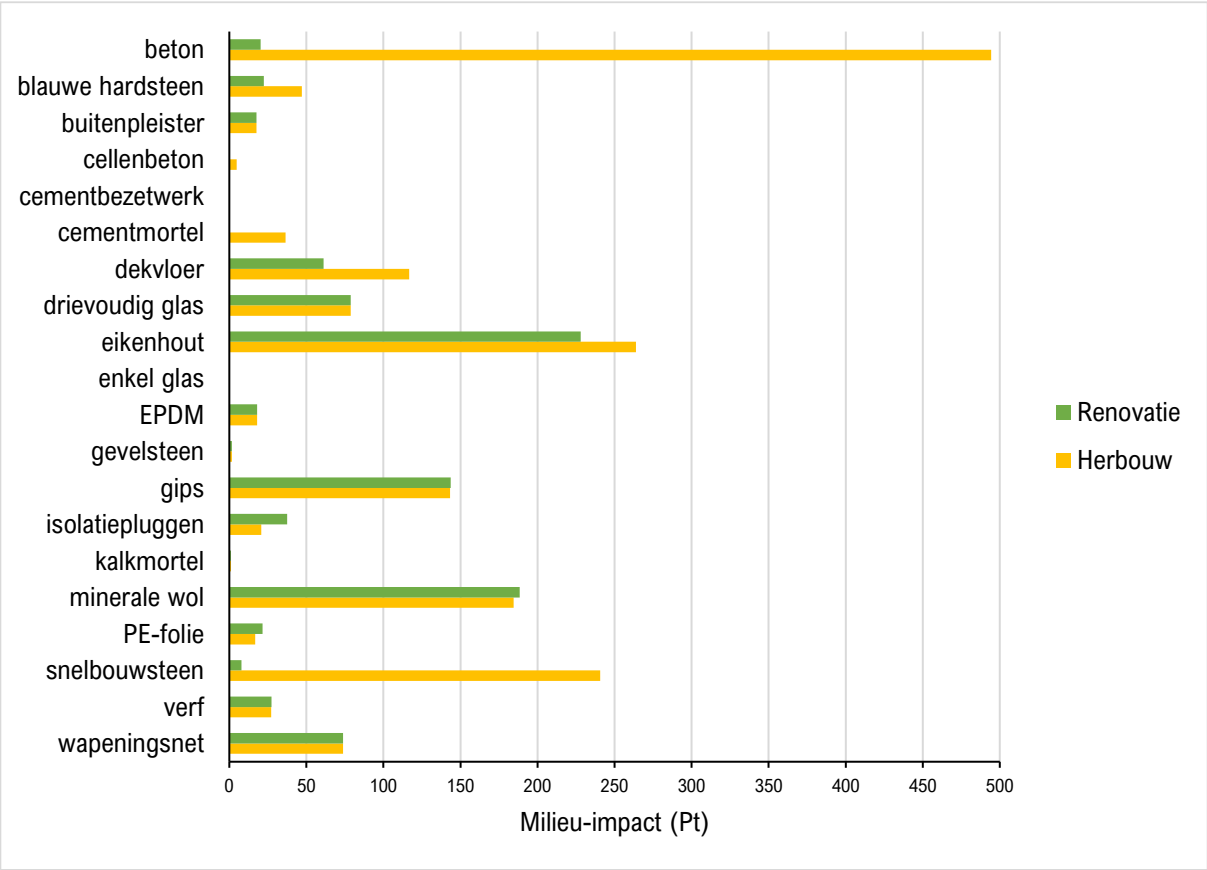
De hoge milieuscore van de ramen is vooral te wijten aan de energieverliezen. De meeste warmte gaat verloren via de ramen omdat, in vergelijking met de andere constructieonderdelen die behoren tot het warmteverliesoppervlak, de U-waarde van de ramen veel groter is. Daarnaast levert de productie van de eikenhouten raamkaders ook een grote bijdrage. Doordat zowel voor het renovatie- als voor het herbouwscenario de ramen volledig opnieuw geproduceerd moeten worden, is het logisch dat de milieu-impact van de ramen voor beide scenario's nagenoeg even groot is.

Ook het dak en de buitenmuren hebben een hoge milieu-impact. Het is zeer opmerkelijk hoe de vier constructieonderdelen die tot het warmteverliesoppervlak behoren de grootste bijdrage leveren. Dit kan op een eenvoudige manier verklaard worden. Enerzijds komt dit door de energie-impact, die bij de overige constructiedelen niet mee in rekening moet worden genomen. Anderzijds komt dit door de grote oppervlaktes die deze vier constructieonderdelen (vloer, ramen, dak, buitenmuur) hebben, waardoor de materiaalhoeveelheden groot zijn en de milieu-impact bijgevolg ook hoger zal zijn.

De elementen met de laagste milieu-impact zijn de binnendeuren en de trappen, wat te verklaren valt door het feit dat deze constructieonderdelen slechts uit één materiaal bestaan en beperkt zijn in volume. Net zoals bij de overige constructieonderdelen springt het ook hier in het oog dat het herbouwscenario telkens een hogere milieu-impact heeft. Zoals reeds aangehaald, is dit voornamelijk te wijten aan het verschil in milieu-impact van de productiefase tussen beide scenario's.

5.1.3 Materiaalniveau

Tot slot wordt er een vergelijkende analyse tussen renovatie en herbouw uitgevoerd op materiaalniveau. Onderstaande grafiek toont het resultaat. Op de verticale as staan alle gebruikte materialen voor zowel het renovatie- als het herbouwscenario. Op de horizontale as staat de milieu-impact van het materiaal in milieupunten. Deze milieu-impact is afhankelijk van de hoeveelheid (in kg) dat gebruikt wordt bij het renovatie- of herbouwscenario en omvat de bijdrage van alle levenscyclusfasen (afbraakfase, productiefase, constructiefase, vervangingen en eindelevensfase).



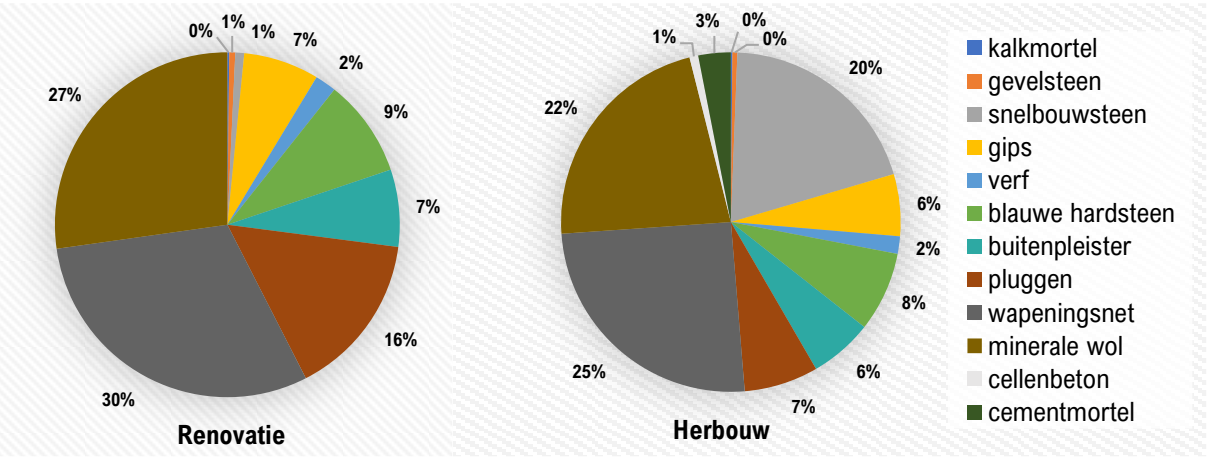
Figuur 20: Passief renovatiescenario versus passief herbouwbouwscenario (materiaalniveau)

Beton scoort bij herbouw opvallend hoger dan bij renovatie. Dit is te wijten aan het feit dat er grote hoeveelheden beton nodig zijn bij het nieuwe gebouw en de productie van beton een zeer hoge milieu-impact heeft. Hetzelfde geldt voor de dekvloer en de snelbouwsteen. Ook bij de blauwe hardsteen, cellenbeton, cementmortel en eikenhout (raamkader, binnendeuren, houten plankenvloer en trappen) scoort herbouw hoger omdat de productie- en constructiefase hier hoger is. De milieu-impact van het cellenbeton en de cementmortel zijn bij het renovatiescenario zelfs nul. Er is namelijk geen cellenbeton aanwezig in de bestaande woning en dit wordt ook niet voorzien bij de renovatie. De snelbouwstenen en de gevelstenen van de bestaande woning zijn verbonden met kalkmortel, terwijl voor het nieuwe gebouw cementmortel wordt gebruikt. Cementmortel wordt vandaag de dag vaak gebruikt omdat er dan een stuk sneller kan gebouwd worden. Bovendien heeft cementmortel een hogere hecht- en druksterkte. Het nadeel is dus wel dat de stenen dan onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, terwijl stenen die verbonden zijn door kalkmortel gemakkelijker te scheiden en te hergebruiken zijn. Cementmortel speelt dus geen rol in het renovatiescenario, waardoor de milieu-impact van dit materiaal nul is.

Een aantal materialen, zoals bijvoorbeeld de buitenpleister en het wapeningsnet (uit glasvezel) voor het ETICS systeem, het cementbezetwerk en de gevelsteen, het glas, de EPDM dakafdichting, de kalkmortel, het gips en de verf hebben bij het renovatie- en herbouwscenario min of meer dezelfde milieu-impact. De reden hiervoor is dat deze materialen bij beide scenario's moeten afgebroken en/of geproduceerd worden, wat resulteert in dezelfde milieu-impact.

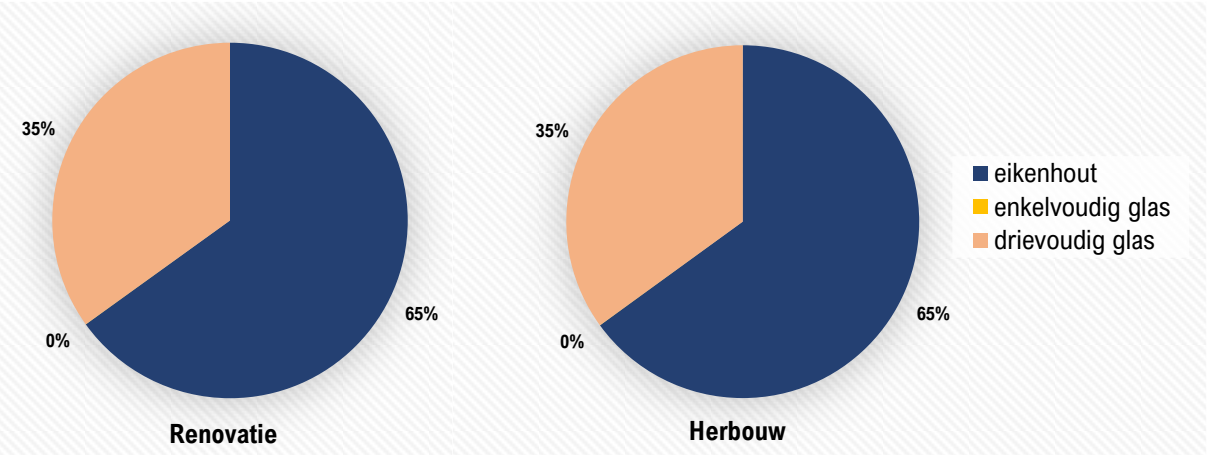
Sommige materialen hebben bij het renovatiescenario meer impact dan bij het herbouwscenario. De minerale wol wordt bij beide scenario's geproduceerd, maar bij het renovatiescenario wordt dit materiaal aan het einde van de levensduur ook nog afgebroken, wat dus voor een hogere milieu-impact zorgt. Ook het verschil bij de PE-folie en de isolatiepluggen is te wijten aan het feit dat deze bij het herbouwscenario niet meer afgebroken moeten worden op het einde. Deze materialen hebben een grote milieu-impact bij de afbraakfase omdat 85% verbrand wordt.

Vervolgens wordt er per constructieonderdeel gekeken naar de relatieve materiaalimpact voor zowel het renovatiescenario als het herbouwscenario. Er wordt niet dieper ingegaan op constructieonderdelen die slechts uit één materiaal bestaan, zoals de funderingen, de binnendeuren en de trappen. De bekomen resultaten worden weergegeven in de onderstaande taartdiagrammen.



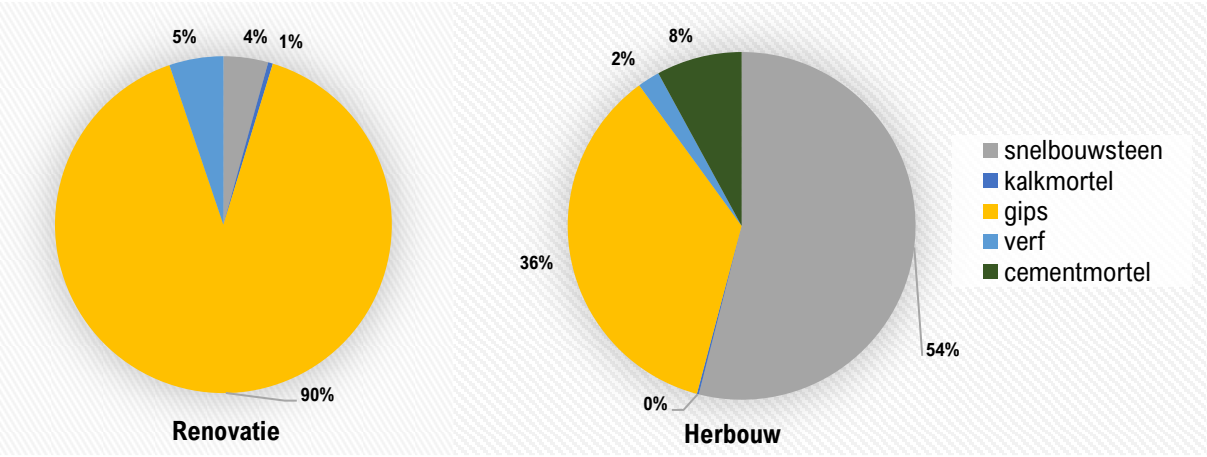
Figuur 21: Materiaalimpact buitenmuren

Voor wat de buitenmuren betreft, valt het meteen op dat zowel bij het renovatiescenario als bij het herbouwscenario de grootste bijdrage aan de totale milieu-impact geleverd wordt door het wapeningsnet. Het wapeningsnet is gemaakt uit glasvezel en dient als versterking voor het buitenpleisterwerk. De hoge relatieve impact van dit materiaal heeft te maken met het feit dat de milieu-impact voor de productie zeer hoog is. Ook de minerale wol scoort opvallend hoog en bedraagt bij beide scenario's minstens een vijfde van de totale milieu-impact van de buitenmuren. Minerale wol is in grote hoeveelheid (kg) aanwezig in zowel de gerenoveerde woning als de nieuwe woning, waardoor de relatieve impact zeer hoog is. Bij het herbouwscenario leveren eveneens de snelbouwstenen een grote bijdrage. Dit komt omdat de buitenmuren bij dit scenario volledig opnieuw opgetrokken moeten worden, waardoor heel wat snelbouwstenen geproduceerd moeten worden. Bij het renovatiescenario hebben ook de pluggen een grote impact door het feit dat deze na 60 jaar afgebroken worden. Aangezien het overgrote deel hiervan verbrand wordt, heeft dit een negatieve impact op het milieu. De relatieve bijdrage van de andere materialen die deel uitmaken van de buitenmuur aan de totale milieu-impact is kleiner en gelijkaardig bij beide scenario's.



Figuur 22: Materiaalimpact ramen

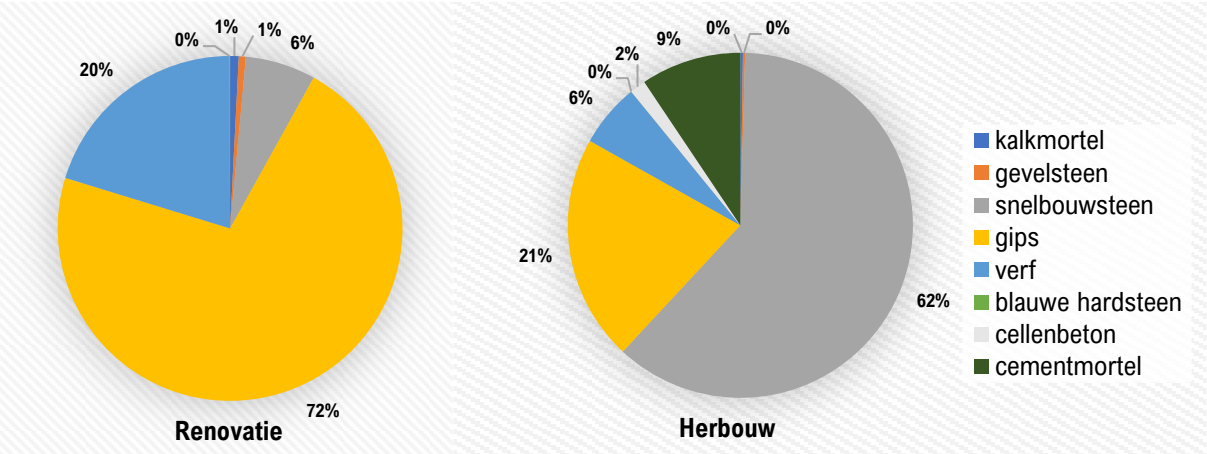
Momenteel beschikt de eengezinswoning uit Gentbrugge over houten raamkaders met enkelvoudige beglazing. Doordat de warmteverliezen langs enkelvoudig glas te hoog zijn en het houten raamkader na 60 jaar het einde van zijn levensduur heeft bereikt, worden beide materialen bij zowel het renovatie- als het herbouwscenario afgebroken en volledig vernieuwd naar houten raamkaders met drievoudig glas. Aangezien dezelfde processen plaatsvinden, zijn beide grafieken hetzelfde. Het is opvallend dat de bijdrage van het enkelvoudig glas aan de totale milieu-impact van de ramen verwaarloosbaar is. Dit komt omdat het enkelvoudig glas enkel afgebroken moet worden en, zoals eerder is aangetoond, de milieu-impact van de afbraakfase t.o.v. die van de andere fasen verwaarloosbaar is, waardoor de milieu-impact van het enkel glas t.o.v. die van de andere materialen van de ramen ook verwaarloosbaar is.



Figuur 23: Materiaalimpact binnenmuren

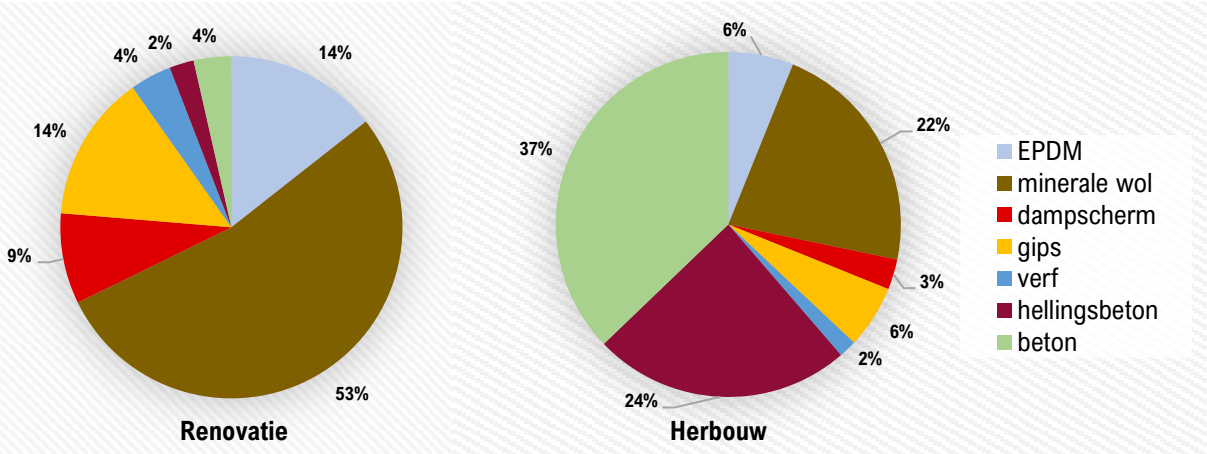
De binnenmuren, die opgebouwd zijn uit snelbouwstenen met kalkmortel als dragende structuur en afgewerkt zijn met gips en verf, leveren een niet te verwaarlozen bijdrage aan de totale milieu-impact. Bij het renovatiescenario moeten het gips en de verf door hun beperkte levensduur verschillende keren gedurende de referentieperiode van 60 jaar vervangen worden, waardoor hun relatieve bijdrage het grootste is. Het gips heeft een grotere relatieve impact dan de verf, omdat de benodigde hoeveelheid (in kg) groter is. Aan de snelbouwstenen en de kalkmortel wordt enkel een afbraakproces toegekend op het einde van de levensduur van de woning. Dit in tegenstelling tot het herbouwscenario, waarbij de snelbouwstenen en kalkmortel bij aanvang van de werkzaamheden volledig afgebroken worden en vervolgens terug opgebouwd worden. Daarnaast levert bij het herbouwscenario ook cementmortel een

relatieve bijdrage van 8%, omdat er bij de bouw van de nieuwe woning verondersteld wordt dat er in plaats van kalkmortel cementmortel gebruikt wordt. De kalkmortel heeft bij beide scenario's een verwaarloosbaar kleine impact, omdat hiervoor enkel de afbraak wordt ingerekend. Bij het renovatiescenario gaat het om de afbraak op het einde van de levensduur, bij het herbouwscenario gaat het om de afbraak aan het begin van de referentieperiode.



Figuur 24: Materiaalimpact gemene muren

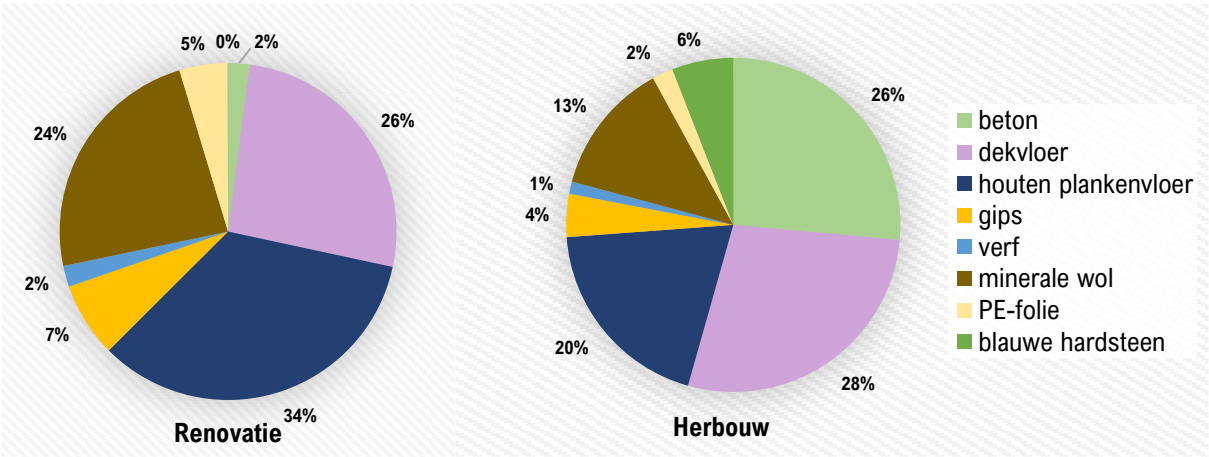
Bij de gemene muren valt een gelijkaardig verhaal te vertellen als bij de binnenmuren. Opnieuw kan vastgesteld worden dat de grootste bijdrage aan de totale milieu-impact geleverd wordt door het pleisterwerk, de verflaag en de snelbouwstenen. Bij de nieuwe woning wordt er onderaan de dragende buitenmuren een laag cellenbeton voorzien om een koudebrug te voorkomen. Dit levert bij herbouw een kleine relatieve bijdrage van 2%. Zowel de afbraak van de kleine muur uit gevelsteen met een deksteen uit blauwe hardsteen, die zich achteraan de woning in het verlengde van de gemene muren bevindt, als de kalkmortel hebben een verwaarloosbare bijdrage aan de totale milieu-impact van de gemene muren.



Figuur 25: Materiaalimpact dak

Er zijn grote verschillen zichtbaar tussen de verdeling van de materiaalimpact van het dak bij het renovatiescenario en de verdeling van de materiaalimpact bij het herbouwscenario. De vier materialen die de grootste bijdrage leveren aan de milieu-impact van het renovatiescenario zijn de minerale wol, het gips, de dakafdichting (EPDM) en het dampscherm. Er moet bij het passieve renovatiescenario heel wat minerale wol geproduceerd worden om de gewenste isolatiegraad te behalen, waardoor de relatieve

bijdrage van minerale wol meer dan de helft van het totaal bedraagt. Het gips en de EPDM moeten beiden bij aanvang van de renovatiewerken afgebroken en vernieuwd worden en moeten ook tijdens de referentieperiode van 60 jaar door hun beperkte levensduur respectievelijk eenmaal en tweemaal vervangen worden. Omdat er initieel geen isolatie in het dak aanwezig is, moet er bij de renovatie een dampscherm geplaatst worden om te voorkomen dat vocht in de isolatie kan terechtkomen. De relatieve bijdrage van het dampscherm van 9% aan de totale milieu-impact van het dak is voornamelijk te wijten aan de productie op jaar nul en de eenmalige vervanging tijdens de levensduur van de gerenoveerde woning. Bij het herbouwscenario wordt de grootste relatieve bijdrage geleverd door het beton, gevolgd door het hellingsbeton en de minerale wol. De grote impact van deze drie materialen komt door het feit dat er van alle drie een grote hoeveelheid (kg) nodig is om het nieuwe gebouw te realiseren. Het beton en het hellingsbeton hebben bij het renovatiescenario een zeer beperkte en zelfs verwaarloosbare impact omdat deze materialen al bij aanvang aanwezig zijn en niet vervangen moeten worden. Enkel op het einde van de levensduur van het gebouw zullen deze materialen afgebroken moeten worden. De eindelevensfase heeft, zoals eerder vermeld, een kleine invloed in vergelijking met de andere levenscyclusfasen en bovendien kan volgens OVAM 95% van dit materiaal gerecycleerd worden.



Figuur 26: Materiaalimpact vloeren en terras

Zoals op Figuur 19 wordt getoond, hebben de vloeren een grote materiaalimpact. Uit Figuur 26 valt af te leiden dat bij renovatie de houten plankenvloer, de dekvloer en de minerale wol een zeer belangrijk aandeel vormen. De grote hoeveelheid (in kg) van de minerale wol en de dekvloer die nodig is, zorgt voor de grote bijdrage. Het grote aandeel van de houten planken is te wijten aan zijn korte levensduur, waardoor het materiaal meermaals vervangen moet worden. Ook bij het herbouwscenario leveren deze drie materialen een relatief grote bijdrage aan de totale milieu-impact van de vloeren en het terras. Maar net zoals bij het dak speelt ook beton een belangrijke rol, omdat hiervan een aanzienlijke hoeveelheid moet geproduceerd worden. De relatieve impact van beton, dat dient als draagstructuur voor de vloeren, bedraagt hier iets meer dan een kwart van de totale milieu-impact. De blauwe hardsteen, die gebruikt wordt als vloerafwerking voor het terras, is verantwoordelijk voor 6% van de totale milieu-impact. Dit is opnieuw vooral te wijten aan de productie, die in vergelijking met de productie van andere materialen een vrij hoge impact heeft. Bij renovatie is de impact van de blauwe hardsteen verwaarloosbaar, omdat dit materiaal enkel op het einde van de levensduur afgebroken wordt. De milieu-impact gerelateerd aan de afbraak van dit materiaal is daarenboven beperkt, aangezien 95% gerecycleerd kan worden. De bijdrage van de overige materialen, namelijk gips, verf en PE-folie, aan de totale milieu-impact van de vloeren en het terras blijft bij beide scenario's beperkt.

5.2 VARIATIE ISOLATIEGRAAD RENOVATIE- EN HERBOUWSCENARIO

In het vorige hoofdstuk is een vergelijking gemaakt tussen één renovatie- en één herbouwscenario. Deze scenario's zijn echter zeer specifiek gekozen. Zowel de gerenoveerde als de nieuwe woning voldoen aan de richtwaarden van een passiefhuis, maar dit is geen absolute vereiste. Om de resultaten en conclusies te kunnen veralgemenen, zodat ze niet langer specifiek zijn voor de twee gekozen basisscenario's, en om daarnaast ook kantelpunten tussen renovatie en herbouw te kunnen vinden, is het nodig om in een volgende stap meerdere scenario's te bekijken. In wat volgt, wordt de isolatiegraad van de gerenoveerde en nieuwe woning gevarieerd.

5.2.1 Isolatiegraad renovatiescenario

In het reeds voorgestelde renovatiescenario wordt de woning gerenoveerd tot een passiefwoning. Dit betekent een zeer ingrijpende energetische renovatie en is zeker niet de standaard. De passieve renovatie wordt nu als een maximum beschouwd en er worden scenario's uitgeschreven waarbij de isolatiegraad (de diktes van de isolatielagen en het soort beglazing) uiteenlopende waarden aanneemt, lopend van het scenario waarbij er niet gerenoveerd wordt tot aan het scenario waarbij gerenoveerd wordt tot een passiefwoning.

Niet alle constructieonderdelen van de gebouwschil renoveren is uiteraard ook een optie. Er kan dus gekozen worden om geen, één, twee, drie of vier (alle) constructieonderdelen te renoveren. De vier constructiedelen, waarbij door renovatie de U-waarde geoptimaliseerd kan worden, zijn de buitenmuren, de ramen, het dak en de vloer op volle grond. Belangrijk om op te merken is dat er in dit onderzoek enkel energetische renovaties worden bekeken. De overige constructieonderdelen worden hier bijgevolg niet verder bekeken, omdat ze geen deel uitmaken van het warmteverliesoppervlak van de rijwoning.

De buitenmuren zijn momenteel niet voorzien van thermische isolatie. De mogelijke renovatieopties beschikken over 6, 10, 14, 16, 18, 20 en 22 cm minerale wol. Voor de ramen, die momenteel voorzien zijn van enkel glas, worden als renovatieopties hoogrendementsglas en drievoudig glas met een eikenhouten raamkader vooropgesteld. De renovatieopties voor het dak, waarbij in de bestaande toestand ook geen isolatie aanwezig is, bevatten 6, 10, 14, 16, 18, 20 en 22 cm isolatie. Ook de vloer op volle grond is momenteel niet voorzien van thermische isolatie. De renovatieopties bevatten voor dit constructieonderdeel 6, 10, 14, 16 en 18 cm minerale wol. In totaal zijn er dus acht renovatieopties voor de buitenmuren en het dak, drie voor de ramen en zes voor de vloer op volle grond. Wanneer al deze renovatieopties met elkaar gecombineerd worden, worden in totaal 1151 renovatiescenario's bekomen. Hierbij is het scenario waarbij de vier constructieonderdelen niet aangepakt worden, wat overeenkomt met het behouden van de oorspronkelijke bestaande toestand, niet inbegrepen.

De mogelijke renovatieopties per constructieonderdeel en hun bijhorende U-waarden worden in de onderstaande tabel weergegeven.

CONSTRUCTIE-ONDERDEEL	RENOVATIEOPTIE	U-WAARDE (W/m²K)
BUITENMUREN	0 cm minerale wol (bestaande toestand)	2,59
	6 cm minerale wol	0,48
	10 cm minerale wol	0,31
	14 cm minerale wol	0,23
	16 cm minerale wol	0,20
	18 cm minerale wol	0,18
	20 cm minerale wol	0,16
	22 cm minerale wol	0,15
RAMEN	enkel glas (bestaande toestand)	4,38 (U_{glas}=5,50)
	hoogrendementsglas	1,22 (U_{glas}=1,10)
	drievoudig glas	0,80 (U_{glas}=0,50)
DAK	0 cm minerale wol (bestaande toestand)	2,27
	6 cm minerale wol	0,46
	10 cm minerale wol	0,30
	14 cm minerale wol	0,23
	16 cm minerale wol	0,20
	18 cm minerale wol	0,18
	20 cm minerale wol	0,16
	22 cm minerale wol	0,15
VLOER OP VOLLE GROND	0 cm minerale wol (bestaande toestand)	0,73
	6 cm minerale wol	0,32
	10 cm minerale wol	0,24
	14 cm minerale wol	0,19
	16 cm minerale wol	0,17
	18 cm minerale wol	0,15

Tabel 2: Renovatieopties per constructieonderdeel

5.2.2 Isolatiegraad herbouwscenario

Voor de nieuwe woning is bij de eerste vergelijkende analyse dezelfde veronderstelling gemaakt als voor de gerenoveerde woning, namelijk dat na de interventie aan de vooropgestelde U-waarden van een passiefhuis wordt voldaan. Net zoals de isolatiegraad van de gerenoveerde woning gevarieerd wordt, wordt nu ook de isolatiegraad van de nieuwbouw gevarieerd. Dit gebeurt enerzijds aan de hand van verschillende diktes van de isolatielagen, die bij het bouwen van de nieuwe rijwoning voorzien worden in het dak, de buitenmuren en de vloer op volle grond, en anderzijds aan de hand van de soort beglazing die voorzien wordt in de ramen.

In tegenstelling tot bij een gerenoveerde woning, zijn er bij een nieuwe woning minimumeisen. Vanaf 2021 moeten nieuwe woongebouwen voldoen aan een E-peil van maximaal E30. Daarnaast bestaan er ook maximaal toegelaten U-waarden, die voor het dak, de buitenmuren en de vloer op volle grond 0,24 W/m²K bedragen en voor de ramen 1,5 W/m²K. Bij de ramen bestaat er een bijkomende eis voor de U-waarde van de beglazing, die de waarde van 1,1 W/m²K niet mag overstijgen. De U-waarden van de verschillende nieuwbouwopties zullen daarom lopen van de opgelegde minimumeisen tot de richtwaarden voor een passiefhuis.

Dit komt overeen met isolatiediktes van 14, 16, 18, 20 en 22 cm minerale wol voor de buitenmuren van de nieuwe eengezinswoning. Bij de ramen worden er twee mogelijke beglazingen vooropgesteld, namelijk hoogrendementsglas en drievoudig glas. De nieuwbouwopties van het dak bevatten dezelfde isolatiediktes als die van de buitenmuren. De nieuwbouwopties voor de vloer op volle grond bevatten 10, 14, 16 en 18 cm isolatie. In totaal zijn er dus vijf mogelijke nieuwbouwopties voor de buitenmuren en het dak, twee voor de ramen en vier voor de vloer op volle grond. Wanneer al deze nieuwbouwopties met elkaar gecombineerd worden, worden in totaal 200 herbouwscenario's bekomen.

De mogelijke nieuwbouwopties per constructieonderdeel en hun bijhorende U-waarden worden in de onderstaande tabel weergegeven.

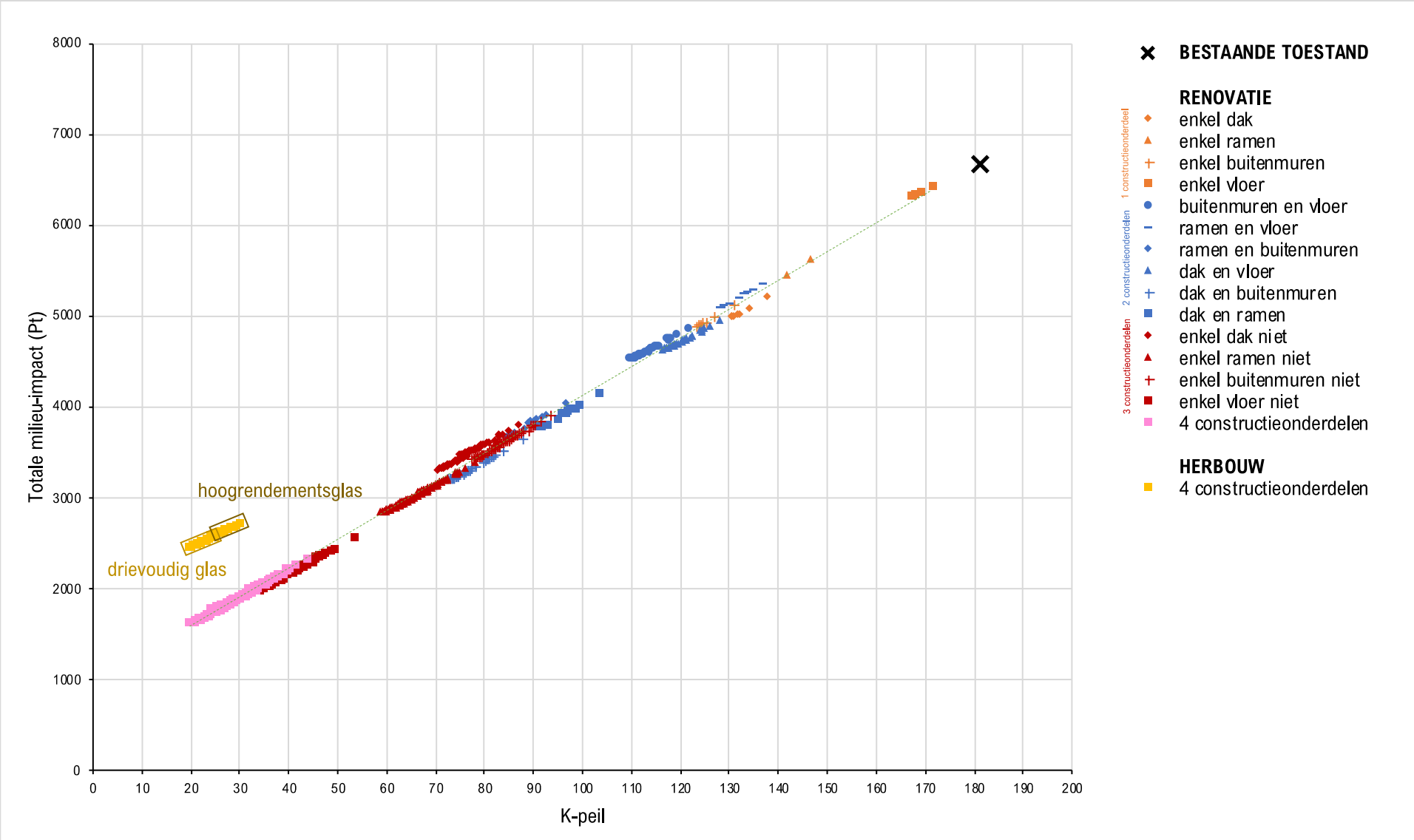
CONSTRUCTIE-ONDERDEEL	NIEUWBOUWOPTIE	U-WAARDE (W/m²K)
BUITENMUREN	14 cm minerale wol	0,23
	16 cm minerale wol	0,20
	18 cm minerale wol	0,18
	20 cm minerale wol	0,16
	22 cm minerale wol	0,15
RAMEN	hoogrendementsglas	1,22 (U_{glas}=1,10)
	drievoudig glas	0,80 (U_{glas}=0,50)
DAK	14 cm minerale wol	0,23
	16 cm minerale wol	0,20
	18 cm minerale wol	0,18
	20 cm minerale wol	0,16
	22 cm minerale wol	0,15
VLOER OP VOLLE GROND	10 cm minerale wol	0,24
	14 cm minerale wol	0,19
	16 cm minerale wol	0,17
	18 cm minerale wol	0,15

Tabel 3: Nieuwbouwopties per constructieonderdeel

5.2.3 Renovatiescenario's versus herbouwscenario's

In het vorige deel zijn heel wat renovatie- en herbouwscenario's voorgesteld. In een volgende stap worden al die verschillende renovatie- en herbouwscenario's geplot op één grafiek met op de x-as het K-peil en op de y-as de totale milieu-impact. Het K-peil geeft de globale warmte-isolatie van een gebouw weer. Er wordt hierbij rekening gehouden met de oppervlakte gewogen gemiddelde U-waarde en met de compactheid van het gebouw. De compactheid van een gebouw is de verhouding tussen het beschermd volume en het totale verliesoppervlak. Hoe lager de compactheid, hoe hoger en dus ook hoe slechter het K-peil zal zijn. De totale milieu-impact wordt bekomen door de milieu-impact van alle levenscyclusfasen bij elkaar op te tellen. Deze ééngetalscore, uitgedrukt in milieupunten, wordt in deze studie voor elk scenario bepaald met behulp van de softwaretool SimaPro.

Opnieuw wordt een vergelijkende analyse uitgevoerd, waarbij dezelfde vraag wordt onderzocht: Hoe verhoudt renovatie zich tot herbouw op vlak van milieu-impact?



Figuur 27: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's

Op Figuur 27 zijn de herbouwscenario's in het geel aangeduid en de renovatiescenario's in de overige kleuren. De renovatiescenario's waarbij één constructiedeel gerenoveerd wordt, zijn aangeduid in oranje. Bij de scenario's in het blauw worden twee constructiedelen gerenoveerd, bij de scenario's in het rood drie en bij de scenario's in het roze vier. Zoals eerder aangehaald, zijn de vier constructiedelen die gerenoveerd kunnen worden het dak, de ramen, de buitenmuren en de vloer op volle grond.

De bestaande toestand van de rijwoning is aangeduid met een zwart kruis en bevindt zich rechtsboven op de grafiek. Het K-peil van de rijwoning bedraagt 181 en de totale milieu-impact 6691,1 milieupunten. De totale milieu-impact van de bestaande toestand omvat de opfrissingen aan het begin van de referentieperiode, de vervangingen die moeten gebeuren gedurende 60 jaar, de milieu-impact t.g.v. het energiegebruik en de milieu-impact van de afbraak van de volledige woning na 60 jaar. Niets doen, dus de woning noch renoveren noch heropbouwen, is de slechtste keuze vanuit milieuoogpunt aangezien dit scenario de hoogste totale milieu-impact en het hoogste K-peil heeft. Alle bestudeerde renovatie- en herbouwscenario's hebben een lager K-peil en ook een lagere milieu-impact.

Zowel de renovatie- als herbouwscenario's kennen een min of meer lineair verloop met een positieve correlatie. De scenario's met een lager K-peil hebben een lagere milieu-impact en de scenario's met een hoger K-peil hebben een hogere milieu-impact. Hoe meer constructieonderdelen en hoe beter ze geïsoleerd worden, hoe meer isolatie er nodig is en dus hoe hoger de milieu-impact van de materialen. Maar tegelijkertijd zal meer isolatie ook zorgen voor minder warmteverliezen, waardoor de milieu-impact t.g.v. het energiegebruik afneemt. Aangezien de totale milieu-impact daalt naarmate de isolatiegraad toeneemt, of met andere woorden naarmate het K-peil afneemt, kan er besloten worden dat de afname in energie-impact groter is dan de toename in materiaalimpact. De energie-impact heeft dus duidelijk de overhand.

De waarde van het K-peil kent bij de renovatiescenario's een grotere spreiding dan bij de herbouwscenario's. De reden hiervoor is dat er geen eisen bestaan voor renovaties, terwijl er wel eisen bestaan voor nieuwe gebouwen. De renovatiescenario's lopen van een K-peil van 171 tot een K-peil van 20. Het renovatiescenario met het hoogste K-peil en bijgevolg ook de hoogste milieu-impact is dat waarbij enkel de vloer wordt aangepakt en voorzien wordt van 6 cm minerale wol. Bij de scenario's waarbij enkel de vloer gerenoveerd wordt, blijft de totale milieu-impact van de woning over een periode van 60 jaar zeer hoog. Als er slechts één constructieonderdeel gerenoveerd kan worden, wordt er best gekozen voor de buitenmuren omdat hierdoor de totale milieu-impact en het K-peil het meest gereduceerd worden. Als tweede wordt best het dak gerenoveerd en als derde de ramen. Indien er twee constructieonderdelen moeten aangeduid worden voor renovatie, wordt er best gekozen voor de renovatie van het dak en de buitenmuren. Het renoveren van de ramen en de vloer is de minst effectieve combinatie van twee constructieonderdelen, aangezien hierbij de totale milieu-impact het minst verlaagd wordt. Het is in de meeste gevallen zelfs beter om enkel de buitenmuren te renoveren in plaats van de ramen en de vloer. In het rood staan alle renovatiescenario's met drie gerenoveerde constructieonderdelen. Hierbij scoort één categorie overduidelijk beter dan de overige drie categorieën. Het gaat om de renovatiescenario's waarbij het dak, de ramen en de buitenmuren aangepakt worden. In sommige gevallen zal zelfs het aanpakken van deze drie constructiedelen leiden tot een lagere milieu-impact dan wanneer alle vier de constructiedelen worden aangepakt, maar over het algemeen kan gesteld worden dat het renoveren van alle constructiedelen de beste renovatiestrategie is vanuit milieuoogpunt. Het scenario met de laagste totale milieu-impact en laagste K-peil is het basisrenovatiescenario, zoals in 3.2 beschreven. Hierbij worden alle constructiedelen van de rijwoning gerenoveerd tot de richtwaarden van een passiefwoning.

De herbouwscenario's lopen ongeveer van een K-peil van 30 tot een K-peil van 20. De scenario's die zich rechtsboven in de curve bevinden, hebben een K-peil van 30 en een totale milieu-impact van rond de 2700 milieupunten. Dit zijn de scenario's waarbij de isolatiegraad matig is en waarbij de U-waarden juist onder de maximaal toegelaten waarden liggen. Rechtsboven bevinden zich ook alle scenario's waarbij de ramen voorzien worden van hoogrendementsglas, zoals aangeduid op bovenstaande grafiek. De scenario's die zich linksonder bevinden hebben een K-peil van 20 en een totale milieu-impact van rond de 2500 milieupunten. Dit zijn de scenario's waarbij de isolatiegraad zeer hoog is en de richtwaarden van een passiefhuis bijna of volledig gehaald worden. Hier bevinden zich ook de herbouwscenario's waarbij de ramen voorzien worden van drievoudige beglazing. Zowel op vlak van K-peil als op vlak van totale milieu-impact scoren deze herbouwscenario's dus beter dan de herbouwscenario's met een lagere isolatiegraad.

Wanneer zowel het herbouw- als het renovatiescenario een K-peil kleiner dan 55 bereiken, kan er opgemerkt worden dat het renovatiescenario altijd een lagere milieu-impact heeft dan het herbouwscenario, behalve voor het renovatiescenario waarbij het dak en de buitenmuren voorzien worden van 6 cm minerale wol en de ramen met enkele beglazing worden vervangen door ramen met hoogrendementsbeglazing. Dit scenario heeft een K-peil van 53 en een totale milieu-impact van 2577 milieupunten en is terug te vinden op de grafiek als het rode vierkantje dat apart ligt naast de andere rode vierkantjes. Het is in dat geval afhankelijk van welk herbouwscenario met dit specifieke renovatiescenario vergeleken wordt of dit renovatiescenario al dan niet beter scoort op vlak van milieu. De herbouwscenario's bereiken altijd een K-peil kleiner dan 55, terwijl dat voor de renovatiescenario's enkel het geval is voor de scenario's waarbij vier constructieonderdelen of waarbij het dak, de buitenmuren en de ramen (dus enkel de vloer niet) gerenoveerd worden. Uitgezonderd dat ene scenario, waarbij de vloer niet geïsoleerd wordt en de overige constructieonderdelen minimaal, zullen deze specifieke renovatiescenario's, hoe minimaal de renovatie bij die drie of vier constructiedelen ook is, altijd beter scoren dan eender welk herbouwscenario aangezien de totale milieu-impact altijd lager is. Als het renovatiescenario een K-peil bereikt dat hoger is dan 55, dan zal eender welk herbouwscenario een lagere score op vlak van milieu-impact behalen en dus altijd beter uit de vergelijking komen. Dit is het geval bij de renovatiescenario's waarbij één, twee of drie constructieonderdelen gerenoveerd worden, uitgezonderd de scenario's waarbij het dak, de ramen en de buitenmuren (dus de vloer niet) gerenoveerd worden.

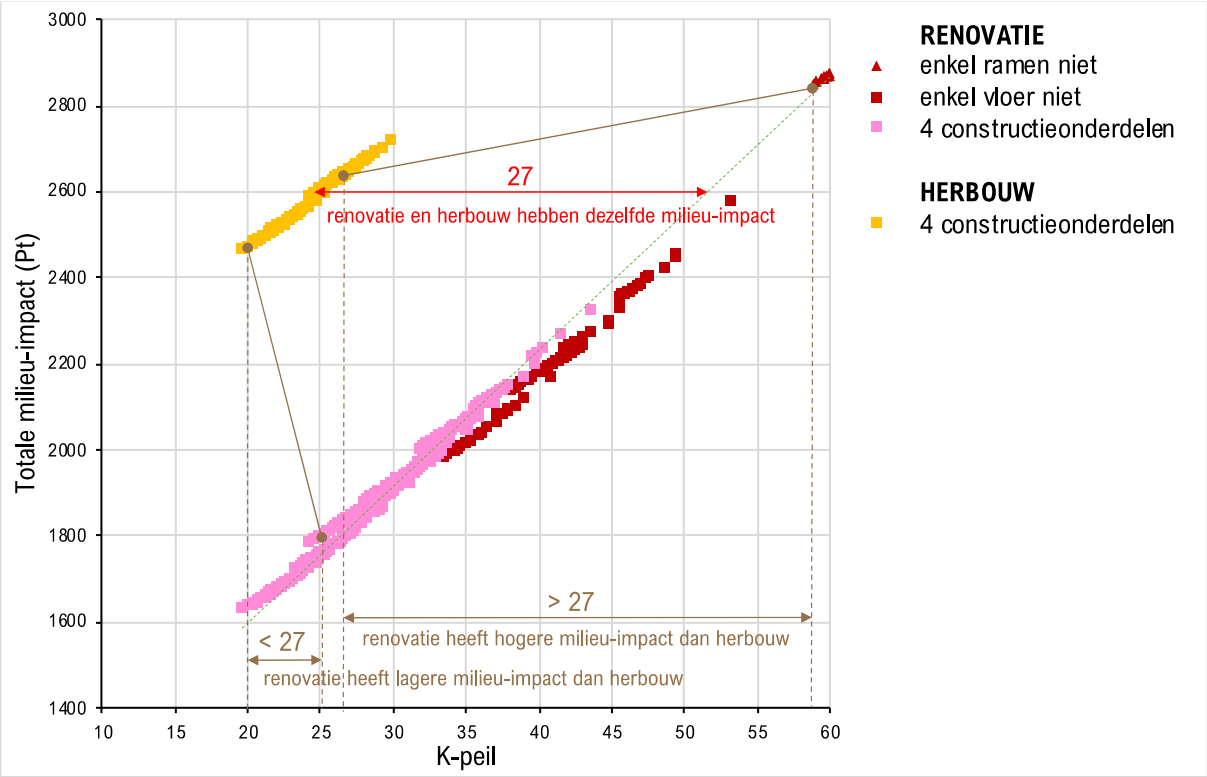
5.2.4 Kantelpunt

Wanneer er bij een renovatie gekozen wordt voor ofwel het plaatsen van isolatie bij de buitenmuren en het dak en het vervangen van het enkel glas bij de ramen (uitgezonderd het hiervoor besproken scenario) ofwel het verbeteren van de thermische prestatie van alle vier de constructiedelen, zal de gerenoveerde woning een lagere totale milieu-impact bekomen dan de nieuwe woning. Dus enkel in het geval van intense energetische renovatiewerken is een renovatie de betere optie vanuit milieuoogpunt.

Zoals hiervoor reeds vermeld, hebben voor eenzelfde K-peil de herbouwscenario's een veel hogere milieu-impact. De oorzaak hiervan ligt vooral bij de productie- en constructiefase van de heropbouw, die in vergelijking met de productie- en constructiefase van de renovatie een veel hogere milieu-impact heeft. Er moeten immers heel wat meer nieuwe materialen worden geproduceerd om een volledig nieuw gebouw op te trekken. Daardoor moet een nieuwe woning, om een gelijke milieu-impact te hebben als een gerenoveerde woning, een hogere isolatiegraad hebben of dus m.a.w. op thermisch vlak beter

presteren dan een gerenoveerde woning. Maar hoeveel performanter moet een nieuwbouwwoning dan zijn in vergelijking met een gerenoveerde woning om een betere milieuprestatie te hebben? Waar bevindt zich het kantelpunt tussen renovatie en herbouw op vlak van totale milieu-impact?

Het antwoord op die vraag wordt getoond op de onderstaande figuur, die een zoom van de bovenstaande grafiek voorstelt. Gemiddeld genomen moet een nieuwbouwwoning een K-peil hebben dat 27 punten lager is dan het K-peil van een gerenoveerde woning om dezelfde totale milieu-impact te bekomen. Er kan dus gesteld worden dat een kantelpunt gevonden wordt wanneer de gerenoveerde woning en de nieuwbouwwoning een verschil van 27 hebben in K-peil. Als het verschil in K-peil tussen een bepaald renovatie- en herbouwscenario 27 is, dan hebben beide scenario's een gelijke milieu-impact. Als het verschil in K-peil tussen een bepaald renovatie- en herbouwscenario groter is dan 27, zal herbouw een lagere milieu-impact hebben dan renovatie en dus beter uit de vergelijking komen. Als het verschil in K-peil tussen een bepaald renovatie- en herbouwscenario kleiner is dan 27, zal renovatie een lagere milieu-impact hebben en dus als beste optie naar voren komen.

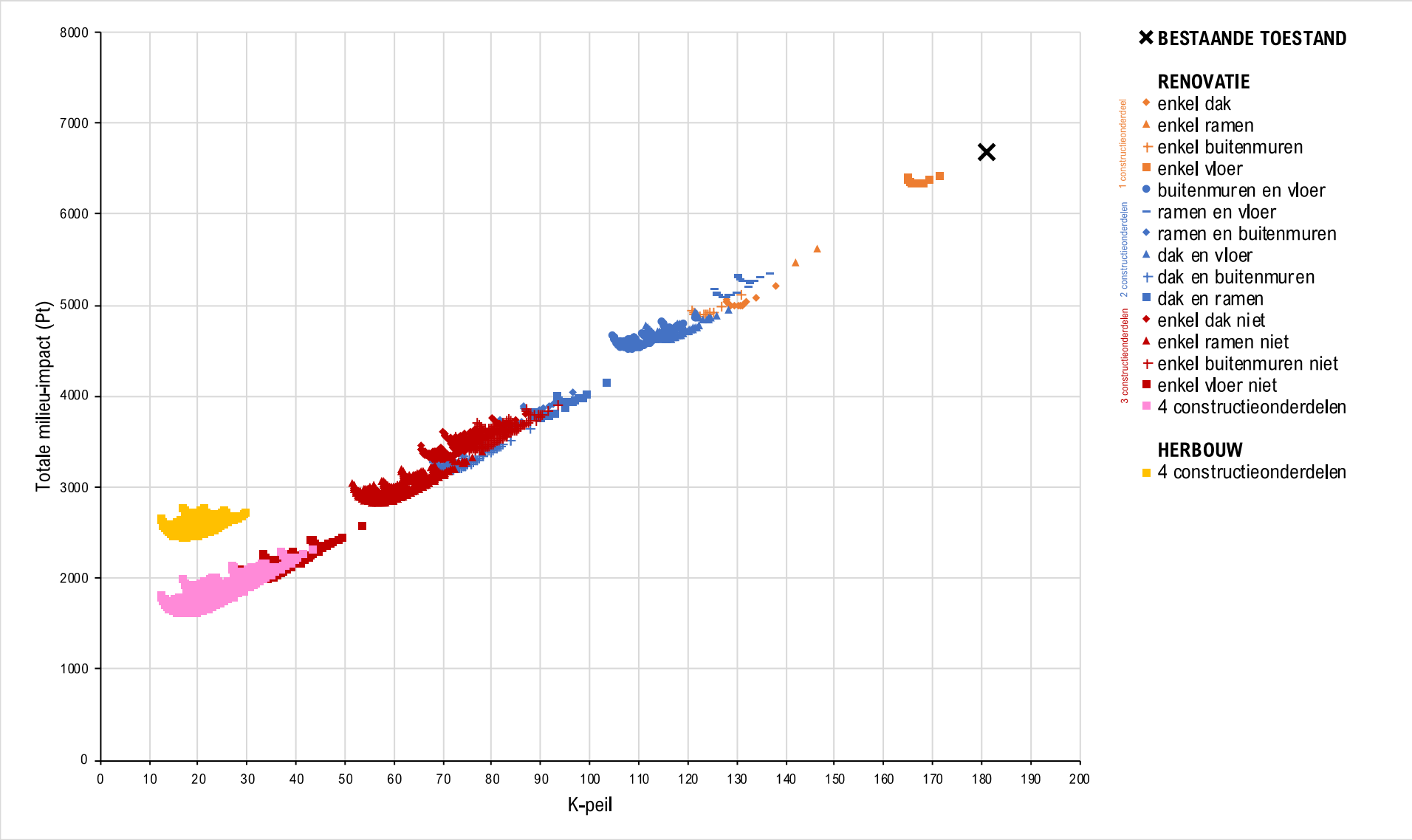


Figuur 28: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het gaat om een inschatting. Het kantelpunt wordt bij dit onderzoek gedefinieerd als het verschil in K-peil en dit wordt gemeten aan de hand van de horizontale afstand die zich tussen de renovatiescenario's en de herbouwscenario's bevindt. Deze horizontale afstand is niet over het volledige bereik hetzelfde maar varieert lichtjes, waardoor het nodig is om met een gemiddelde waarde te werken. Hiervoor wordt er door alle renovatie- en alle herbouwscenario's een lineaire trendlijn gegenereerd. Het kantelpunt wordt dan bepaald a.d.h.v. de horizontale afstand tussen deze twee lineaire trendlijnen. Op die manier wordt een zo goed mogelijke inschatting gemaakt van het kantelpunt tussen renovatie en herbouw.

5.2.5 Optimale isolatiedikte

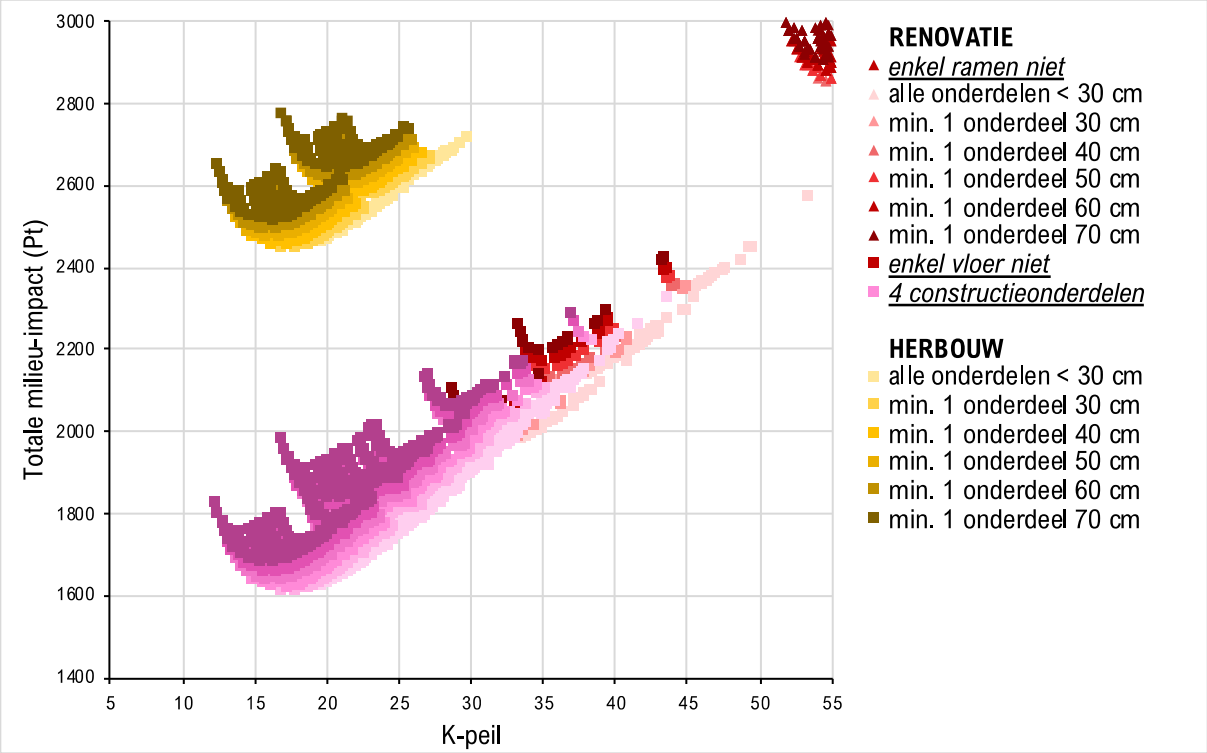
Op basis van het voorgaande deel lijkt het door het lineaire verloop van de curve alsof er geconcludeerd kan worden dat hoe meer er geïsoleerd wordt en dus hoe lager het K-peil is, hoe lager de totale milieu-impact van het gebouw zal zijn. In dit onderdeel wordt er onderzocht of de isolatiedikte een bepaalde limiet bereikt, waarbij de daling in energiegebruik niet meer opweegt tegen het extra materiaalgebruik, dus de extra isolatie. Om deze optimale isolatiedikte te zoeken, worden aan de reeds vooropgestelde renovatie- en herbouwscenario's een aantal onrealistische scenario's toegevoegd. Zo worden er extra renovatie- en nieuwbouwopties opgesteld voor het dak, de buitenmuren en de vloer op volle grond, waarbij een isolatiepakket van 30, 40, 50, 60 en 70 cm wordt voorzien. Voor het raam worden geen extra renovatie- en herbouwopties opgesteld. Uiteraard zijn dit isolatiediktes die in de praktijk niet gebruikt worden, maar die in dit onderzoek louter dienen als theoretische oefening om de optimale isolatiedikte te ontdekken. Onderstaande grafiek toont de originele en de uitgebreide renovatie- en herbouwscenario's met op de x-as het K-peil en op de y-as de totale milieu-impact.



Figuur 29: Uitbreiding renovatiescenario's en herbouwscenario's

De punten op de bovenstaande grafiek vertonen een duidelijke afbuiging. Er is geen lineair verband meer tussen het K-peil en de totale milieu-impact, dus een daling in K-peil betekent niet langer een daling in totale milieu-impact. Er is dus wel degelijk een limiet en het is dus vanuit milieuoogpunt niet zinvol om eindeloos veel te isoleren.

De onderstaande grafiek zoomt in op het onderste deel van Figuur 29. Aan de hand van verschillende kleurgradiënten wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende isolatiediktes. De punten in de lichtste kleur stellen telkens de originele renovatie- en herbouwscenario's voor, waarbij alle constructieonderdelen van realistische isolatiepakketten zijn voorzien. Wanneer minimum één constructieonderdeel van de drie voorzien is van 30 cm isolatie, wordt het renovatie- of herbouwscenario in een donkerdere kleur voorgesteld. De kleur wordt steeds donkerder naarmate de isolatiedikte van minstens één constructieonderdeel groter wordt. De punten met de donkerste kleur stellen de scenario's voor waarbij er minstens één constructieonderdeel voorzien is van 70 cm minerale wol. Vanaf dat het scenario in een donkerdere categorie kan onderverdeeld worden, wordt het ook daarbij gerekend. Een scenario waarbij bijvoorbeeld het dak 60 cm geïsoleerd wordt, de buitenmuren 30 cm en de vloer op volle grond 50 cm, wordt bij de categorie 'minimum één onderdeel 60 cm' gerekend.

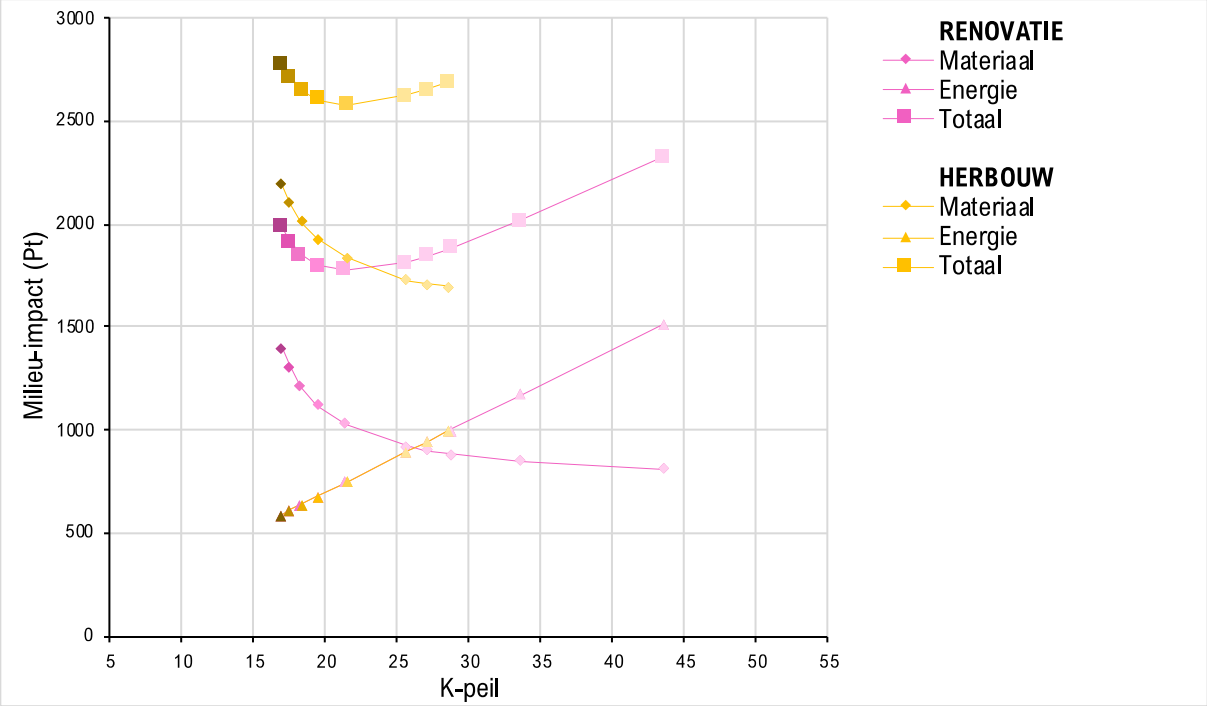


Figuur 30: Uitbreiding renovatiescenario's en herbouwscenario's zoom

Wanneer alle constructiedelen een isolatiedikte hebben die kleiner is dan 30 cm, blijven de curves van de renovatie- en herbouwscenario's lineair. Wanneer minstens één constructiedeel voorzien is van 30 cm isolatie, buigt de curve bij beide scenario's al wat af. Als het K-peil daalt, daalt de totale milieu-impact ook, maar dit gebeurt minder snel. Wanneer minstens één constructiedeel een isolatiedikte van 40 cm heeft, buigt de curve verder af. Vanaf dan betekent een daling in K-peil geen daling in totale milieu-impact meer. Wanneer minstens één constructiedeel voorzien wordt van 50, 60 of 70 cm minerale wol, wordt de afbuiging groter. Bij deze categorie geldt ook: hoe lager het K-peil, hoe hoger de totale milieu-impact. Aan de hand van bovenstaande grafiek kan dus geconcludeerd worden dat zowel voor de renovatie- als voor de herbouwscenario's een isolatiedikte van 30 cm de optimale dikte is, aangezien dikkere

isolatiepakketten resulteren in een hogere totale milieu-impact. Vanaf een isolatiedikte groter dan 30 cm zal de besparing in energiegebruik niet meer opwegen tegen het extra materiaalgebruik.

De onderstaande grafiek elimineert 10 renovatiescenario's en 8 herbouwscenario's uit de bovenstaande grafiek. Het zijn de scenario's waarbij de ramen voorzien zijn van hoogrendementsbeglazing en de overige drie constructieonderdelen (dak, buitenmuren en vloer op volle grond) van gelijke diktes minerale wol zijn voorzien. Van hoog naar laag K-peil komen de punten overeen met een isolatiedikte van 6, 10, 14, 16, 18, 30, 40, 50, 60 en 70 cm minerale wol. Voor de herbouwscenario's vervallen de isolatiediktes van 6 en 10 cm, aangezien hiermee de eisen voor nieuwbouw niet gehaald worden. De curves met ruitjes tonen de milieu-impact van deze scenario's t.g.v. het materiaalgebruik, of kortweg de materiaalimpact, en de curves met de driehoekjes tonen de milieu-impact t.g.v. het energiegebruik, of kortweg de energie-impact. De curves met vierkantjes tonen de totale milieu-impact, of de som van de materiaalimpact en de energie-impact, en zijn dus de twee curves die ook in bovenstaande grafiek terug te vinden zijn.



Figuur 31: Uitbreiding renovatiescenario's en herbouwscenario's zoom (materiaal- en energie-impact)

Voor zowel de renovatie- als herbouwscenario's stijgt de materiaalimpact naarmate het K-peil daalt. Hoe lager het K-peil, hoe meer isolatiemateriaal er nodig is en hoe hoger de milieu-impact t.g.v. materiaalgebruik zal zijn. Het is opmerkelijk hoe deze curve bij een lager K-peil afbuigt. Dit komt omdat een hoog K-peil met behulp van een beperkte hoeveelheid isolatiemateriaal sterk kan verlaagd worden, in tegenstelling tot een laag K-peil, waarbij reeds een grote hoeveelheid isolatiemateriaal aanwezig is. Hierbij zal het toevoegen van dezelfde beperkte hoeveelheid isolatiemateriaal zorgen voor een veel kleinere verlaging van het K-peil dan wanneer het K-peil hoog zou geweest zijn. De energie-impact daarentegen daalt naarmate het K-peil daalt en is wel een constante rechte. Een hogere isolatiegraad, dus een lager K-peil, zorgt voor minder warmteverliezen, waardoor de energie-impact afneemt. Door het feit dat bij een lager K-peil de materiaalimpact sneller stijgt dan dat de energie-impact daalt, bereikt de totale milieu-impact een minimum en is het dus vanuit milieuoogpunt duidelijk geen goed idee om onrealistisch dikke isolatiepakketten te voorzien.

6 VARIATIES OP DE CASESTUDY

De zonet gevonden resultaten zijn van toepassing op één specifieke casestudy. Om een groter deel van het gebouwenpark te kunnen beoordelen, worden in dit hoofdstuk een aantal parameters van de bestaande toestand van de casestudy gevarieerd, namelijk de isolatiegraad, de geometrie, de raamoppervlakte, de daktypologie, de dakopbouw, de gebouwtypologie en de vloerafwerking. Wat gebeurt er met de verhouding tussen renovatie en herbouw op vlak van milieu-impact en wat gebeurt er met het zojuist gevonden kantelpunt als voornoemde parameters worden gevarieerd? Voor elke variant wordt eerst een vergelijkende analyse gemaakt tussen het basisrenovatie- en basisherbouwscenario, waarbij voor beiden de richtwaarden voor een passiefwoning wordt gehaald. Vervolgens wordt de variatie toegepast op alle renovatie- en herbouwscenario's, en wordt er bestudeerd op welke manier het kantelpunt verschuift.

Het gaat hier dus telkens om een variatie van de bestaande toestand. Het is belangrijk om op te merken dat zowel de gerenoveerde woning als de nieuwbouwwoning steeds dezelfde eigenschappen hebben. Wanneer bijvoorbeeld de bestaande woning een grotere raamoppervlakte zou hebben, is dit ook het geval voor de gerenoveerde en de nieuwe woning. Dit wordt aangenomen om een eerlijke vergelijking tussen renovatie en herbouw te garanderen.

6.1 ISOLATIEGRAAD

6.1.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario

De eerste parameter die gevarieerd wordt, is de isolatiegraad van de casestudy. Bij de bestaande toestand van de casestudy zijn de buitenmuren, het dak en de vloer op volle grond niet geïsoleerd en zijn de ramen voorzien van enkel glas. Nu wordt de veronderstelling gemaakt dat één of meerdere constructieonderdelen bij de bouw van de woning in 1963 voorzien waren van een betere thermische kwaliteit of dat in de afgelopen 60 jaar één of meerdere constructieonderdelen van de woning reeds energetisch gerenoveerd werden.

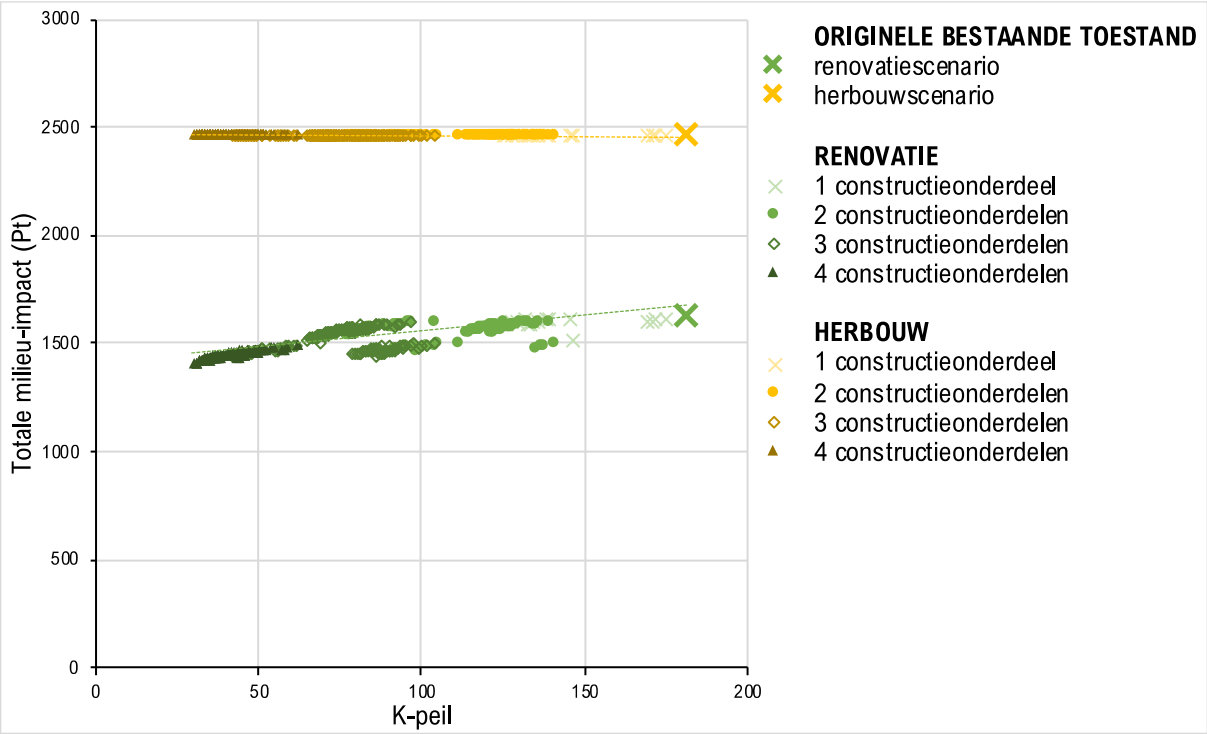
De variaties in isolatiegraad die bekeken worden, starten van de isolatiegraad van de originele bestaande toestand en lopen tot de standaardeis voor nieuwe gebouwen. Dit betekent maximale U-waarden van 0,24 W/m^{2}K voor de buitenmuren, het dak en de vloer op volle grond en 1,5 W/m^{2}K voor de ramen, met een maximaal toegelaten U-waarde voor de beglazing van 1,1 W/m^{2}K. De vooropgestelde variaties op de isolatiegraad van de buitenmuren en het dak zijn de volgende: 3, 6, 8, 10, 12 en 14 cm minerale wol. Bij de ramen wordt naast het originele enkel glas ook hoogrendementsglas bekeken. Voor de vloer op volle grond bestaan de variaties in isolatiedikte uit 3, 6, 8 en 10 cm minerale wol. Er worden dus zeven verschillende opties voor de bestaande toestand bekeken voor de buitenmuren en het dak, twee voor de ramen en vijf voor de vloer op volle grond. Wanneer al deze mogelijke opties met elkaar gecombineerd worden, worden er in totaal 490 bestaande toestand scenario's bekomen, waarbij de originele bestaande toestand is inbegrepen.

De mogelijke opties voor de bestaande toestand per constructieonderdeel en hun bijhorende U-waarden worden in de onderstaande tabel weergegeven.

CONSTRUCTIE-ONDERDEEL	OPTIE BESTAANDE TOESTAND	U-WAARDE (W/m²K)
BUITENMUREN	0 cm minerale wol (origineel)	2,59
	3 cm minerale wol	0,80
	6 cm minerale wol	0,48
	8 cm minerale wol	0,37
	10 cm minerale wol	0,31
	12 cm minerale wol	0,26
	14 cm minerale wol	0,23
RAMEN	enkel glas (origineel)	4,38 (U_{glas}=5,50)
	hoogrendementsglas	1,22 (U_{glas}=1,10)
DAK	0 cm minerale wol (origineel)	2,27
	3 cm minerale wol	0,77
	6 cm minerale wol	0,46
	8 cm minerale wol	0,37
	10 cm minerale wol	0,30
	12 cm minerale wol	0,26
	14 cm minerale wol	0,23
VLOER OP VOLLE GROND	0 cm minerale wol (origineel)	0,73
	3 cm minerale wol	0,45
	6 cm minerale wol	0,32
	8 cm minerale wol	0,27
	10 cm minerale wol	0,24

Tabel 4: Opties bestaande toestand per constructieonderdeel

Op de onderstaande grafiek worden al deze bestaande toestand scenario's met het passieve renovatiescenario en herbouwscenario gecombineerd. Renovatie wordt opnieuw afgebeeld in het groen, herbouw in het geel. Op de x-as staat het K-peil van de bestaande toestand en op de y-as de totale milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario. Aan de hand van deze grafiek kan de verandering van de totale milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario bestudeerd worden in functie van de isolatiegraad van de bestaande toestand.



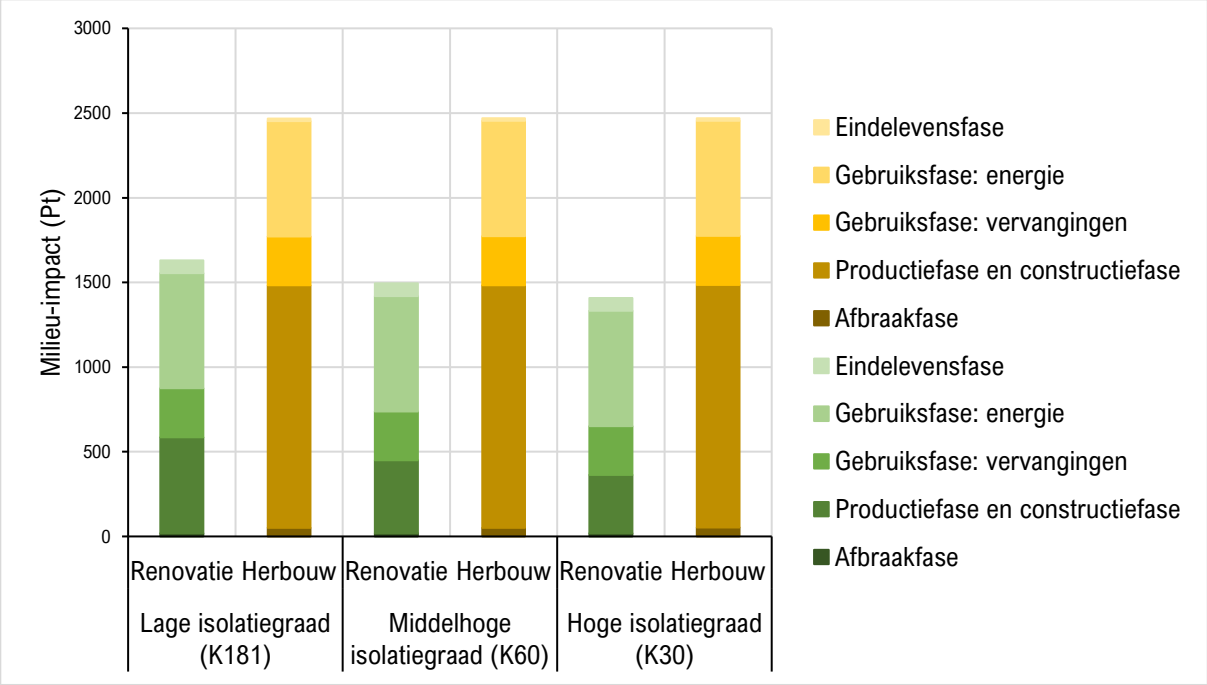
Figuur 32: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (variatie isolatiegraad)

Bij zowel renovatie als herbouw is het zo dat hoe meer constructieonderdelen er reeds voorzien zijn van thermische isolatie, hoe lager het K-peil van de bestaande toestand in het algemeen is. Het is wel mogelijk dat een bepaalde bestaande toestand waarbij er bijvoorbeeld drie constructieonderdelen van veel isolatie zijn voorzien, een lager K-peil bereikt dan een andere bestaande toestand waarbij er bijvoorbeeld vier constructieonderdelen van heel weinig isolatie zijn voorzien.

Bij de herbouwscenario's loopt de curve vrij constant. Wanneer de bestaande woning voorzien is van goed geïsoleerde constructieonderdelen, zal de milieu-impact nog altijd even hoog zijn dan wanneer de bestaande toestand thermisch in zeer slechte staat verkeert. Dit valt logisch te verklaren. Aangezien bij herbouw aan het begin van de werken de bestaande woning afgebroken wordt, is de impact van een hogere isolatiegraad bij de bestaande toestand beperkt. Het heeft zelfs een nadelig effect op de milieu-impact van herbouw, aangezien er meer afgebroken moet worden. Dit valt echter nauwelijks op in de curve op de grafiek, omdat de afbraakfase slechts een zeer geringe impact heeft op het milieu ten opzichte van de andere fasen van de levenscyclus.

Bij de renovatiescenario's loopt de curve niet constant en is er een duidelijke daling in milieu-impact zichtbaar naarmate de bestaande toestand een betere thermische prestatie heeft. In tegenstelling tot de herbouw waarbij alles van de bestaande toestand afgebroken wordt, gaan de renovatiewerken verder op de bestaande toestand. Hoe meer constructieonderdelen een hogere isolatiegraad hebben, hoe minder extra isolatiemateriaal of nieuwe ramen er nog moeten voorzien worden bij de renovatie. Dit heeft tot gevolg dat er minder materiaal moet geproduceerd worden, waardoor de milieu-impact van het renovatiescenario lager zal zijn.

De invloed van een variërende isolatiegraad van de bestaande toestand op de verschillende levenscyclusfasen wordt duidelijk op onderstaande grafiek. Er worden drie woningen met een verschillende bestaande toestand met elkaar vergeleken: een woning met een lage isolatiegraad (K181), een woning met een middelhoge isolatiegraad (K60) en een woning met een hoge isolatiegraad (K30).



Figuur 33: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (drie verschillende isolatiegraden)

Ook op deze grafiek is zichtbaar dat een bestaande toestand met een hogere isolatiegraad zorgt voor een lagere milieu-impact van het renovatiescenario en een ietwat hogere milieu-impact van het herbouwscenario. Het verschil tussen de milieu-impact van het renovatiescenario en de milieu-impact van het herbouwscenario wordt dus groter naarmate de thermische prestatie van de bestaande toestand beter is. Wanneer de gerenoveerde woning en de nieuwe woning de passieve richtwaarden halen en er uitgegaan wordt van een originele bestaande toestand met een K-peil van 181, dan bedraagt het verschil in milieu-impact tussen renovatie en herbouw 838 milieupunten. Als de isolatiegraad van de bestaande toestand afneemt naar een K-peil van 60, stijgt het verschil in totale milieu-impact naar 976 milieupunten. Het grootste verschil in milieu-impact tussen renovatie en herbouw doet zich voor wanneer de bestaande toestand een isolatiegraad heeft die voldoet aan de standaardeisen van een nieuwbouwwoning. In die situatie bedraagt het verschil in totale milieu-impact 1063 milieupunten.

6.1.2 Kantelpunt

Hoeveel performanter moet een nieuwbouwwoning zijn om een betere milieuprestatie te hebben dan een gerenoveerde woning? Op deze vraag is reeds in 5.2.4 een antwoord gegeven, maar hoe verschuift dit kantelpunt wanneer de isolatiegraad van de bestaande toestand gevarieerd wordt?

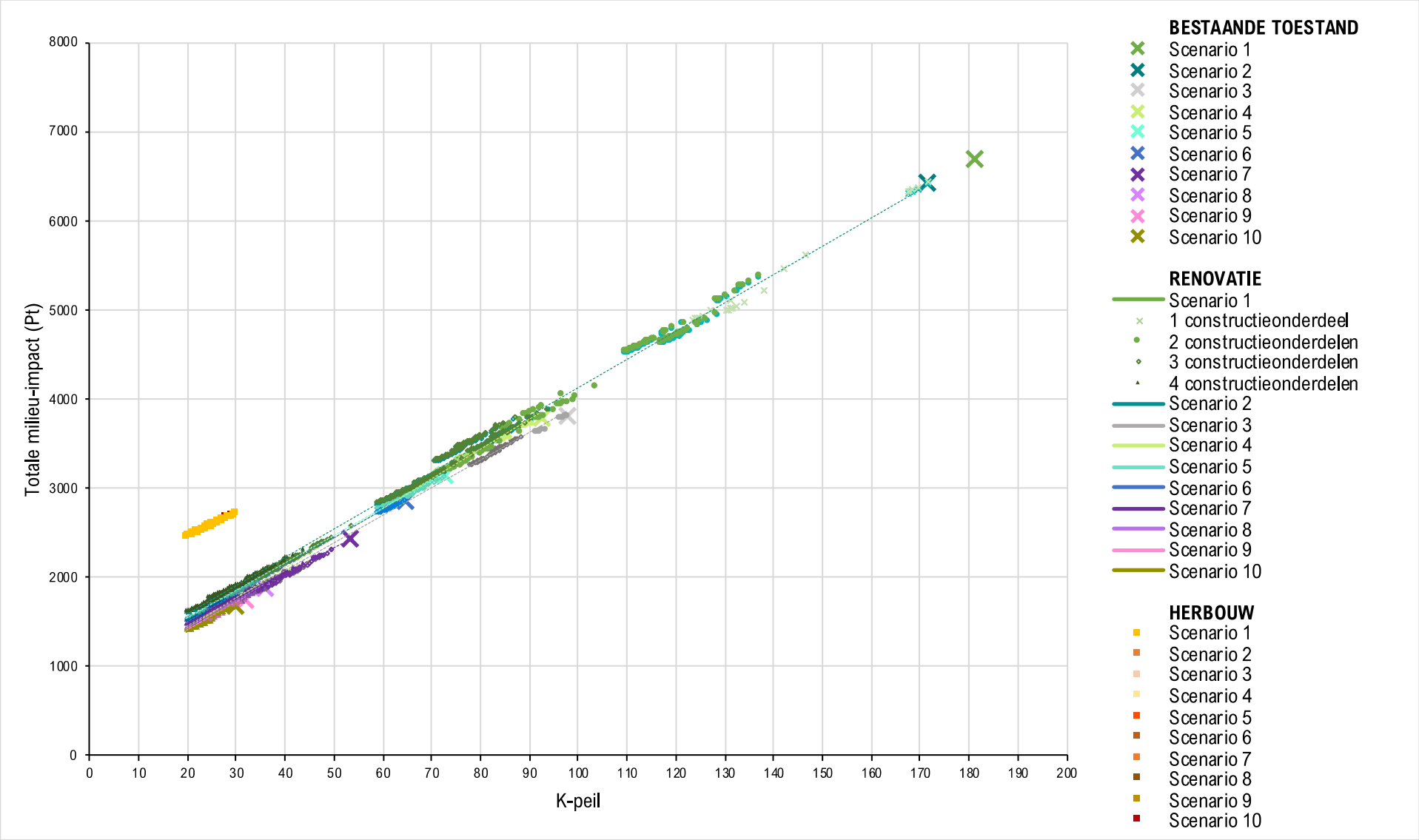
Wanneer alle mogelijke opties voor de bestaande toestand van elk constructieonderdeel met elkaar gecombineerd worden, ontstaan er, zoals eerder vermeld, in totaal 490 bestaande toestand scenario's. Van deze 490 bestaande toestand scenario's worden er tien scenario's gekozen en vervolgens gecombineerd met de 1151 renovatiescenario's en 200 herbouwscenario's, die reeds in 5.2 opgesteld zijn en ook door middel van een variatie in isolatiegraad zijn gemodelleerd. De tien gekozen scenario's voor de bestaande toestand staan opgelijst in de onderstaande tabel, waarbij minerale wol als MW wordt afgekort.

SCENARIO	DAK	RAMEN	BUITEN-MUREN	VLOER OP VOLLE GROND	AANTAL GEÏSOLEERDE CONSTRUCTIE-ONDERDELEN	K-PEIL
1	0 cm MW	enkel glas	0 cm MW	0 cm MW	0	181,11
2	0 cm MW	enkel glas	0 cm MW	6 cm MW	1	171,40
3	14 cm MW	HR glas	0 cm MW	0 cm MW	2	97,52
4	0 cm MW	HR glas	10 cm MW	0 cm MW	2	92,50
5	14 cm MW	enkel glas	6 cm MW	6 cm MW	3	72,44
6	14 cm MW	enkel glas	14 cm MW	10 cm MW	3	64,47
7	6 cm MW	HR glas	6 cm MW	0 cm MW	3	53,24
8	10 cm MW	HR glas	10 cm MW	6 cm MW	4	35,71
9	10 cm MW	HR glas	14 cm MW	10 cm MW	4	31,71
10	14 cm MW	HR glas	14 cm MW	10 cm MW	4	29,84

Tabel 5: Scenario's variatie isolatiegraad

Scenario 1 is de oorspronkelijke bestaande toestand van de casestudy, waarbij geen isolatie in het gebouw aanwezig is en de ramen voorzien zijn van enkel glas. Van de 490 mogelijkheden is dit het scenario met de laagste isolatiegraad en dus met het hoogste K-peil. Scenario 10 is daartegenover uit al de mogelijkheden het scenario met de hoogste isolatiegraad. Bij dit scenario voldoet de isolatiegraad van de bestaande toestand aan de opgelegde standaardeisen voor een nieuwbouw. De overige 8 gekozen bestaande toestand scenario's bevinden zich tussenin.

De renovatie- en herbouwscenario's voor deze tien verschillende bestaande toestand scenario's worden op de onderstaande grafiek geplot, waarbij op de x-as het K-peil wordt weergegeven en op de y-as de totale milieu-impact in milieupunten.

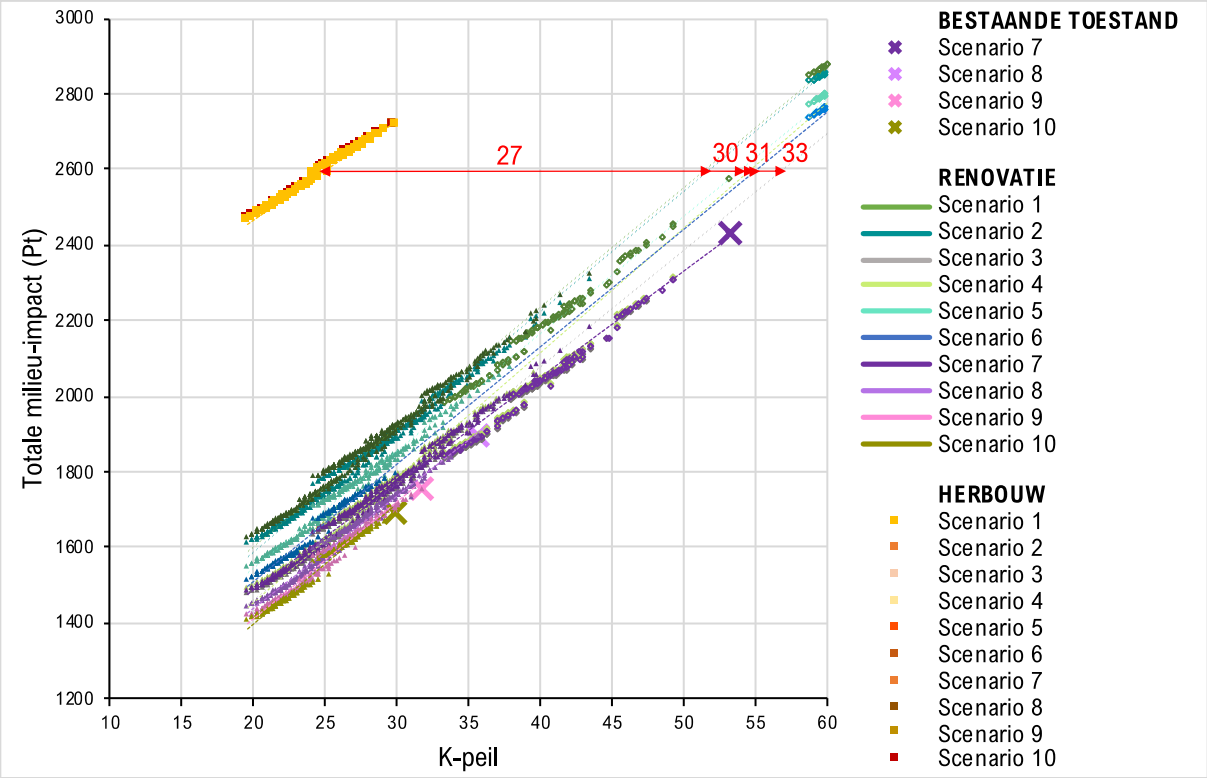


Figuur 34: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's (variatie isolatiegraad)

De herbouwscenario's staan in warme kleuren aangeduid (geel-oranje-rood-bruin). Zoals eerder is vastgesteld, heeft de variatie in isolatiegraad van de bestaande toestand weinig tot geen effect op de milieu-impact van de herbouwscenario's. Voor elk van de tien aangenomen bestaande toestand scenario's blijft de milieu-impact van de herbouwscenario's dan ook quasi gelijk, waardoor de curves overlappen en enkel de gele kleur van scenario 1 te zien is.

De renovatiescenario's worden weergegeven in koude kleuren (groen-blauw-paars-grijs). Hier valt er wel een verschuiving van de curve op te merken. De variatie in isolatiegraad van de bestaande toestand heeft bij renovatie duidelijk wel een impact. De donkergroene curve, wat de bovenste curve is, toont de milieu-impact van de 1151 verschillende renovatiescenario's wanneer bestaande toestand scenario 1 van toepassing is, of dus m.a.w. wanneer de bestaande toestand de oorspronkelijke is. Als de isolatiegraad van de bestaande toestand toeneemt, daalt de curve met renovatiescenario's, wat wijst op een afname van de totale milieu-impact. Bovendien wordt de curve ook korter, omdat de minder performante renovatiescenario's bij een beter geïsoleerde bestaande woning geen optie meer zijn. De geelbruine curve, wat de onderste curve is op de grafiek, toont de renovatiescenario's met als bestaande toestand scenario 10. Dit is het scenario met de hoogst mogelijke isolatiegraad van alle bestaande toestand scenario's. Deze renovatiescenario's hebben de laagste totale milieu-impact. Een hogere isolatiegraad bij de bestaande toestand leidt dus tot een lagere totale milieu-impact van de renovatie.

Als er wordt ingezoomd op het onderste deel van de bovenstaande grafiek, wordt het volgende bekomen.



Figuur 35: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom (variatie isolatiegraad)

Wanneer de isolatiegraad van de bestaande toestand is zoals die van de rijwoning in Gentbrugge, moet de nieuwbouwwoning 27 K-peil punten beter scoren dan de gerenoveerde woning om dezelfde totale milieu-impact te hebben. Wanneer scenario 2 als bestaande toestand wordt aangenomen moet het verschil in K-peil afgerond ook minstens 27 punten zijn opdat herbouw beter zou scoren dan renovatie.

Naarmate de isolatiegraad van de bestaande toestand toeneemt, wordt de afstand tussen beide scenario's groter en zal de nieuwbouwwoning nog performanter moeten zijn om dezelfde totale milieu-impact als de gerenoveerde woning te hebben. Wanneer scenario 4 of 5 als bestaande toestand wordt aangenomen, ligt het kantelpunt bij een verschil in K-peil van 30. Wanneer scenario 6 als bestaande toestand wordt aangenomen, ligt het kantelpunt bij een verschil in K-peil van 31 en wanneer scenario 3 wordt aangenomen bij een verschil in K-peil van 33. Bij de overige scenario's, namelijk 7, 8, 9 en 10, zijn er bij de bestaande toestand reeds drie of vier constructieonderdelen geïsoleerd. Bij scenario 7 zijn het dak, de ramen en de buitenmuren geïsoleerd en de vloer op volle grond niet. Bij scenario 8, 9 en 10 zijn alle vier de constructieonderdelen voorzien van isolatie. Als de bestaande toestand van de woning overeenkomt met één van deze scenario's, zal renovatie altijd de beste optie zijn en zal herbouw nooit beter scoren op vlak van milieu-impact.

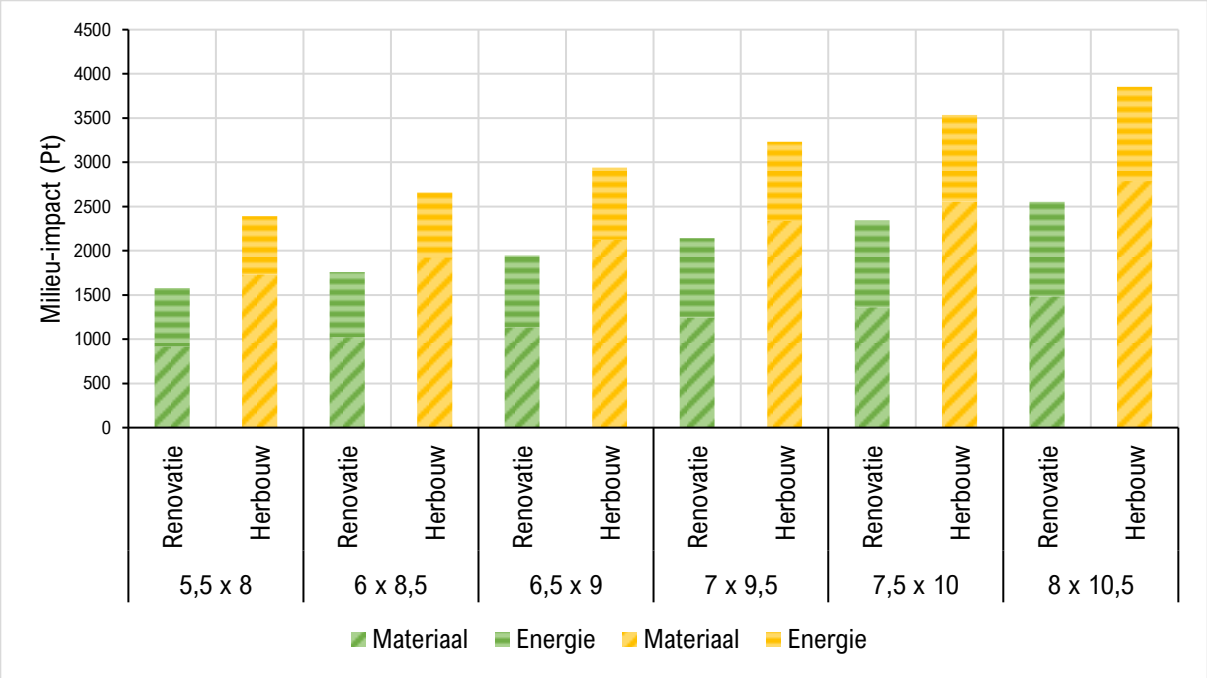
Algemeen kan er besloten worden dat hoe beter de thermische prestatie van de bestaande woning is, hoe performanter de nieuwbouwwoning moet zijn en hoe meer kans dat renovatie als beste optie uit de vergelijking komt. Vanaf dat er vier constructieonderdelen geïsoleerd zijn of drie constructieonderdelen en enkel de vloer niet, is renovatie zonder meer de beste optie. Er is één uitzondering, namelijk wanneer de vloer niet geïsoleerd wordt en de overige constructieonderdelen minimaal. Afbraak gevolgd door nieuwbouw is in die specifieke gevallen nooit een goede optie als er louter naar milieuprestatie wordt gekeken.

6.2 GEOMETRIE

6.2.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario

De tweede parameter die bij dit onderzoek gevarieerd wordt, is de geometrie van de casestudy, meer bepaald de breedte en de diepte. De woning heeft oorspronkelijk een breedte van 5,65 meter en een diepte van 8,14 meter. Welke invloed heeft het variëren van deze twee afmetingen op de vergelijking tussen renovatie en herbouw?

Onderstaande grafiek toont op de x-as een aantal variaties op de geometrie van de bestaande rijwoning. Per stap wordt zowel de breedte als de diepte met 0,5 m vergroot. De y-as geeft de totale milieu-impact weer van het basisrenovatie- en basisherbouwscenario, waarbij voldaan wordt aan de richtwaarden van een passiefhuis.

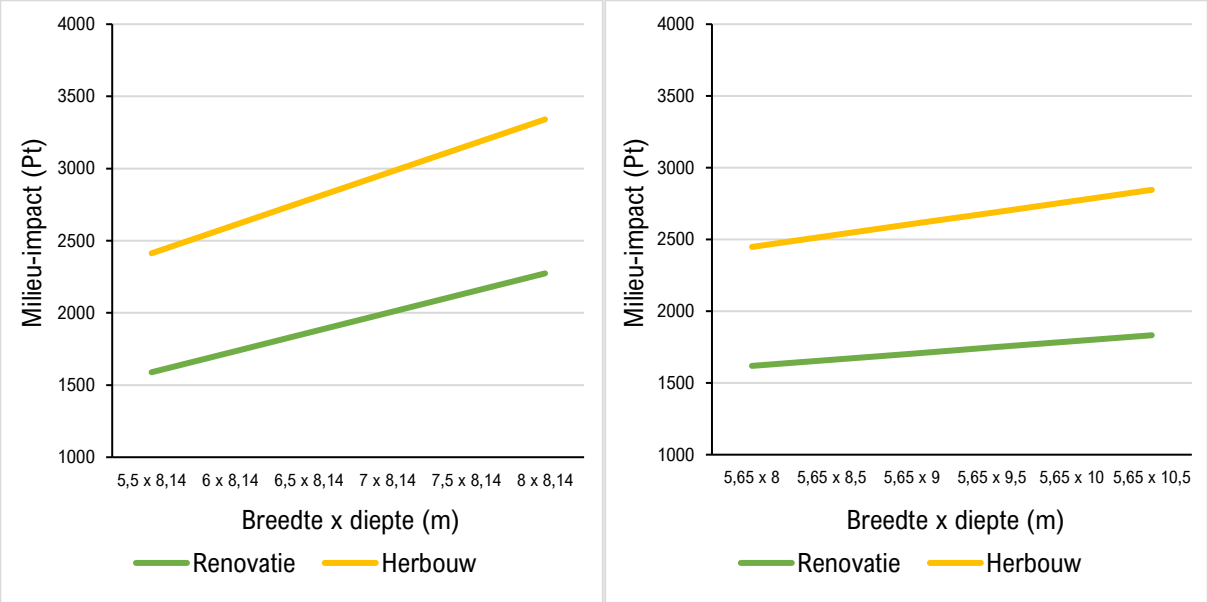


Figuur 36: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (variatie geometrie)

Wanneer zowel de breedte als de diepte stelselmatig vergroot worden, neemt de milieu-impact van het passieve renovatie- en herbouwscenario toe. Zowel de materiaalimpact als de energie-impact nemen toe. Er kan een recht evenredig verband worden vastgesteld tussen de grootte van de woning en de milieu-impact van de renovatie of herbouw. Hoe groter de woning, hoe groter de totale milieu-impact van de renovatie of herbouw zal zijn.

Op de bovenstaande grafiek is ook te zien dat een gelijke toename in breedte en diepte zorgt voor een grotere stijging in milieu-impact bij het herbouwscenario dan bij het renovatiescenario. Bij de kleine woning (5,5 x 8 m) heeft het herbouwscenario een totale milieu-impact van 2392 milieupunten, terwijl bij de grote woning (8 x 10,5 m) het herbouwscenario een totale milieu-impact heeft van 3855 milieupunten. Dit komt neer op een verschil van 1463 milieupunten. Het renovatiescenario daarentegen heeft bij de kleine woning een milieu-impact van 1578 milieupunten en bij de grote woning een milieu-impact van 2553 milieupunten, wat maar een verschil geeft van 975 milieupunten. Het nadelige effect van een grotere woning is dus meer voelbaar bij het herbouwscenario. Door de grotere dimensies van de bestaande toestand moeten er grotere hoeveelheden materialen afgebroken worden en vervolgens opnieuw geproduceerd worden. Aangezien de impact van deze fasen bij het herbouwscenario al groter was dan bij het renovatiescenario, zal deze door de toename in dimensies nog groter worden en zal bijgevolg het verschil met het renovatiescenario groeien.

Wat gebeurt er wanneer enkel de breedte of enkel de diepte van de rijwoning groter wordt? Op de onderstaande grafieken wordt het resultaat getoond. Op de linkse figuur wordt de totale milieu-impact van het passieve renovatie- en herbouwscenario weergegeven voor een constante diepte en variërende breedte, en op de rechtse figuur voor een constante breedte en een variërende diepte. De breedte en de diepte worden telkens vergroot per halve meter.

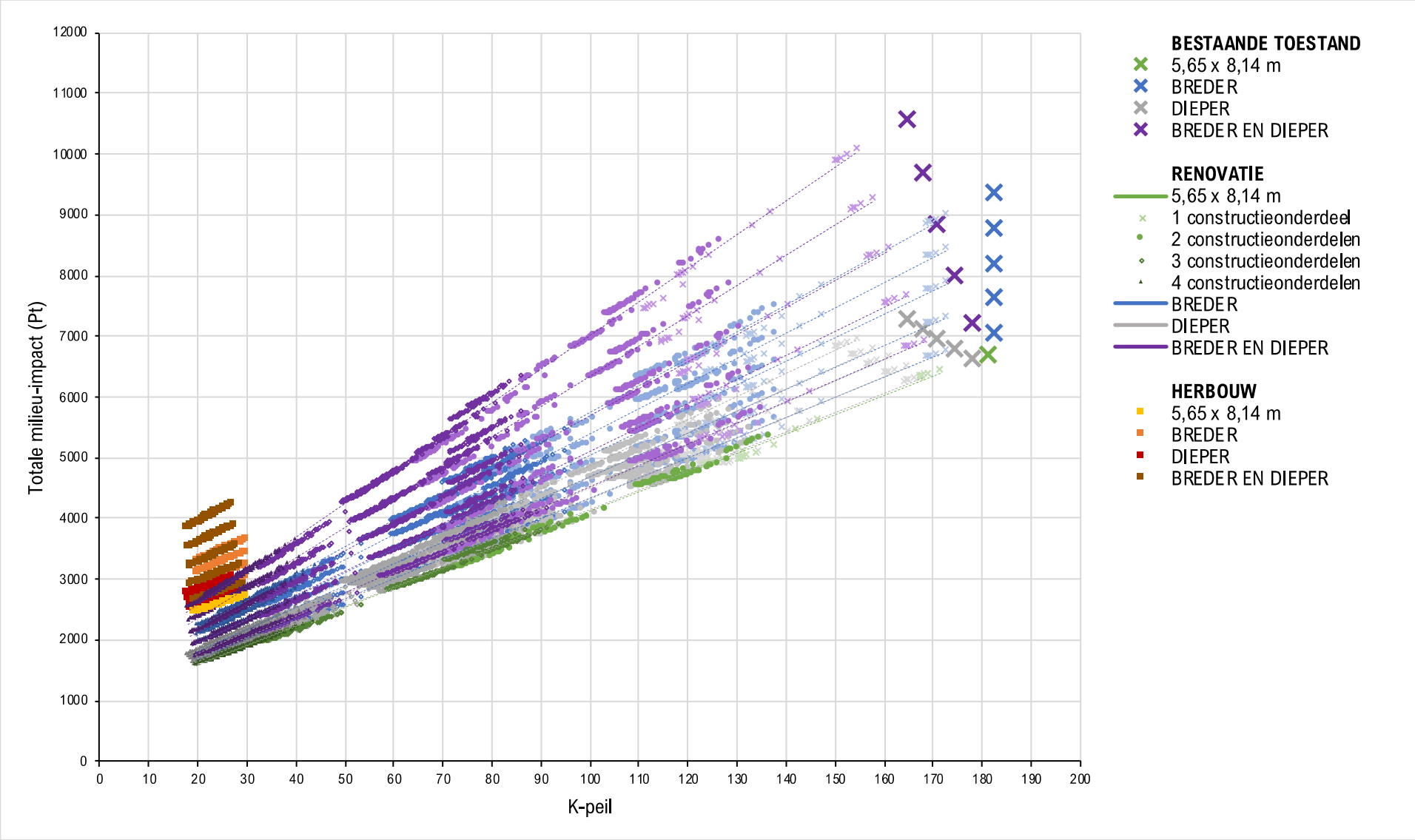


Figuur 37: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (constante diepte (links) en constante breedte (rechts))

Wanneer enkel de breedte van de rijwoning vergroot wordt en de diepte constant blijft, neemt de milieu-impact van zowel renovatie als herbouw sterker toe dan wanneer enkel de diepte van de rijwoning vergroot wordt en de breedte constant blijft. Een wijziging in de breedte van de rijwoning heeft dus een sterkere invloed op de milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario. Dit valt te verklaren aan de hand van de constructieonderdelen die wijzigen bij een verandering in breedte of diepte van de rijwoning. Bij een verandering in de breedte wijzigt voornamelijk de oppervlakte van de buitenmuren, de ramen, het dak en de vloeren. Bij een verandering in de diepte wijzigt voornamelijk de oppervlakte van de gemene muren, het dak en de vloeren. Het is dus vooral het verschil tussen de milieu-impact van de gemene muur en die van de gevel (buitenmuren en ramen) die zorgt voor deze verschillende resultaten. En inderdaad, zoals te zien is op Figuur 19, heeft de gemene muur bij zowel het renovatie- als het herbouwscenario duidelijk een veel lagere milieu-impact dan de buitenmuren en de ramen samen. Een verandering in breedte, wat dus vooral een verandering in geveloppervlakte is, geeft dus een grotere wijziging in totale milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario dan een verandering in diepte.

6.2.2 Kantelpunt

Bij het vorige deel is er gekeken naar het effect van een variatie in geometrie op de milieu-impact van één renovatiescenario en één herbouwscenario, namelijk de scenario's waarbij voldaan is aan de passieve richtwaarden. Nu wordt dit veralgemeend naar alle in 5.2 vooropgestelde renovatie- en herbouwscenario's. Er wordt onderzocht wat het effect is van een verandering in breedte, een verandering in diepte en een verandering in breedte en diepte op de totale milieu-impact van al die scenario's. Dit gebeurt door telkens de breedte en diepte van de rijwoning in stappen van 0,5 meter te vergroten. Er worden 16 verschillende geometrieën bekeken: de originele, vijf bredere, vijf diepere en vijf grotere (dus breder en dieper). Het resultaat wordt weergegeven in de onderstaande grafiek.



Figuur 38: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's (variatie geometrie)

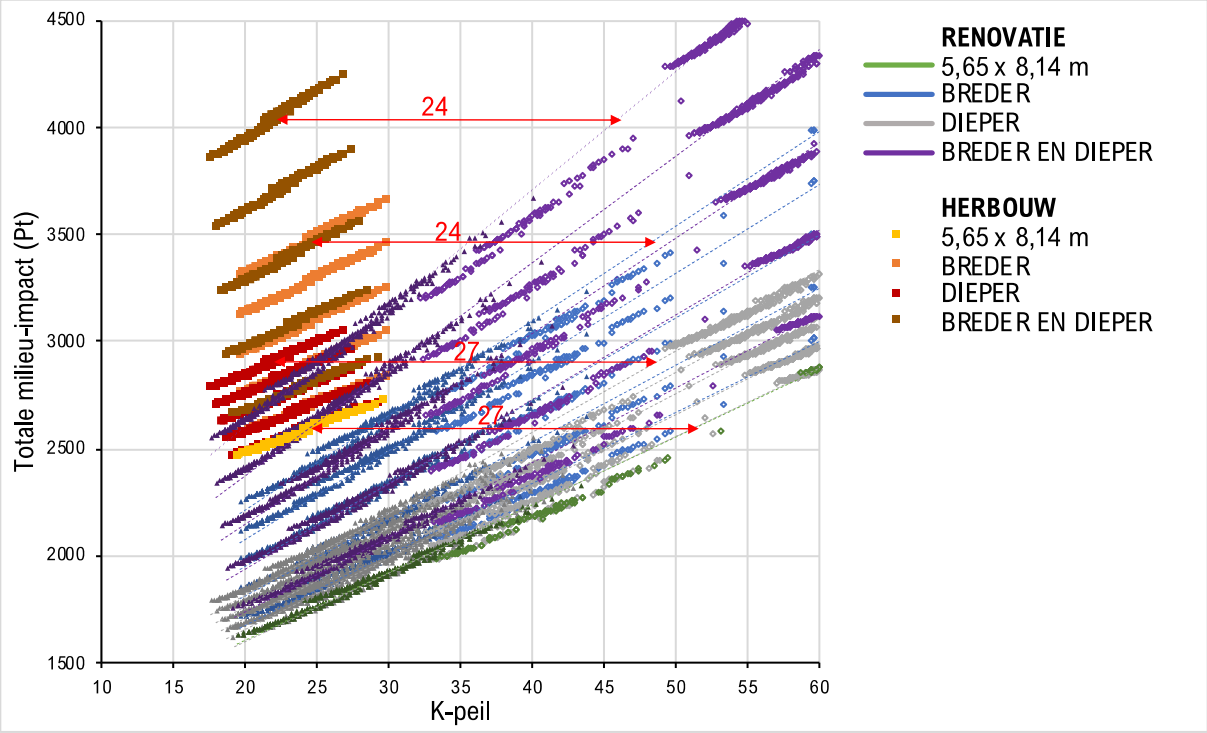
De renovatiescenario's staan opnieuw weergegeven in koude kleuren (groen-blauw-grijs-paars). De lange curve in het groen toont de milieu-impact van de verschillende renovatiescenario's zonder wijziging van de geometrie, dus waarbij de bestaande toestand een breedte heeft van 5,65 meter en een diepte van 8,14 meter. De overige lange curves geven de renovatiescenario's met wijziging van de geometrie weer. Een verdieping wordt aangeduid in het grijs, een verbreding in het blauw en een vergroting (verdieping en verbreding) in het paars. De herbouwscenario's staan opnieuw weergegeven in warme kleuren (geel-oranje-rood-bruin). De korte curve in het geel toont de milieu-impact van de verschillende herbouwscenario's zonder wijziging van de geometrie. De overige korte curves geven de herbouwscenario's met wijziging van de geometrie van de bestaande toestand weer. Een verdieping wordt aangeduid in het rood, een verbreding in het oranje en een vergroting (verdieping en verbreding) in het bruin.

Bij zowel de renovatie- als herbouwscenario's zorgt een vergroting voor de grootste toename in milieu-impact, en zoals ook in het vorige deel is vastgesteld, heeft een verbreding een grotere invloed op de milieu-impact dan een verdieping. De laagste milieu-impact is wanneer de geometrie niet gewijzigd wordt en de afmetingen van de rijwoning dus het kleinste blijven.

Een bijkomend aspect dat opvalt bij de renovatiescenario's is dat naarmate het K-peil groter wordt, het nadelig effect van een verdieping, verbreding of vergroting op de milieu-impact ook toeneemt. Bij een renovatiescenario met K-peil 20 zal de milieu-impact bij een vergroting slechts in beperkte mate toenemen, maar bij een renovatiescenario met K-peil 150 is die toename heel wat groter. Hoe slechter de thermische prestaties van de gerenoveerde woning, hoe meer invloed een verandering in geometrie van de bestaande toestand heeft op de milieu-impact. De reden hiervoor is dat bij grotere dimensies de transmissieverliezen en dus ook de milieu-impact t.g.v. het operationeel energiegebruik zal toenemen doordat het warmteverliesoppervlak groter is. Dit effect is het grootst bij een woning die breder en dieper is en het kleinst bij een woning die dieper is. Bij een grotere (dus bredere en diepere) woning zal het verliesoppervlak van de volledige gebouwschil, namelijk de gevel (buitenmuren en ramen), het dak en de vloer op volle grond, vergroten. Bij een bredere woning zijn het dezelfde constructieonderdelen waarvan de oppervlakte vergroot, maar in mindere mate, en bij een diepere woning zal enkel het verliesoppervlak van het dak en de vloer op volle grond vergroten. Dus als de gerenoveerde woning een zeer slechte thermische prestatie heeft, heeft de woning veel transmissieverliezen en zal de milieu-impact hoger zijn. Als het verliesoppervlak dan nog groter wordt, door een variatie in geometrie, heeft dat dus een slechte invloed op de milieu-impact.

Bovendien valt het ook op dat de renovatie- en herbouwscenario's van een bredere woning over het algemeen een lichtjes hoger K-peil bereiken dan de renovatie- en herbouwscenario's van de kleine, originele woning. Dit is te wijten aan het verschil in compactheid, waarbij in de berekening van het K-peil rekening mee wordt gehouden. De compactheid van een gebouw is de verhouding tussen het beschermd volume en het totale verliesoppervlak. Hoe hoger de compactheid, hoe lager het K-peil. Bij een bredere woning daalt de compactheid, omdat het verliesoppervlak meer stijgt dan het beschermd volume waardoor het K-peil hoger zal zijn. De woningen die dieper zijn bereiken na renovatie of herbouw over het algemeen een lager K-peil, doordat de compactheid stijgt. Dit komt omdat het beschermd volume meer zal stijgen dan het verliesoppervlak. Hoe dieper de woning, hoe lager het K-peil van de renovatie- en herbouwscenario's zal zijn. Bij woningen die zowel breder als dieper zijn dan de originele toestand kan hetzelfde geconcludeerd worden.

In de onderstaande figuur wordt geïllustreerd hoe het kantelpunt verschuift als de geometrie van de bestaande toestand wijzigt.



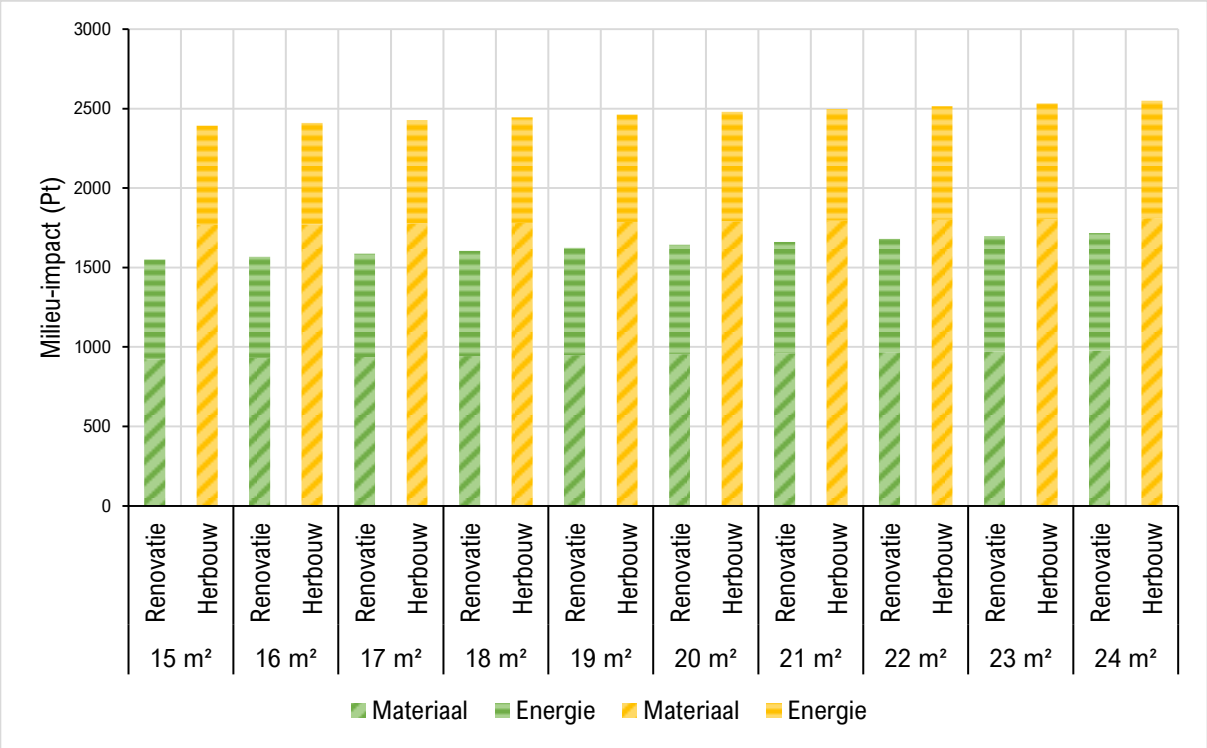
Figuur 39: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom (variatie geometrie)

Tussen de groene en de gele curve, die respectievelijk de renovatie- en herbouwscenario's voorstellen van de bestaande rijwoning waarbij de geometrie niet wijzigt, is het verschil in K-peil 27. Het K-peil van het herbouwscenario moet dus minstens 27 punten beter zijn dan het K-peil van het renovatiescenario om een betere milieuprestatie te hebben. Wanneer de diepte van de rijwoning vergroot wordt, ligt het kantelpunt tussen renovatie en herbouw ook op een verschil in K-peil van 27. Wanneer de breedte van de rijwoning vergroot wordt, ligt het kantelpunt tussen renovatie en herbouw op een verschil in K-peil van 24. Wanneer beide dimensies van de rijwoning vergroot worden, is een verschil in K-peil van 24 nodig om herbouw als beste optie naar voren te laten komen. Zoals hiervoor reeds aangehaald, is dit resultaat voornamelijk te wijten aan de energieverliezen die bij grotere dimensies toenemen. Een grotere woning betekent een grotere verliesoppervlakte. Wanneer de woning dan slecht geïsoleerd is, zullen de energieverliezen groot zijn, wat tot gevolg heeft dat de milieu-impact zal toenemen. Aangezien het K-peil van de herbouwscenario's gemiddeld lager ligt dan het K-peil van de renovatiescenario's, heeft dit aspect vooral invloed op de renovatiescenario's, wat in het voordeel speelt van herbouw. Een nieuwbouwwoning moet dus minder performant zijn in vergelijking met een gerenoveerde woning om dezelfde milieuprestatie te halen naarmate de bestaande toestand groter is.

6.3 RAAMOPPERVLAKTE

6.3.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario

Als derde variant op de bestaande toestand wordt de raamoppervlakte bestudeerd. Wat is de invloed van de totale raamoppervlakte van een woning op de keuze tussen renovatie en herbouw? Eerst wordt dit onderzocht op het renovatie- en herbouwscenario die voldoen aan de richtwaarden van een passiefhuis. De totale raamoppervlakte van de casestudy bedraagt oorspronkelijk 19,4 m². Als variaties worden vijf kleinere en vijf grotere raamoppervlaktes onderzocht, telkens in sprongen van 1 m².

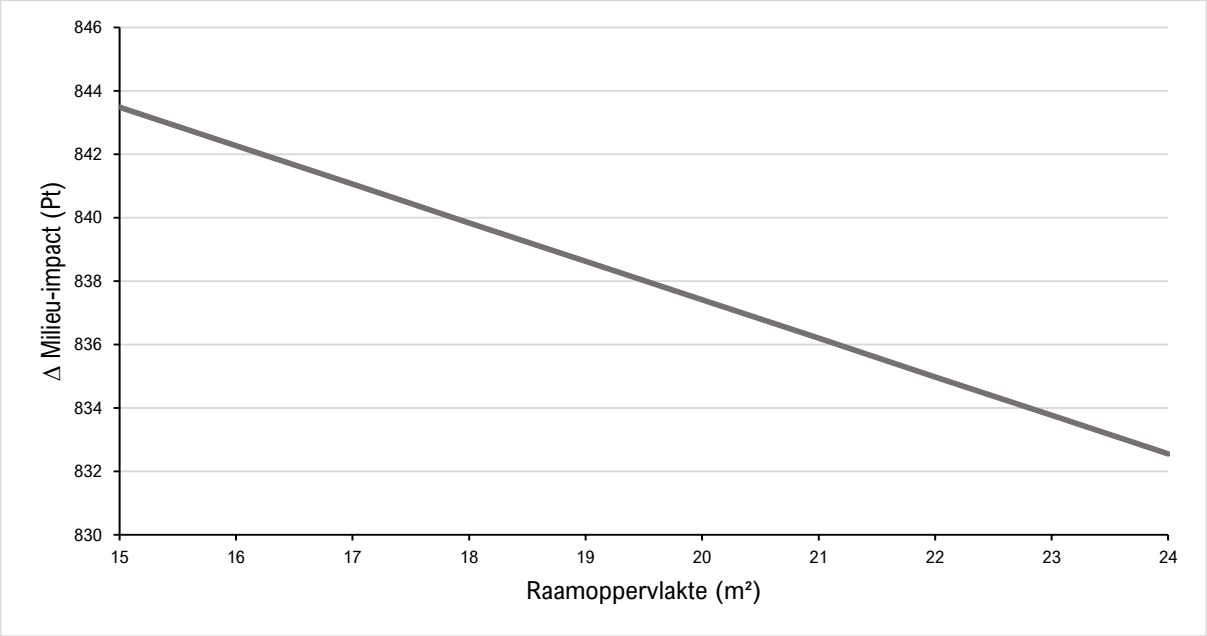


Figuur 40: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (variatie raamoppervlakte)

Op de bovenstaande grafiek is te zien hoe zowel de milieu-impact van het renovatiescenario als die van het herbouwscenario toeneemt, wanneer de raamoppervlakte van de bestaande toestand groter wordt. Er is een recht evenredig verband tussen enerzijds de totale milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario en anderzijds de raamoppervlakte van de woning. Als de oppervlakte van de ramen toeneemt, neemt de oppervlakte van de buitenmuren af. Doordat de milieu-impact van de ramen groter is dan die van de buitenmuren, wat op basis van Figuur 19 kan besloten worden, zal bij een toename in raamoppervlakte de totale milieu-impact stijgen. Dit geldt zowel voor renovatie als voor herbouw.

Het valt op dat de energie-impact sneller toeneemt dan de materiaalimpact. Dit komt omdat de buitenmuren, zoals Figuur 19 duidelijk weergeeft, een hogere materiaalimpact hebben dan de ramen, maar ook een veel lagere energie-impact. Bij het passieve renovatie- en herbouwscenario heeft het raam een U-waarde van 0,80 W/m²K, terwijl de buitenmuur een U-waarde van 0,15 W/m²K heeft. Omdat de raamoppervlakte toeneemt en de oppervlakte van de buitenmuren afneemt, zal de oppervlakte gewogen gemiddelde U-waarde van de rijwoning stijgen. Dit zal er dus voor zorgen dat de totale energie-impact van de woning stijgt, aangezien de energieverliezen toenemen.

De milieu-impact van zowel het renovatiescenario als het herbouwscenario neemt toe. Het lijkt alsof ze gelijkmatig toeneemt bij beide scenario's, maar is dat wel echt zo? Het antwoord op deze vraag is te zien op de onderstaande grafiek, die het verschil in milieu-impact tussen het renovatie- en herbouwscenario toont. Op de x-as staat de oppervlakte van de ramen en op de y-as het verschil in totale milieu-impact tussen renovatie en herbouw in milieupunten.

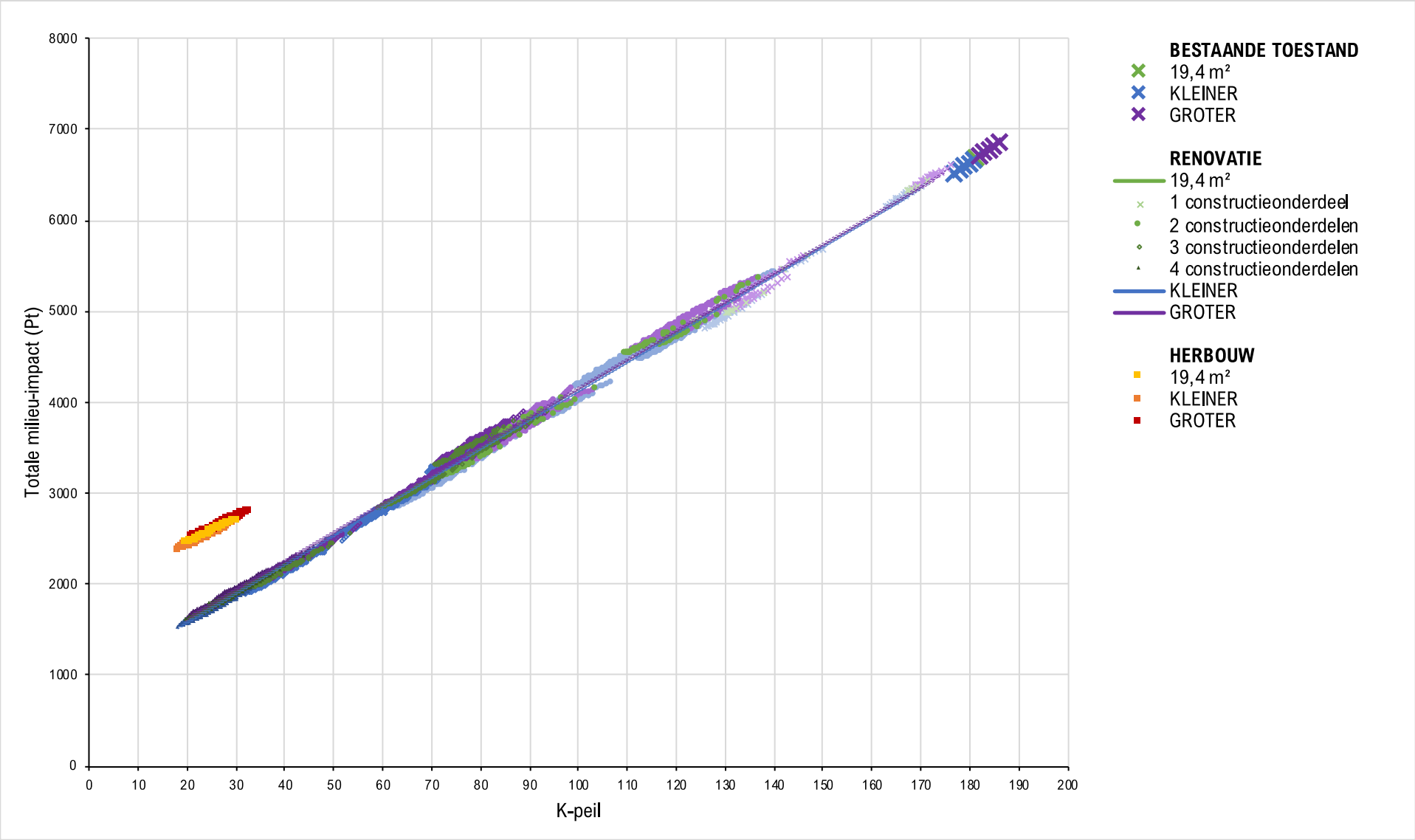


Figuur 41: Verschil in milieu-impact tussen renovatie en herbouw (variatie raamoppervlakte)

De verandering in totale milieu-impact bij renovatie en herbouw ten gevolge van verschillende variaties in raamoppervlakte is niet helemaal gelijk. Bij renovatie is de verandering in milieu-impact groter dan bij herbouw. Wanneer de raamoppervlakte vergroot, zal de milieu-impact bij renovatie dus meer toenemen dan bij herbouw. Het verschil in milieu-impact tussen beide scenario's wordt bijgevolg kleiner. Dit valt te verklaren als volgt. Bij herbouw worden in het begin de buitenmuren volledig afgebroken en heropgebouwd en worden op het einde (na 60 jaar) enkel de buiten- en binnenafwerkingslagen van de buitenmuren afgebroken. Bij renovatie wordt enkel de buiten- en binnenafwerking in het begin vernieuwd en wordt de volledige buitenmuur na 60 jaar gesloopt (samen met de rest van het gebouw). De productiefase heeft een grotere impact dan de eindelevensfase en omdat bij herbouw meer materialen geproduceerd moeten worden, is de milieu-impact van de buitenmuren bij herbouw groter dan bij renovatie. De ramen worden zowel bij renovatie als bij herbouw in het begin volledig afgebroken en opnieuw geproduceerd, waardoor de impact hiervan wel gelijk is bij beide scenario's. De milieu-impact gerelateerd aan de ramen heeft bij renovatie dus relatief gezien een groter aandeel. Een grotere raamoppervlakte en een kleinere oppervlakte aan buitenmuren zal dus nadeliger zijn voor het renovatiescenario dan voor het herbouwscenario.

6.3.2 Kantelpunt

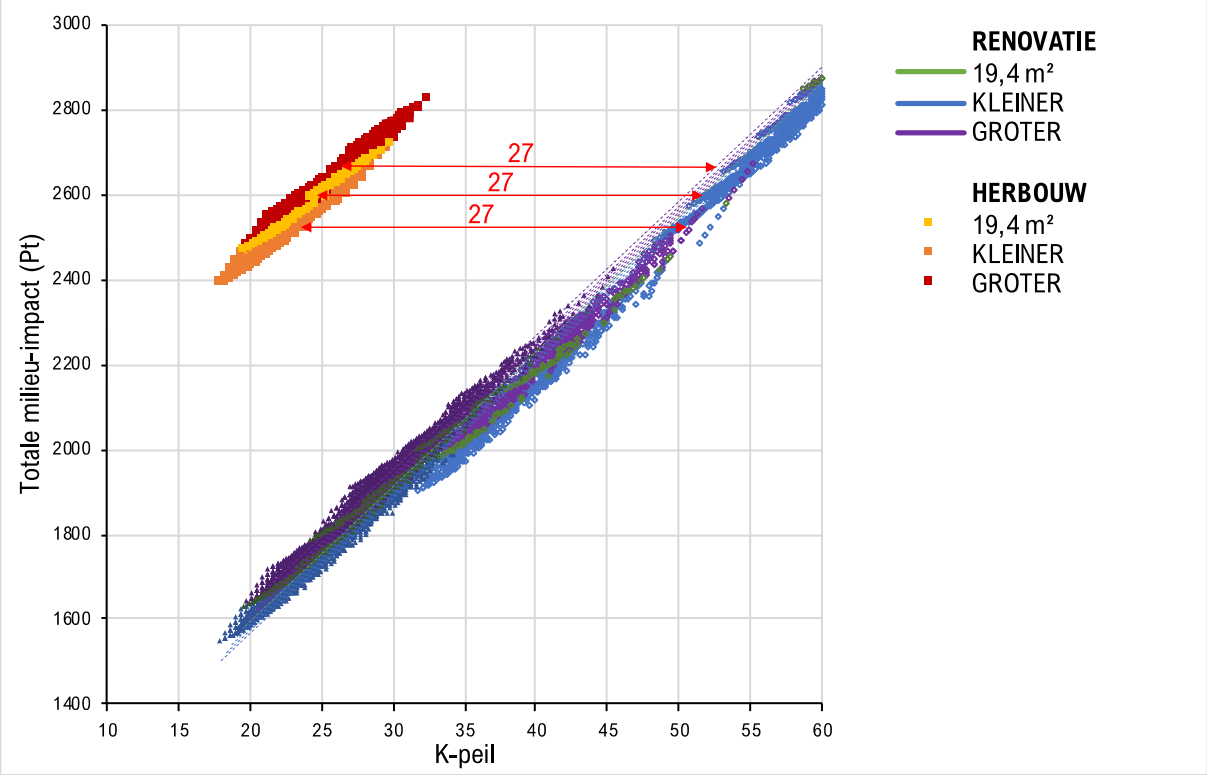
Vervolgens worden alle renovatie- en herbouwscenario's toegepast op de bestaande toestand scenario's met verschillende raamoppervlaktes. Er wordt opnieuw onderzocht of het kantelpunt verschuift en hoeveel K-peil punten de nieuwbouw performanter moet zijn dan de gerenoveerde woning om dezelfde milieu-impact te hebben.



Figuur 42: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's (variatie raamoppervlakte)

Op de bovenstaande grafiek is te zien dat de renovatie- en herbouwscenario's van een woning met een kleinere raamoppervlakte een lagere milieu-impact hebben dan wanneer de woning een grotere raamoppervlakte heeft. Daarnaast valt er een kleine verschuiving in K-peil op te merken. Woningen met een kleinere raamoppervlakte, zullen over het algemeen een lager K-peil hebben dan woningen met een grotere raamoppervlakte. Dit komt omdat de U-waarde van de ramen veel hoger is dan die van de buitenmuren en dit heeft een invloed op de gemiddelde U-waarde die op zijn beurt het K-peil beïnvloedt.

De invloed van een andere raamoppervlakte op de milieu-impact van renovatie en herbouw is echter zeer beperkt, waardoor de verschillende curves grotendeels overlappen. Onderstaande grafiek toont ook aan dat het kantelpunt niet verschuift. Het verschil is niet significant genoeg. De nieuwbouwwoning moet dus, onafhankelijk van de raamoppervlakte, minstens 27 K-peil punten performanter zijn om als beste optie uit de vergelijking te komen.

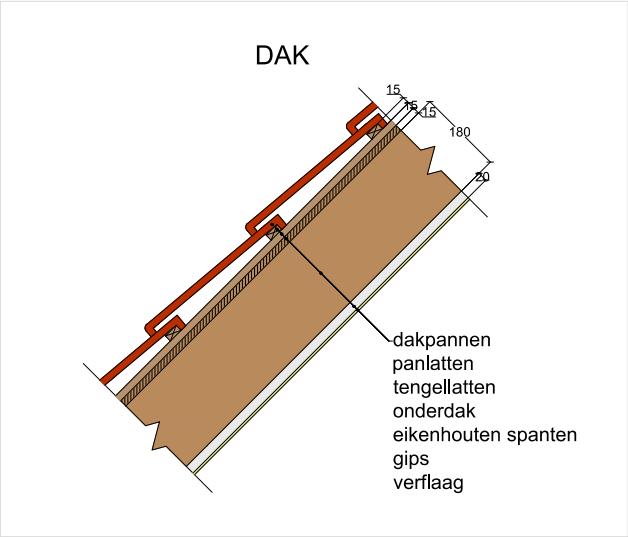


Figuur 43: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom (variatie raamoppervlakte)

6.4 DAKTYPOLOGIE

6.4.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario

De eengezinswoning in Gentbrugge heeft een plat dak, maar de overgrote meerderheid van de woningen in het Belgische gebouwenpark heeft een zadeldak. Om uit deze studie meer algemene conclusies te kunnen trekken, is het interessant om te kijken naar het effect van een andere daktypologie op de vergelijkende analyse tussen renovatie en herbouw. De aangenomen opbouw van het zadeldak wordt weergegeven op de onderstaande figuur.



Figuur 44: Opbouw zadeldak

Het dak heeft een helling van 45 graden en is opgebouwd uit eikenhouten spanten. De binnenzijde is afgewerkt met een gips- en verflaag en de buitenzijde met dakpannen. Er wordt verondersteld dat, net zoals bij het plat dak, er geen thermische isolatie is voorzien, waardoor slechts een U-waarde van 1,95 W/m²K bereikt wordt.

Door een verschillende opbouw zijn de renovatie- en herbouwscenario's van de woning met een zadeldak niet dezelfde als die van de woning met een plat dak. In tegenstelling tot het plat dak, waarbij de isolatie bovenop de structuur wordt geplaatst, wordt bij het zadeldak de isolatie tussen de houten spanten aangebracht. Wanneer het isolatiepakket dikker is dan 18 cm, wat de dikte is van de spanten, wordt de bijkomende isolatie aan de binnenzijde van de structuur geplaatst. De renovatieopties voor het zadeldak, die lopen tot aan de passieve richtwaarden, beschikken over 6, 10, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 en 28 cm minerale wol. De nieuwbouwopties voor het zadeldak, die lopen van de opgelegde standaardeisen tot aan de passieve richtwaarden, beschikken over 20, 22, 24, 26 en 28 cm minerale wol. Onderstaande tabellen geven de renovatie- en nieuwbouwopties voor het zadeldak en hun bijhorende U-waarden weer.

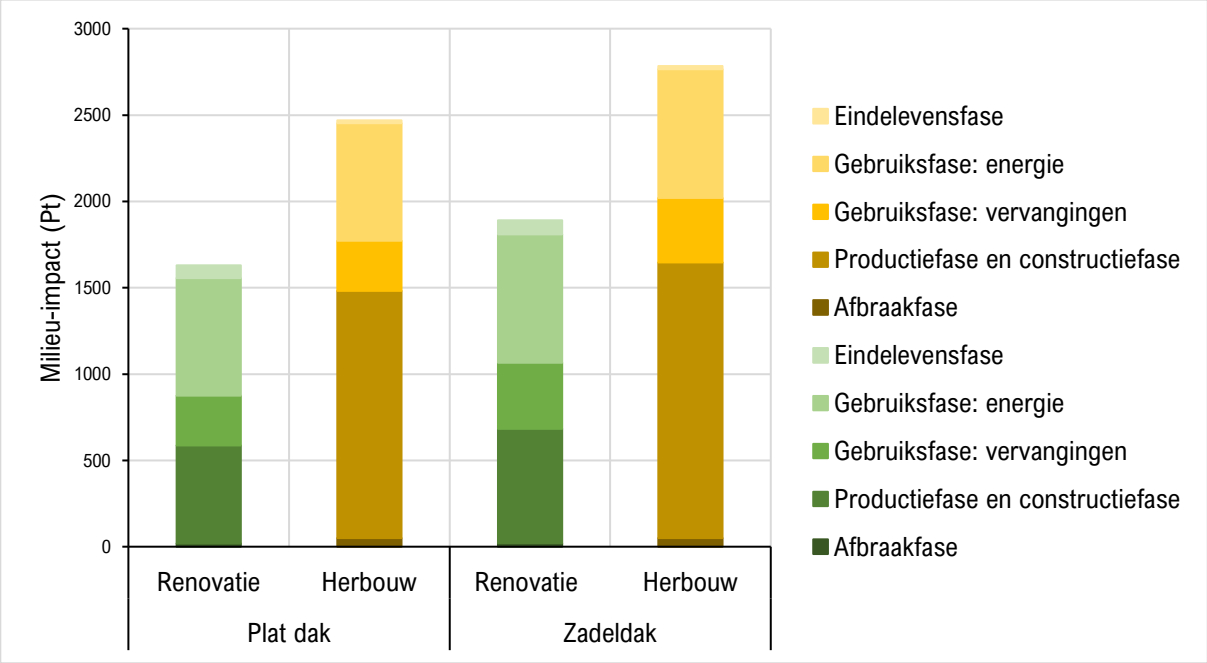
RENOVATIEOPTIE	U-WAARDE (W/m²K)
0 cm minerale wol (bestaande toestand)	1,95
6 cm minerale wol	0,52
10 cm minerale wol	0,38
14 cm minerale wol	0,31
16 cm minerale wol	0,29
18 cm minerale wol	0,27
20 cm minerale wol	0,23
22 cm minerale wol	0,20
24 cm minerale wol	0,18
26 cm minerale wol	0,16
28 cm minerale wol	0,15

Tabel 6: Renovatieopties zadeldak

NIEUWBOUWOPTIE	U-WAARDE (W/m²K)
20 cm minerale wol	0,23
22 cm minerale wol	0,20
24 cm minerale wol	0,18
26 cm minerale wol	0,16
28 cm minerale wol	0,15

Tabel 7: Nieuwbouwopties zadeldak

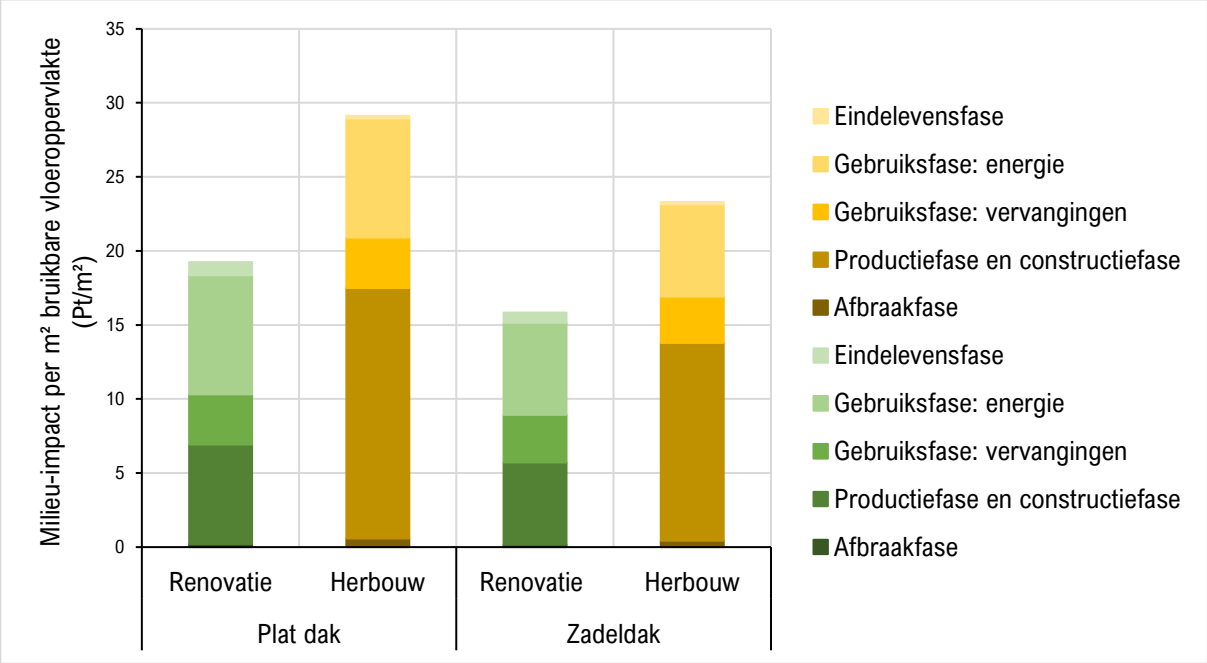
Onderstaande grafiek toont de vergelijking tussen het passieve renovatie- en herbouwscenario voor zowel het originele plat dak als het zadeldak.



Figuur 45: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (variatie daktypologie)

Bij zowel het renovatie- als het herbouwscenario is te zien dat de milieu-impact van elke fase lichtjes toeneemt wanneer de woning beschikt over een zadeldak. Op basis van de bovenstaande grafiek zou kunnen besloten worden dat de renovatie/herbouw van een woning met een zadeldak een hogere milieu-impact heeft dan die van een plat dak, maar die uitspraak klopt niet helemaal. Er is namelijk nog een bijkomend aspect waarmee bij deze vergelijking rekening moet worden gehouden. Bij een woning met een zadeldak neemt de oppervlakte van de gemene muren en de vloeren toe. Er komt namelijk langs beide zijkanten van de rijwoning een extra stuk gemene muur bij, aangezien de nok van het schuine dak een grotere hoogte bereikt dan het plat dak. Hierbij wordt er verondersteld dat ook de naastgelegen woningen voorzien zijn van een zadeldak met dezelfde vorm en grootte, waardoor het extra stuk muur gemeen is. Daarnaast komt er ook een extra vloerplaat of dus m.a.w. een extra verdieping bij, die zich bevindt op de positie van het plat dak. Deze twee extra zaken zorgen ervoor dat de hoeveelheid materiaal toeneemt. Daarnaast is ook de impact gerelateerd aan het energiegebruik hoger bij het zadeldak omdat er meer verliesoppervlak is dan bij het plat dak. Als een gevolg hiervan verhoogt de milieu-impact van elke fase.

Om een eerlijkere vergelijking te maken, wordt er rekening gehouden met de bruikbare vloeroppervlakte van beide opties. In geval van een plat dak bedraagt de totale bruikbare vloeroppervlakte 84,75 m² en in geval van een zadeldak 110,18 m², wat de som is van twee volledige bouwlagen met elk een bruikbare vloeroppervlakte van 42,38 m² en een zolderverdieping onder het dak met een bruikbare vloeroppervlakte van 25,43 m². De ruimte onder het hellend dak met een hoogte lager dan 1,5 m wordt niet meegerekend in de bruikbare vloeroppervlakte. Op de onderstaande grafiek wordt de milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario uitgedrukt in milieupunten per m² bruikbare vloeroppervlakte.

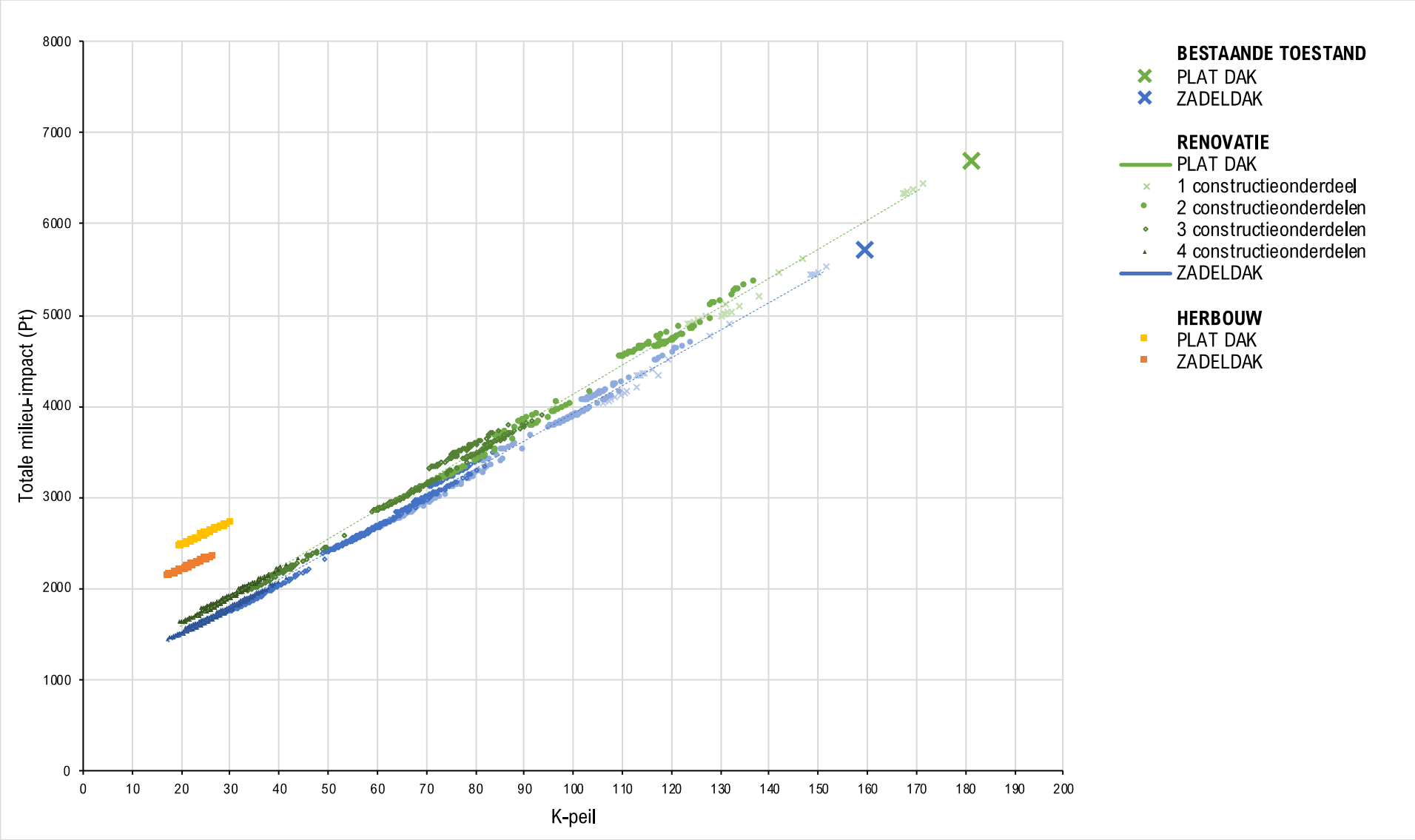


Figuur 46: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario per m² bruikbare vloeroppervlakte (variatie daktypologie)

Wanneer de milieu-impact per m² bruikbare vloeroppervlakte wordt bekeken, draaien de rollen om. Het passieve renovatie- en herbouwscenario van de woning met een zadeldak hebben niet langer de grootste milieu-impact als de extra verdieping, die door het zadeldak gecreëerd wordt, mee in rekening wordt genomen. Dit komt omdat met een beperkte hoeveelheid extra materiaal heel wat extra bruikbare vloeroppervlakte wordt gegenereerd.

6.4.2 Kantelpunt

In dit deel worden alle renovatie- en herbouwscenario's bepaald voor het scenario waar de bestaande woning een plat dak heeft en voor het scenario waar de bestaande woning een zadeldak heeft. Om een eerlijke vergelijking te bekomen worden de scenario's met een zadeldak gedeeld door de bruikbare vloeroppervlakte van de woning met een zadeldak en vervolgens vermenigvuldigd met de bruikbare vloeroppervlakte van de woning met een plat dak. Het resultaat wordt getoond in Figuur 47.

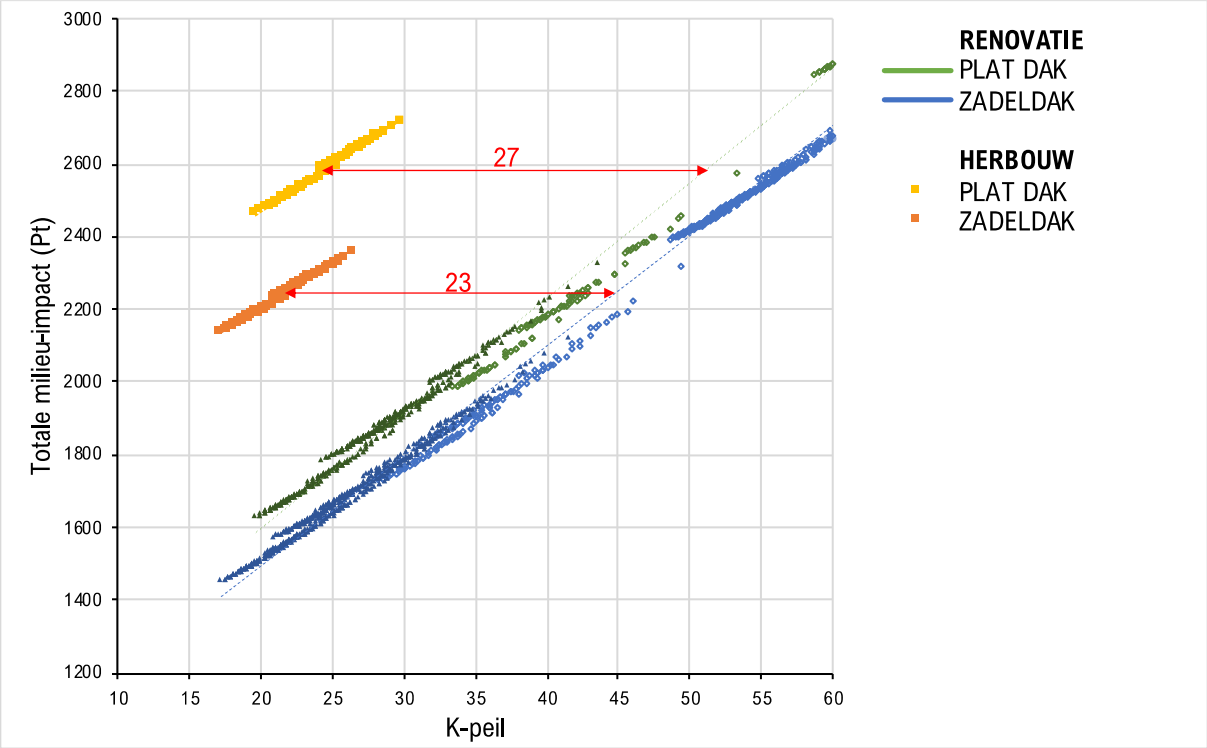


Figuur 47: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's (variatie daktypologie)

Zowel de milieu-impact van alle renovatiescenario's als van alle herbouwscenario's is lager als de bestaande toestand een zadeldak heeft. De afname in milieu-impact is groter bij de herbouwscenario's dan bij de renovatiescenario's. Dit valt te verklaren door het feit dat de productie van een houten zadeldak een lagere milieu-impact heeft dan de productie van een betonnen plat dak. Aangezien de productiefase een belangrijk aandeel heeft in de totale milieu-impact van herbouw, zal de curve van de herbouwscenario's een grotere daling ondergaan dan de curve van de renovatiescenario's.

Daarnaast is er ook een verschuiving in K-peil. Dit is vooral te wijten aan de compactheid, dat berekend wordt door het beschermd volume te delen door het warmteverliesoppervlak van de woning. Doordat het verliesoppervlak van een woning met een zadeldak slechts in beperkte mate vergroot in vergelijking met de vergroting van het beschermd volume, zal de compactheid toenemen en het K-peil dus afnemen.

De onderstaande figuur zoomt in op het onderste gedeelte van Figuur 47 en toont aan hoe het kantelpunt verandert in het geval de bestaande rijwoning een zadeldak heeft in plaats van een plat dak.



Figuur 48: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom (variatie daktypologie)

Het verschil in daling van de totale milieu-impact tussen de renovatie- en herbouwscenario's is duidelijk zichtbaar op de bovenstaande figuur. Het kantelpunt bevindt zich voor een plat dak op een verschil in K-peil van 27 en voor een zadeldak op een verschil in K-peil van 23. De nieuwbouwwoning moet bij een zadeldak dus minder performant zijn dan bij een plat dak om dezelfde totale milieu-impact als de gerenoveerde woning te bekomen. Als de bestaande woning voorzien is van een zadeldak, zal herbouw meer kans hebben om als beste uit de vergelijking te komen. Er kan dus besloten worden dat een verandering in daktypologie een invloed uitoefent op de keuze tussen renovatie en herbouw.

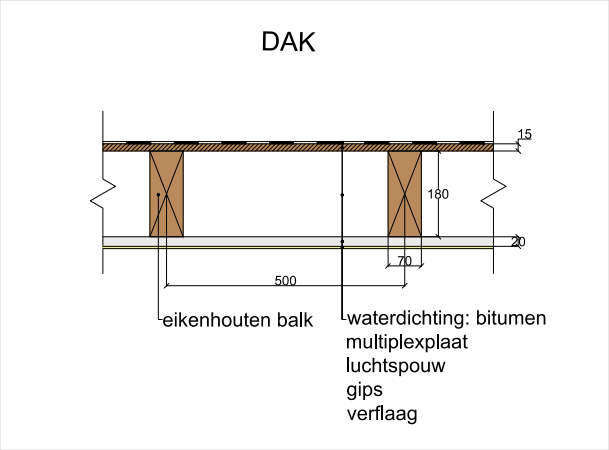
Belangrijk om op te merken is dat deze conclusie enkel geldt als er gekeken wordt per m^2 bruikbare vloeroppervlakte. Wanneer de zolder bijvoorbeeld niet volledig is afgewerkt of niet verwarmd wordt en dus bijgevolg niet als bruikbare vloeroppervlakte kan beschouwd worden, dan keren de rollen om en zullen de renovatie- en herbouwscenario's met een plat dak een lagere milieu-impact hebben.

6.5 DAKOPBOUW

6.5.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario

De rijwoning is voorzien van een plat dak, waarbij de constructie bestaat uit een betonnen plaat en het isolatiemateriaal bovenop de dakstructuur wordt aangebracht. In de jaren 60 werden ook vaak daken gebouwd met een houten structuur. Wanneer er reeds isolatie aanwezig was, werd die vaak tussen de houten balken geplaatst waardoor er een koud dak ontstaat. Ondanks het feit dat deze dakopbouw vandaag de dag niet meer wordt toegepast omwille van de vochtproblemen die mogelijks kunnen ontstaan, is het toch interessant om te onderzoeken wat de invloed is van een andere dakopbouw bij de bestaande toestand op de keuze tussen renovatie en herbouw.

De opbouw van het houten dak dat hier wordt aangenomen, wordt weergegeven op de onderstaande figuur. Het dak is niet voorzien van thermische isolatie en bereikt een U-waarde van 1,95 W/m²K.



Figuur 49: Opbouw houten dak

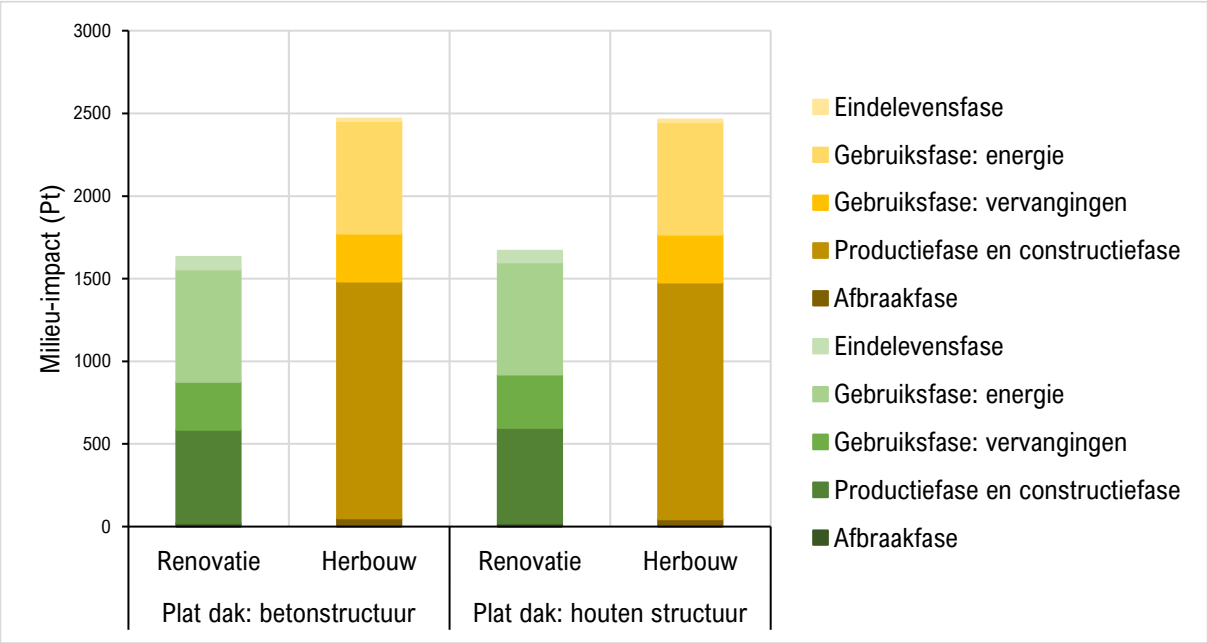
De renovatieopties voor het houten dak verschillen van de renovatieopties voor een betonnen dak, aangezien de U-waarde van de structuur verschilt. De renovatieopties voor het houten dak beschikken over 6, 10, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 en 28 cm minerale wol. Net zoals bij het zadeldak wordt de minerale wol tussen de houten structuur geplaatst en aan de binnenzijde toegevoegd bij een dikte groter dan 18 cm. De renovatieopties voor het houten dak en hun bijhorende U-waarden worden weergegeven in de onderstaande tabel.

RENOVATIEOPTIE	U-WAARDE (W/m²K)
0 cm minerale wol (bestaande toestand)	1,95
6 cm minerale wol	0,52
10 cm minerale wol	0,38
14 cm minerale wol	0,31
16 cm minerale wol	0,29
18 cm minerale wol	0,27
20 cm minerale wol	0,23
22 cm minerale wol	0,20
24 cm minerale wol	0,18
26 cm minerale wol	0,16
28 cm minerale wol	0,15

Tabel 8:Renovatieopties houten dak

Bij het herbouwscenario wordt er verondersteld dat het houten dak afgebroken wordt en vervangen wordt door een betonnen dak, gezien de risico's die vasthangen aan een koud dak.

De milieu-impact van het passieve renovatie- en herbouwscenario wordt hieronder per fase weergegeven voor de twee soorten dakopbouwen waarover de bestaande toestand kan beschikken.



Figuur 50: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (variatie dakopbouw)

Bij het renovatiescenario valt er een lichte stijging op te merken bij de afbraakfase, de productie- en constructiefase en bij de vervangingen, wanneer de bestaande toestand is opgebouwd met een houten dak in plaats van met een betonnen dak. De stijging bij de afbraakfase en de productie- en constructiefase komt doordat bij de renovatie van het betonnen dak de waterdichting uit EPDM als enige moet worden weggehaald en opnieuw moet worden geplaatst om isolatie te kunnen voorzien. Daartegenover moet bij de renovatie van het houten dak de verf- en de gipslaag afgebroken en vervolgens opnieuw hersteld worden om isolatie te kunnen plaatsen. De milieu-impact van de afbraak, productie en constructie van deze laatste twee materialen is heel wat groter dan die van EPDM. Bovendien heeft een houten dak ook

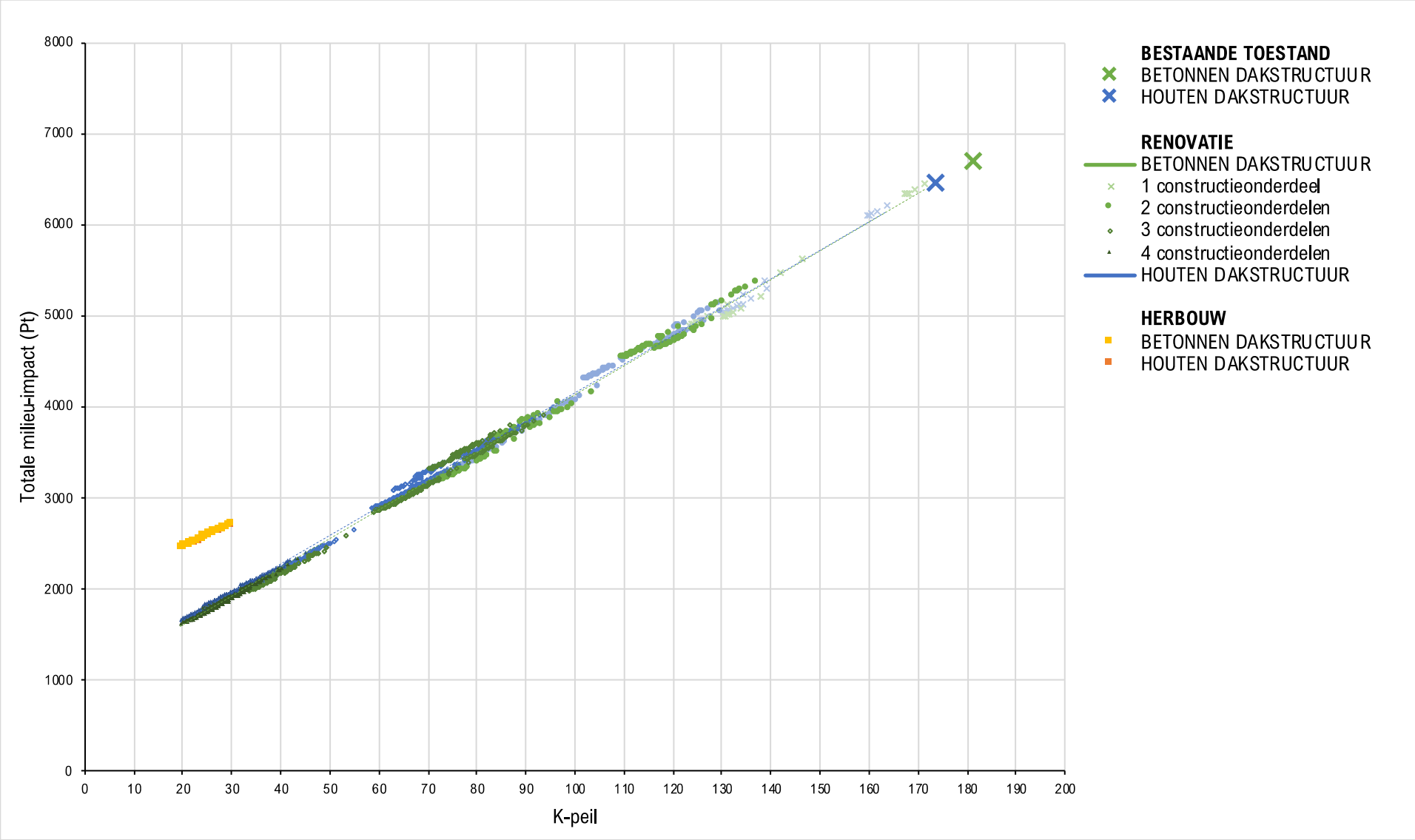
een grotere hoeveelheid isolatiemateriaal nodig om dezelfde U-waarde als een betonnen dak te bekomen, wat een gevolg is van het feit dat de eikenhouten balken en de isolatie die daartussen wordt geplaatst een heterogene laag vormen.

Wanneer de milieu-impact van de afbraakfase en de productie- en constructiefase hoger is bij een houten dakstructuur, is het bijgevolg logisch dat ook de milieu-impact van de vervangingen hoger zal zijn, aangezien hierbij telkens een materiaal wordt afgebroken en vervolgens opnieuw wordt geproduceerd en geconstrueerd. Bij het houten dak moet naast de dakafdichting, het dampscherm, het gips en de verflaag, die ook bij het betonnen dak vervangen moeten worden, ook de multiplexplaat, die dient als onderdak, na 30 jaar vervangen worden. Aangezien de dikte van het isolatiemateriaal in het dak zo gekozen is dat de transmissieverliezen van het houten dak overeenstemmen met die van het betonnen dak, is de milieu-impact gerelateerd aan het energiegebruik hetzelfde bij beide dakopbouwen. De enige fase die een lagere milieu-impact heeft bij een houten dak, is de eindelevensfase. De afbraak van de houten structuur heeft een lichtjes lagere milieu-impact dan de afbraak van de betonnen structuur.

Bij het herbouwscenario wordt na de afbraak van eender welke dakopbouw steeds gekozen voor een plat betonnen dak. Aangezien er enkel gevarieerd wordt in de bestaande toestand, zal dit enkel effect hebben op de milieu-impact van de afbraakfase en blijft de milieu-impact van de productie- en constructiefase, de gebruiksfase en de eindelevensfase onveranderd. Bij de afbraakfase wordt de volledige bestaande woning met de grond gelijk gemaakt. Zoals reeds bij het renovatiescenario is opgemerkt, heeft de afbraak van een houten dak een kleinere milieu-impact dan de afbraak van een betonnen dak, waardoor er op de grafiek een lichte daling op te merken is bij de totale milieu-impact van het herbouwscenario wanneer de bestaande toestand is opgebouwd met een houten dak.

6.5.2 Kantelpunt

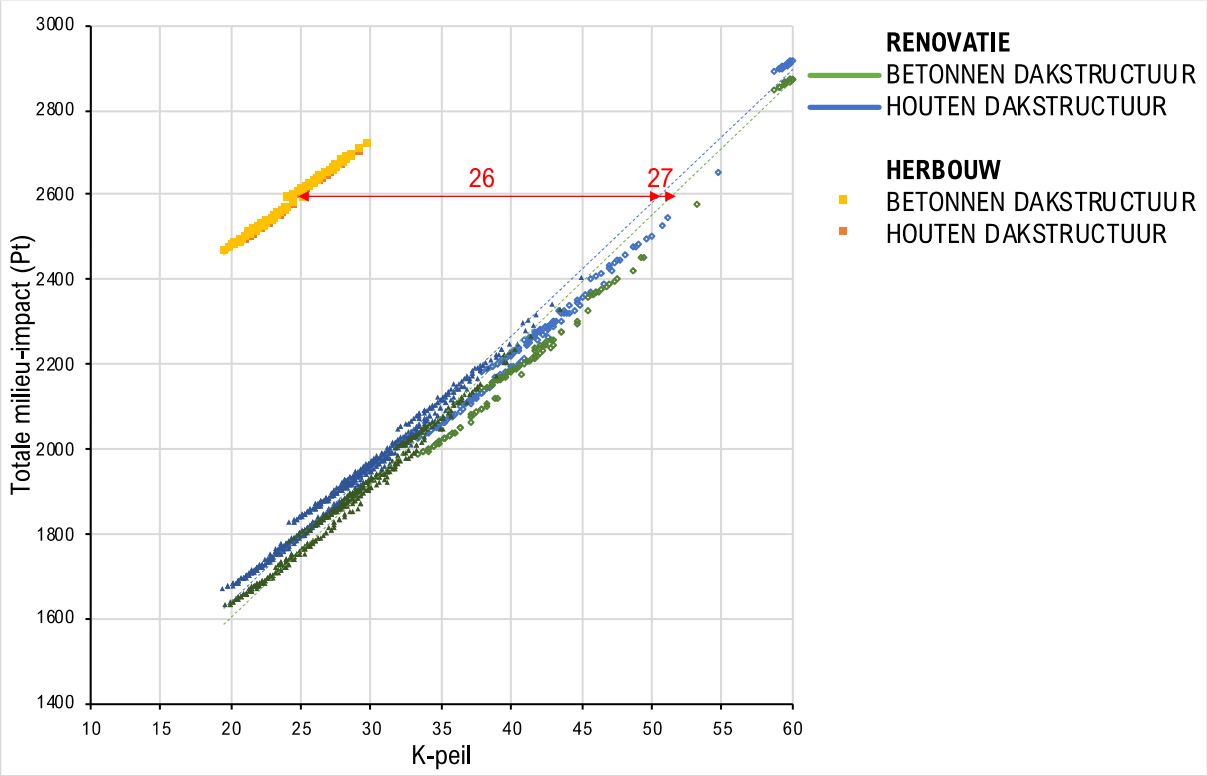
Wanneer alle renovatie- en herbouwscenario's bepaald worden voor deze twee variaties in dakopbouw van de bestaande toestand, wordt de onderstaande grafiek bekomen.



Figuur 51: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's (variatie dakopbouw)

Er is een kleine stijging op te merken bij de totale milieu-impact van de renovatiescenario's, wanneer de bestaande toestand voorzien is van een houten dak in plaats van een betonnen dak. Zoals verwacht overlapt bij de herbouwscenario's de curve van het betonnen dak min of meer met de curve van het houten dak, aangezien de daling in milieu-impact door de verandering naar een houten dak miniem is.

Of een andere dakopbouw van de bestaande woning een invloed heeft op de keuze tussen renovatie en herbouw op vlak van de milieu-impact, wordt aan de hand van de onderstaande grafiek duidelijk.



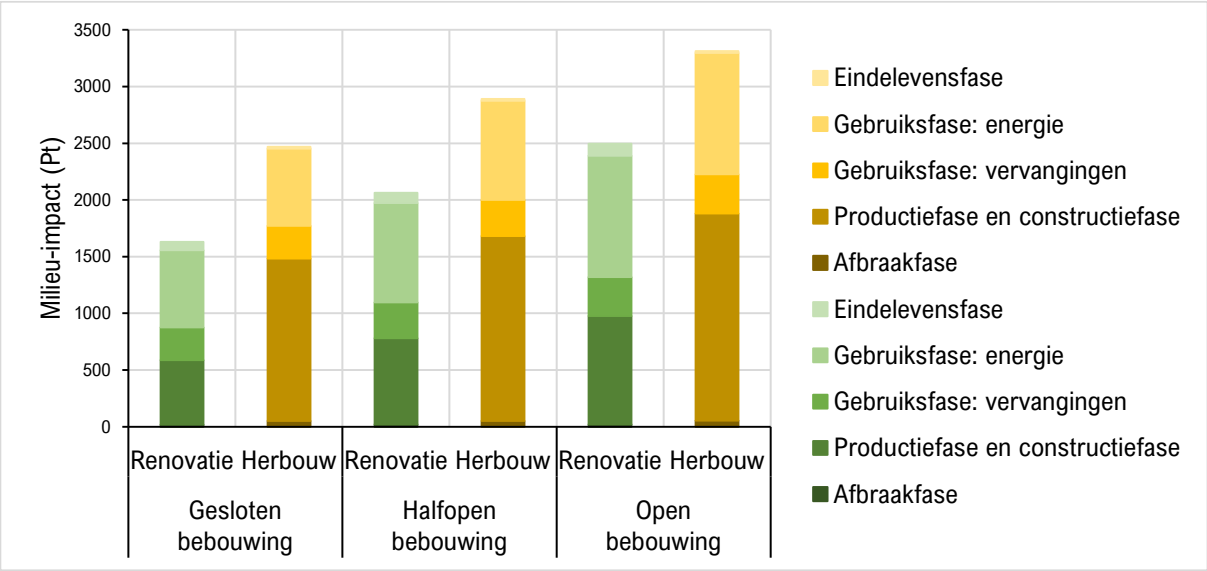
Figuur 52: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom (variatie dakopbouw)

Het kantelpunt, dat voor een woning met een betonnen dak op een verschil in K-peil van 27 ligt, verschuift door de wijziging in dakopbouw naar een verschil in K-peil van 26. Wanneer de bestaande toestand voorzien is van een houten dak, moet de nieuwbouw dus een K-peil hebben dat minstens 26 punten lager is dan het K-peil van de gerenoveerde woning om op vlak van milieu even goed of beter te scoren dan renovatie. Er kan worden vastgesteld dat de nieuwbouw dus minder performant moet zijn bij een houten dak dan bij een betonnen dak om dezelfde milieu-impact als de renovatie te bekomen. Dit komt door het negatieve effect dat het houten dak heeft op de totale milieu-impact van de renovatie en het positieve effect dat het houten dak heeft op de totale milieu-impact van de herbouw. De curves komen dus dichter bij elkaar te liggen. De kans dat de keuze zal gaan naar herbouw wordt dus enigszins groter wanneer de bestaande toestand voorzien is van een houten dak.

6.6 GEBOUWTYPOLOGIE

6.6.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario

De volgende parameter van de bestaande toestand die gevarieerd wordt, is de gebouwtypologie. De studie is tot nu toe volledig uitgevoerd op een rijwoning als casestudy, maar wat gebeurt er met de totale milieu-impact en de keuze tussen renovatie en herbouw wanneer de casestudy een halfopen of open bebouwing is? De onderstaande grafiek toont de resultaten van de vergelijking tussen het passieve renovatie- en herbouwscenario voor de drie verschillende gebouwtypologieën.

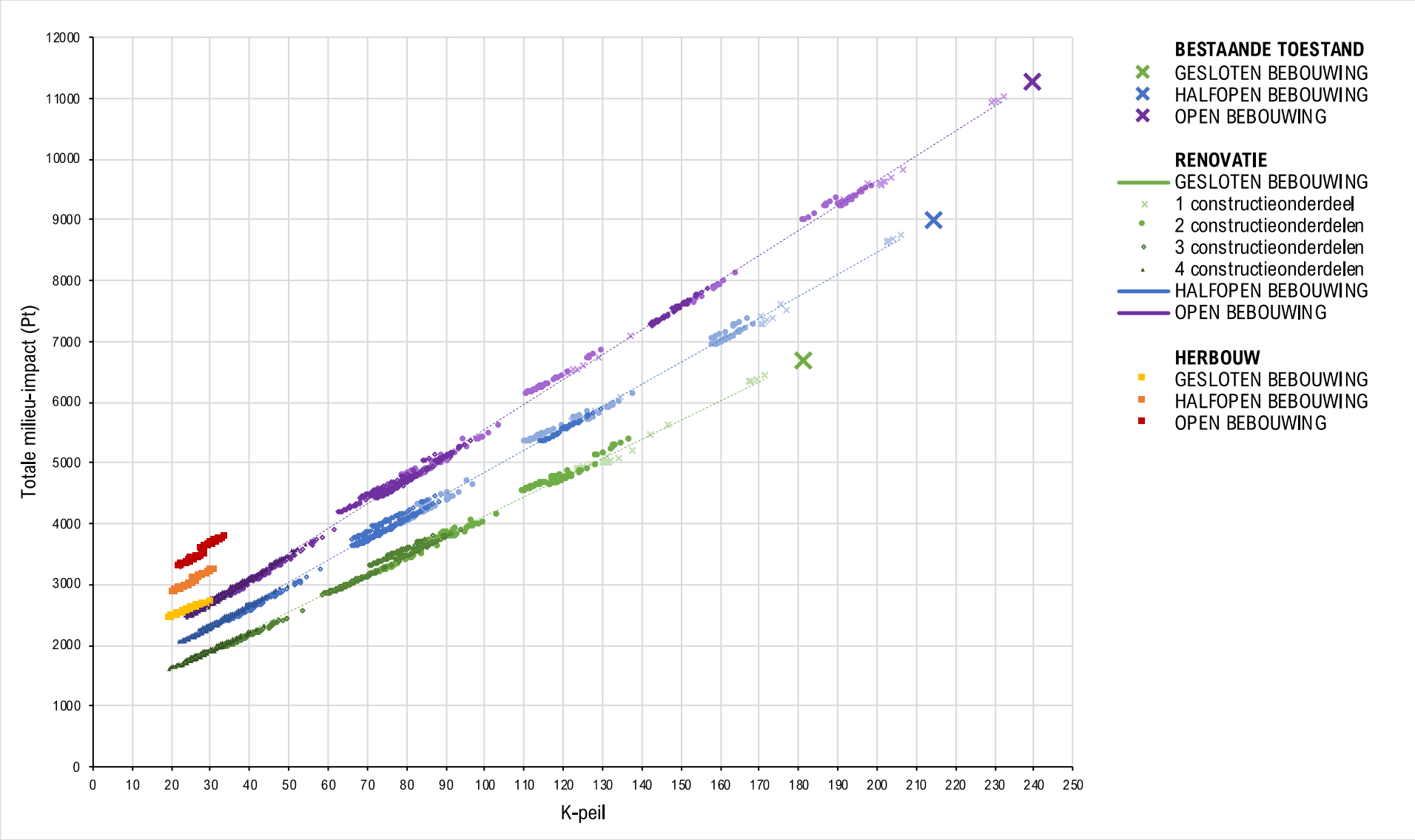


Figuur 53: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (variatie gebouwtypologie)

Zowel bij renovatie als bij herbouw is er een stijging in milieu-impact op te merken bij alle levenscyclusfasen wanneer de bestaande toestand i.p.v. een rijwoning een halfopen of open bebouwing is. Bij de productie- en constructiefase en bij de gebruiksfase is de stijging het grootst. De productie en constructie van een gemene muur heeft namelijk een lagere milieu-impact dan de productie en constructie van een gevel (buitenmuur en ramen). Een buitenmuur moet ook aan de buitenzijde afgewerkt worden, in tegenstelling tot een gemene muur die enkel bestaat uit een dragende muur met een binnenafwerking. Bovendien zijn er bij een halfopen en open bebouwing ook nog ramen aanwezig in de zijgevel(s), die een zekere materiaalimpact met zich meebrengen. Ook het energiegebruik stijgt naarmate de woning meer gevels en dus een grotere verliesoppervlakte heeft. Meer verliesoppervlakte betekent meer warmteverliezen en bijgevolg een groter energiegebruik. Tot slot hebben de afbraakfase en de eindelevensfase ook een grotere milieu-impact, omdat er zowel bij de renovatie als de herbouw meer materialen moeten afgebroken worden als het gaat om een halfopen bebouwing of een open bebouwing. Zoals Figuur 19 ook al duidelijk toonde, hebben de buitenmuren en de ramen samen een veel grotere milieu-impact (zowel qua materiaal als qua energie) dan de gemene muren.

6.6.2 Kantelpunt

Bij de onderstaande grafiek wordt gekeken naar het effect van een variatie in gebouwtypologie van de bestaande toestand op de milieu-impact van alle renovatie- en herbouwscenario's.

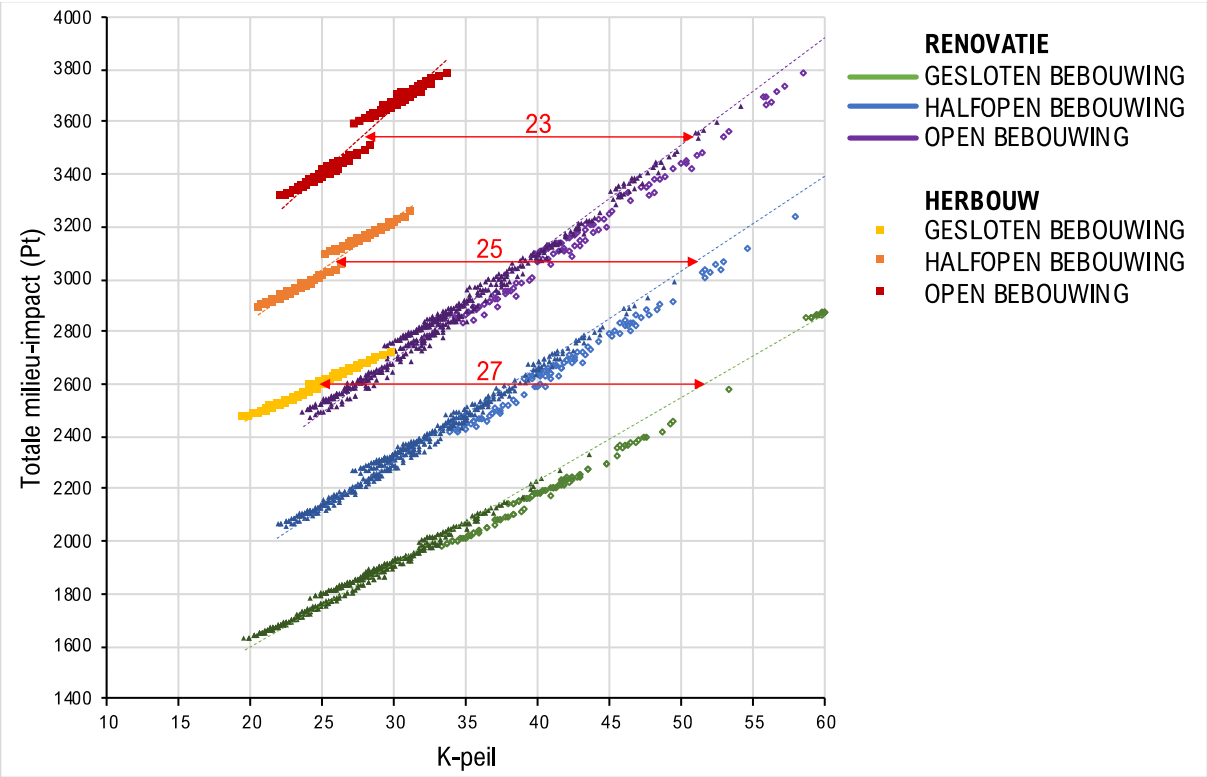


Figuur 54: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's (variatie gebouwtypologie)

Opnieuw kan de vaststelling worden gemaakt dat de milieu-impact van de renovatie en herbouw van een open bebouwing groter is dan die van een halfopen bebouwing en dat de milieu-impact van de renovatie en herbouw van een halfopen bebouwing groter is dan die van een gesloten bebouwing. Hoe hoger het K-peil, hoe groter de verandering in milieu-impact ten opzichte van de toestand waarbij er op het bestaande geen wijzigingen zijn toegepast. Dit kan verklaard worden aan de hand van de energieverliezen. Bij een halfopen en open bebouwing vergroten de warmteverliesoppervlaktes door de extra gevel(s). Wanneer de isolatiegraad van de woning laag is of dus het K-peil hoog is, zullen de energieverliezen, die reeds bij een gesloten bebouwing zeer groot waren, bij een groter warmteverliesoppervlak enorm toenemen. Wanneer de isolatiegraad van de woning hoog is of dus het K-peil laag is, zullen de energieverliezen, die reeds bij een gesloten bebouwing zeer beperkt waren, bij een groter warmteverliesoppervlak slechts lichtjes toenemen. Hierdoor valt er bij hogere K-peilen een groter verschil in totale milieu-impact op te merken tussen de verschillende gebouwtypologieën.

Het valt ook op dat het K-peil van de renovatie- en herbouwscenario's hoger ligt bij een open bebouwing in vergelijking met een halfopen bebouwing en een gesloten bebouwing. Dit valt te verklaren door het feit dat de compactheid van een gesloten bebouwing hoger is, wat resulteert in een lager K-peil. De compactheid van een halfopen bebouwing is lager dan de compactheid van een gesloten bebouwing, waardoor het K-peil hier hoger ligt. Een open bebouwing heeft de laagste compactheid en bijgevolg ook het hoogste K-peil.

Op de onderstaande grafiek is te zien hoe een variatie in gebouwtypologie het kantelpunt tussen renovatie en herbouw doet verschuiven.



Figuur 55: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom (variatie gebouwtypologie)

Een nieuwe rijwoning moet minstens 27 K-peil punten beter scoren dan een gerenoveerde woning om dezelfde of een betere milieu-impact te hebben. Het kantelpunt tussen renovatie en herbouw bij een halfopen bebouwing ligt op een verschil in K-peil van 25 en bij een open bebouwing op een verschil in K-peil van 23. De milieu-impact van de renovatiescenario's neemt meer toe dan de milieu-impact van de herbouwscenario's bij de overgang van een gesloten naar een halfopen bebouwing en van een halfopen naar een open bebouwing. Dit komt vooral omdat het verschil in de milieu-impact van de eindelevensfase tussen een gesloten en een (half)open bebouwing bij de renovatiescenario's groter is dan bij de herbouwscenario's. Dit verschil in stijging is te wijten aan het feit dat bij de renovatiescenario's, in tegenstelling tot bij de herbouwscenario's, de pluggen wel afgebroken moeten worden. Aangezien de afbraak van pluggen een grote milieu-impact heeft, zorgt dit voor een grotere stijging bij de eindelevensfase van de renovatiescenario's, waardoor het verschil in totale milieu-impact tussen beide scenario's kleiner wordt. Wanneer de bestaande toestand een halfopen of open bebouwing is, is de kans dat herbouw gekozen wordt boven renovatie dus groter dan wanneer de bestaande toestand een rijwoning is.

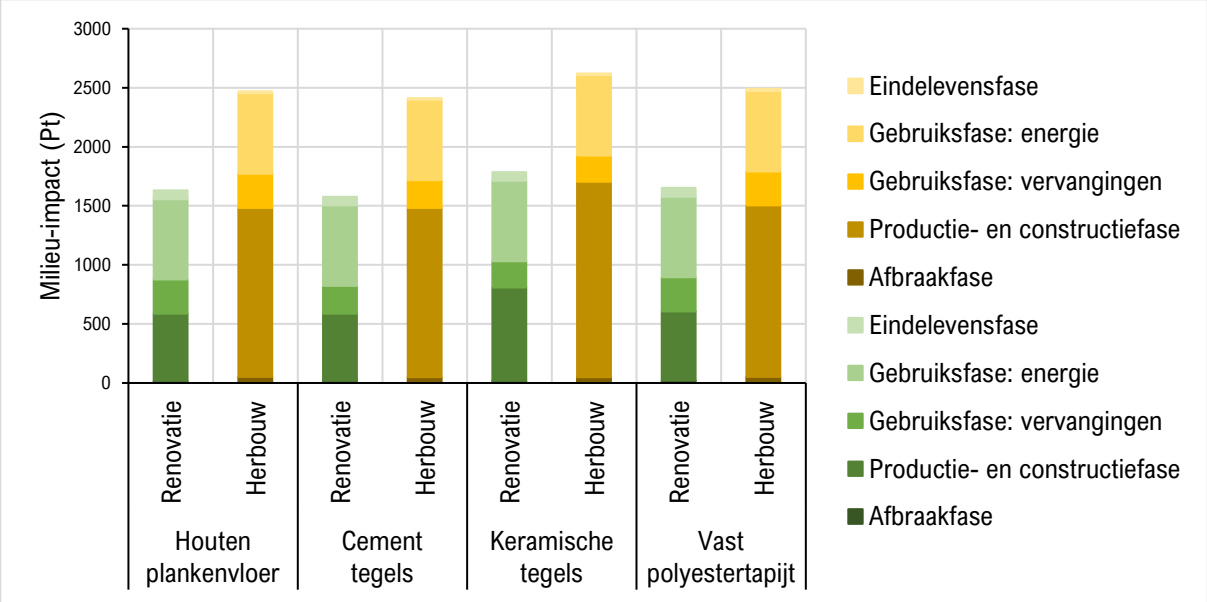
6.7 VLOERAFWERKING

6.7.1 Renovatiescenario versus herbouwscenario

Aan de hand van de beschikbare plannen, doorsneden, geveltekeningen en details van de casestudy kan niet met zekerheid worden bepaald met welk materiaal de vloeren zijn afgewerkt. Uiteindelijk wordt er geopteerd voor een houten plankenvloer als vloerafwerking, zowel op het gelijkvloers als op de eerste verdieping. De meest opvallende eigenschap van dit materiaal is zijn korte levensduur. Het is namelijk nodig om een houten plankenvloer reeds na tien jaar te vervangen. Wanneer een materiaal vervangen moet worden, moet het telkens worden afgebroken en vervolgens opnieuw worden geproduceerd, getransporteerd en opgebouwd. De vervangingen, of met andere woorden de gebruiksfase, kan op die manier dus een belangrijke bijdrage leveren aan de totale milieu-impact. Aan de andere kant hebben de productie-, constructie- en afbraakfase van een houten plankenvloer een lage milieu-impact, waardoor ook de impact van de gebruiksfase, ondanks de korte levensduur, beperkt blijft.

Het is mogelijk dat in 1963, wanneer de rijwoning is gebouwd, een andere vloerafwerking dan houten planken werd gekozen. De vraag is nu: op welke manier heeft een andere vloerafwerking een impact op de verhouding tussen de milieu-impact van renovatie en herbouw? Dit aspect wordt onderzocht aan de hand van drie alternatieve vloerafwerkingen, die mogelijks in 1963 ook gebruikt hadden kunnen worden, namelijk cementtegels, keramische tegels en een vast tapijt uit polyester. Er wordt steeds verondersteld dat de vloerafwerking dezelfde blijft gedurende de volledige levensduur van het gebouw. Wanneer de bestaande woning in 1963 voorzien was van een tegelvloer, wordt er verondersteld dat in 2020 de woning nog steeds voorzien is van een tegelvloer en dat bij de renovatie of herbouw opnieuw een tegelvloer wordt voorzien.

Onderstaande figuur toont de vergelijking tussen het passieve renovatie- en herbouwscenario voor de vier verschillende vloerafwerkingen.



Figuur 56: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (variatie vloerafwerking)

Het valt meteen op dat een verandering in vloerafwerking toch een zeker verschil in totale milieu-impact kan teweegbrengen. Wanneer er als vloerafwerking gekozen wordt voor cementtegels, zal de totale milieu-impact van zowel het renovatiescenario als het herbouwscenario lichtjes afnemen. Voor het renovatiescenario bedraagt deze afname in milieu-impact 3,44% en voor het herbouwscenario 2,33%. Als er gekeken wordt naar de levenscyclusfasen, valt op te merken dat deze daling in totale milieu-impact te wijten is aan de gebruiksfase (vervangingen). Een cementtegel moet omwille van zijn hoge duurzaamheid en zijn hoge slijtweerstand gedurende een referentieperiode van 60 jaar niet vervangen worden. De milieu-impact van de overige levenscyclusfasen blijft quasi gelijk en is dus onafhankelijk van de keuze tussen houten planken en cementtegels als vloerafwerking. Het operationele energiegebruik verandert nauwelijks, aangezien de afwerking van de vloer slechts een zeer kleine rol speelt bij de bepaling van de energieverliezen. Er kan besloten worden dat, voornamelijk door de lange levensduur, cementtegels beter zijn voor het milieu dan een houten plankenvloer.

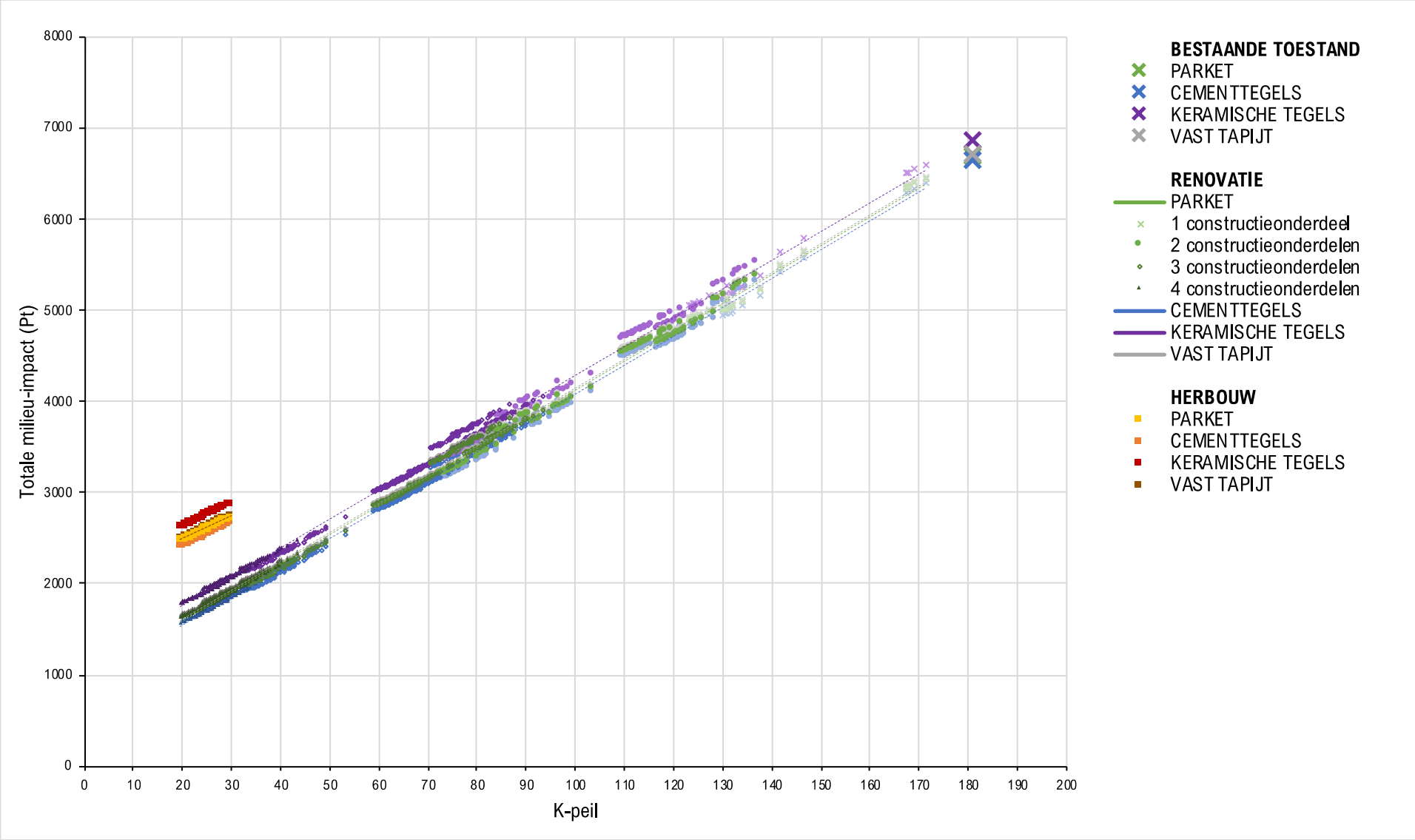
De sterkste stijging in totale milieu-impact is wanneer de vloerafwerking bestaat uit keramische tegels. Hierbij neemt het renovatiescenario toe met 8,68% en het herbouwscenario met 5,84%. Bij dit materiaal is die stijging voornamelijk afkomstig van de productie- en constructiefase. Het produceren van keramische tegels heeft een hoge milieu-impact omdat ze in een oven op zeer hoge temperatuur worden gebakken. Het voordeel hiervan is dat door die hoge temperatuur de duurzaamheid van de tegels hoog is, waardoor ze beschikken over een zeer lange levensduur en er geen vervangingen tijdens de referentieperiode van 60 jaar nodig zijn. De overige levenscyclusfasen bereiken opnieuw een quasi gelijke milieu-impact als bij de bestaande toestand met een houten plankenvloer als vloerafwerking.

Ook wanneer een vast tapijt uit polyester als vloerafwerking wordt gebruikt, is er een lichte stijging in milieu-impact te zien t.o.v. de woning met een houten plankenvloer, meer bepaald een groei van 1,39% bij het renovatiescenario en van 0,85% bij het herbouwscenario. Deze kleine groei is afkomstig van meerdere fasen, namelijk de afbraakfase, de productie- en constructiefase, en de eindelevensfase. Dit komt doordat het produceren en afbreken van een tapijt een iets hogere milieu-impact heeft als het produceren en afbreken van een houten plankenvloer. Over het algemeen kan er besloten worden dat een houten plankenvloer en een vast tapijt van polyester quasi dezelfde milieu-impact hebben.

Het is opvallend hoe bij alle varianten in vloerafwerking de relatieve verandering in milieu-impact telkens kleiner is bij herbouw dan bij renovatie. Het verschil zit in de productie- en constructiefase, aangezien de invloed van een variatie in vloerafwerking op de afbraakfase, de gebruiksfase en de eindelevensfase miniem is. Over het algemeen is reeds vastgesteld dat de productie- en constructiefase een belangrijke rol speelt, omdat deze fase het meeste bijdraagt aan de totale milieu-impact van de renovatie en herbouw. Bij herbouw moet er meer geproduceerd worden dan bij renovatie, aangezien een volledig nieuwe woning gebouwd wordt. Dit in tegenstelling tot de renovatie, waarbij enkel de materialen voor renovatie en opfrissingen bij aanvang afgebroken en opnieuw geproduceerd moeten worden. Een verandering in de milieu-impact van de productie, als gevolg van een andere vloerafwerking, zal minder voelbaar zijn bij herbouw omdat het aandeel van de productie van de vloerafwerking in vergelijking met de totale milieu-impact van de productiefase veel kleiner is dan bij renovatie. De verandering in milieu-impact is dezelfde, maar de verandering in milieu-impact in verhouding tot het geheel is groter bij renovatie dan bij herbouw, waardoor herbouw op vlak van milieu minder gevoelig is aan een andere vloerafwering dan renovatie.

6.7.2 Kantelpunt

Wanneer de variaties in vloerafwerking toegepast worden op alle renovatie- en herbouwscenario's, worden de resultaten, zoals op de onderstaande grafiek weergegeven, bekomen.



Figuur 57: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's (variatie vloerafwerking)

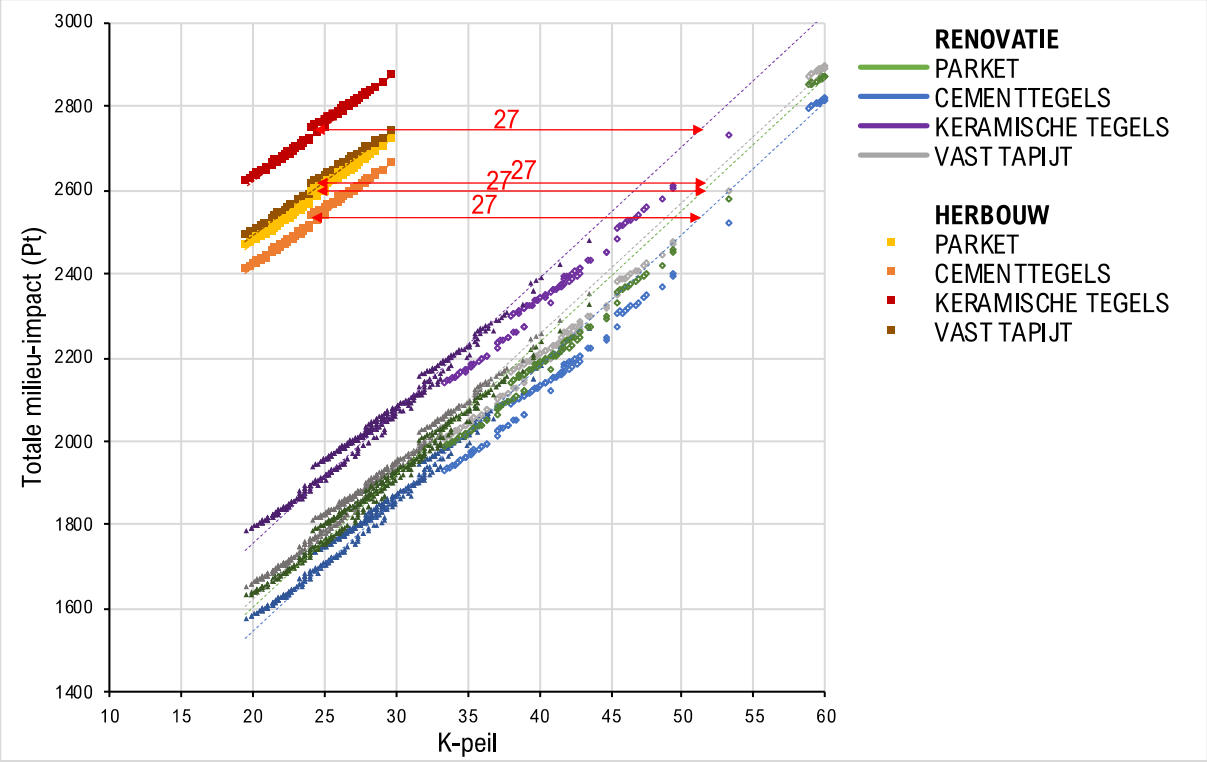
De groene en gele curve zijn respectievelijk de renovatiescenario's en de herbouwscenario's met als vloerafwerking een houten plankenvloer. De overige curves zijn weergaves van de drie varianten, meer bepaald cementtegels, keramische tegels en vast polyestertapijt.

De renovatie- en herbouwscenario's met als vloerafwerking cementtegels worden weergegeven door respectievelijk de blauwe en oranje curve. Er is een lichte daling in totale milieu-impact op te merken, zowel bij de renovatiescenario's als bij de herbouwscenario's. Zoals eerder is vastgesteld, blijft het K-peil hetzelfde als in het geval van een houten plankenvloer als vloerafwerking. Dit komt door de minieme rol die een vloerafwerking speelt bij de energieverliezen van een vloer op volle grond. De warmteweerstand wordt voornamelijk geleverd door de thermische isolatie die in de vloer aanwezig is, omdat thermische isolatie beschikt over een lage lambdawaarde of warmtegeleidingscoëfficiënt. Een vloerafwerking heeft in tegenstelling tot isolatiemateriaal een zeer hoge lambdawaarde.

De paarse en rode curve geven de renovatie- en herbouwscenario's weer met keramische tegels als vloerafwerking. De verandering in totale milieu-impact ten opzichte van de oorspronkelijke scenario's is bij deze variant het grootst. Er valt een stijging in totale milieu-impact bij zowel de renovatiescenario's als de herbouwscenario's op te merken. Opnieuw verschuiven de curves enkel in de verticale richting, wat erop wijst dat het K-peil onveranderd blijft.

Als derde en laatste variant wordt er gekozen voor een vast tapijt uit polyester, een materiaal dat vroeger regelmatig als vloerafwerking in woningen werd gebruikt. De grijze en bruine curve tonen de renovatie- en herbouwscenario's met deze vloerafwerking. De verandering in vloerafwerking zorgt in dit geval voor een hele lichte stijging in totale milieu-impact bij zowel de renovatie- als de herbouwscenario's. Opnieuw is de verandering in K-peil verwaarloosbaar.

De impact van een verandering in vloerafwerking op het kantelpunt tussen renovatie en herbouw wordt afgebeeld op de onderstaande figuur.



Figuur 58: Renovatiescenario's versus herbouwscenario's zoom (variatie vloerafwerking)

Voor elke variant bevindt het kantelpunt zich bij een verschil in K-peil van 27. Het kantelpunt blijft dus onveranderd en is onafhankelijk van het materiaal van de vloerafwerking. Dit komt doordat de verandering in milieu-impact door variatie in vloerafwerking een gelijk effect heeft op zowel de totale milieu-impact van de renovatiescenario's als op de totale milieu-impact van de herbouwscenario's. Een vloerafwerking is een afwerkingslaag en zal dus, onafhankelijk van het scenario, tweemaal afgebroken worden (vervangingen niet ingerekend). Bij de renovatie vindt de afbraak voor de opfrissingen plaats in het begin van de referentieperiode en bij de nieuwbouw op het einde. Daarnaast is er bij de renovatie een afbraak van het volledige gebouw na 60 jaar, terwijl bij de nieuwbouw de bestaande toestand bij aanvang van de werken wordt afgebroken. De productie en constructie van de vloerafwerking gebeuren gedurende de hele levenscyclus voor elk scenario telkens éénmalig, namelijk na de eerste afbraak (vervangingen niet ingerekend). Daarnaast zijn ook de vervangingen en het energiegebruik gelijk, aangezien het om éénzelfde materiaal gaat met een eigen specifieke levensduur en lambdawaarde.

Dit heeft als gevolg dat de groene en gele curve op de grafiek door een verandering in vloerafwerking gelijkmatig zullen verschuiven in ofwel een opwaartse ofwel een neerwaartse richting. Hierdoor blijft de horizontale afstand tussen de curves, wat overeenstemt met het verschil in K-peil, dezelfde en zal ook het kantelpunt, wat gedefinieerd wordt door het verschil in K-peil, identiek blijven.

7 GEVOELIGHEIDSANALYSES

Bepaalde keuzes kunnen de resultaten van het onderzoek opmerkelijk beïnvloeden. Dit deel van de interpretatie, de gevoeligheidsanalyses, beoordeelt de invloed van verschillen in procesgegevens, modelkeuzes en andere variabalen op de resultaten. Bij een gevoeligheidsanalyse worden veranderingen opzettelijk aangebracht om de robuustheid van de resultaten na te gaan. Op die manier kan er achterhaald worden aan welke invoervariabelen de LCA-resultaten gevoelig zijn. In dit hoofdstuk worden de volgende vier gevoeligheidsanalyses uitgevoerd: de methode voor het transport van de productie- en constructiefase, de methode voor de eindverwerking van bouw- en sloopafval, het scenario voor ontmanteling en afbraak en de referentieperiode. De gevoeligheid wordt telkens nagegaan voor het in 3.2 en 3.3 beschreven renovatie- en herbouwscenario, waarbij er geïsoleerd wordt tot aan de passieve richtwaarden.

7.1 TRANSPORT VAN DE PRODUCTIE- EN CONSTRUCTIEFASE

De eerste gevoeligheidsanalyse onderzoekt of er eventueel voor het transport van de productie- en constructiefase een vereenvoudigde methode kan gebruikt worden, zonder dat het resultaat van de vergelijking drastisch verandert. Voor het transport van bouwmaterialen van de fabriek naar de werf wordt er in bijlage B een specifiek transportscenario weergegeven per materiaalcategorie. Voor elke materiaalcategorie worden gemiddelde transportafstanden en -middelen bepaald naargelang het materiaal rechtstreeks van de fabriek naar de werf vervoerd wordt of van de fabriek eerst naar een tussenhandelaar gaat en dan van daaruit naar de werf. Voor de berekening van de milieu-impact gerelateerd aan het transport van materialen, wordt gebruik gemaakt van de standaard LCI-data uit de Ecoinvent database.

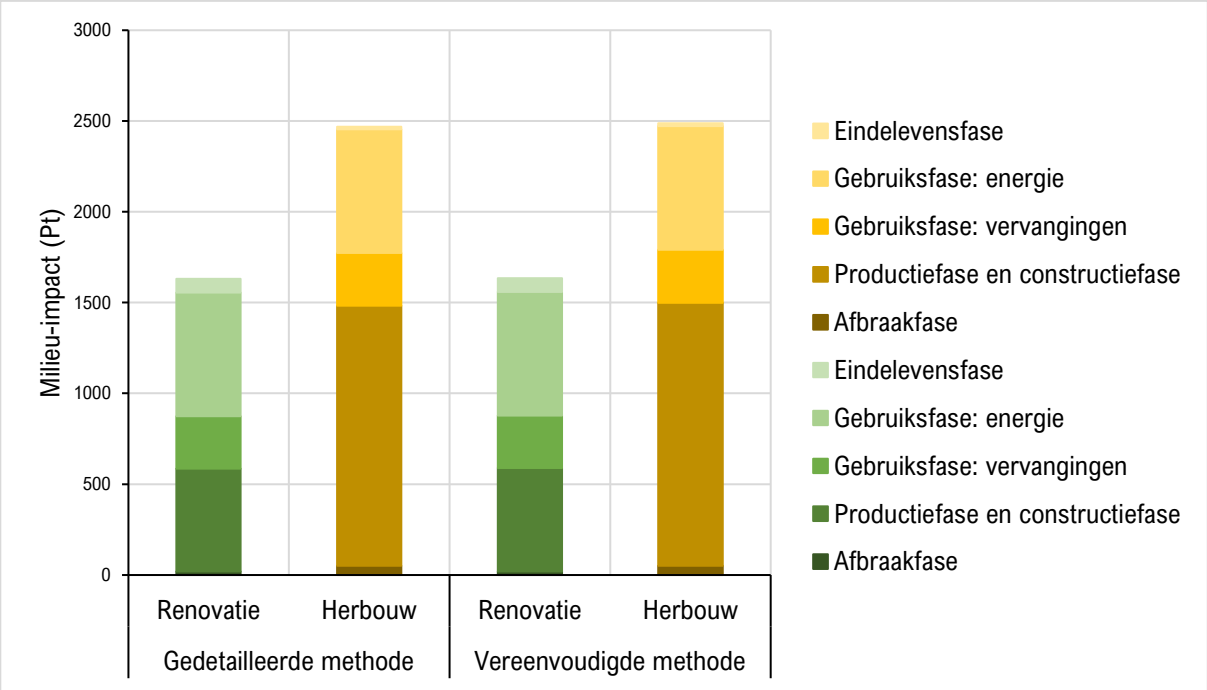
Bij de gedetailleerde methode, die in dit onderzoek is toegepast, wordt er telkens exact uitgerekend aan de hand van de gegeven procenten uit bijlage B wat de transportafstand (in km) is. Er worden geen simplificaties gemaakt bij de gedetailleerde methode. Bij de vereenvoudigde methode wordt er bij de organisatie van het transport en bij de bijhorende vervoersmiddelen gekozen voor hetgeen met het grootste procent. Daarnaast wordt de transportafstand bepaald aan de hand van het gemiddelde van enerzijds de transportafstand rechtstreeks van de fabriek naar de werf en anderzijds de transportafstand via een tussenhandelaar. Op die manier wordt er als gemiddelde transportafstand voor elke materiaalcategorie 117,5 km bekomen.

Wat is de invloed van een alternatieve methode voor het transport van de productie- en constructiefase op de totale milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario? De onderstaande tabel toont de uitkomst van deze gevoeligheidsanalyse.

METHODE	MILIEU-IMPACT RENOVATIE (Pt)	MILIEU-IMPACT HERBOUW (Pt)
Gedetailleerde methode	1630,77	2468,95
Vereenvoudigde methode	1634,21	2486,86

Tabel 9: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (methode voor transport van productie- en constructiefase)

De enige levenscyclusfasen waar het alternatief scenario een invloed op uitoefent is de productie- en constructiefase en de gebruiksfase (vervangingen), aangezien bij beide fasen transport voor productie- en constructie van materialen ingerekend wordt voor de berekening van de milieu-impact. De vereenvoudigde methode zorgt voor een zeer lichte stijging in milieu-impact bij zowel het renovatie- als herbouwscenario. Bij het passieve renovatiescenario is de stijging nauwelijks voelbaar, terwijl bij het passieve herbouwscenario de verandering in milieu-impact groter is. Dit komt omdat er bij herbouw een grotere hoeveelheid aan materialen moet geproduceerd en geconstrueerd worden, waardoor bijgevolg ook meer transport van de fabriek naar de werf nodig zal zijn. Ook op de onderstaande grafiek is te zien hoe klein de toename in totale milieu-impact is bij het wijzigen van de gedetailleerde naar de vereenvoudigde methode.



Figuur 59: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (methode voor transport van productie- en constructiefase)

De verandering in milieu-impact bedraagt voor beide scenario's 1%, wat geen significant verschil is. Als besluit van deze gevoeligheidsanalyse kan gesteld worden dat de voorgestelde vereenvoudigde methode voor het transport van de productie- en constructiefase een goed alternatief is voor de gedetailleerde methode. Het effect van het gebruik van de vereenvoudigde methode op de milieu-impact en op de vergelijking tussen renovatie en herbouw is verwaarloosbaar.

7.2 EINDVERWERKING VAN BOUW- EN SLOOPAFVAL

De laatste levenscyclusfase is de eindelevensfase. In deze fase worden de materialen op het einde van hun levensduur afgebroken en getransporteerd naar de afvalverwerking. Het aantal kilometers van dat transport is afhankelijk van de wijze waarop het bouw- en sloopafval verwerkt wordt. Bijlage E geeft een overzicht van de veronderstelde bestemming van het afval voor verschillende categorieën. In het algemeen zijn er drie mogelijke verwerkingsprocessen: storten, verbranden of recyclage.

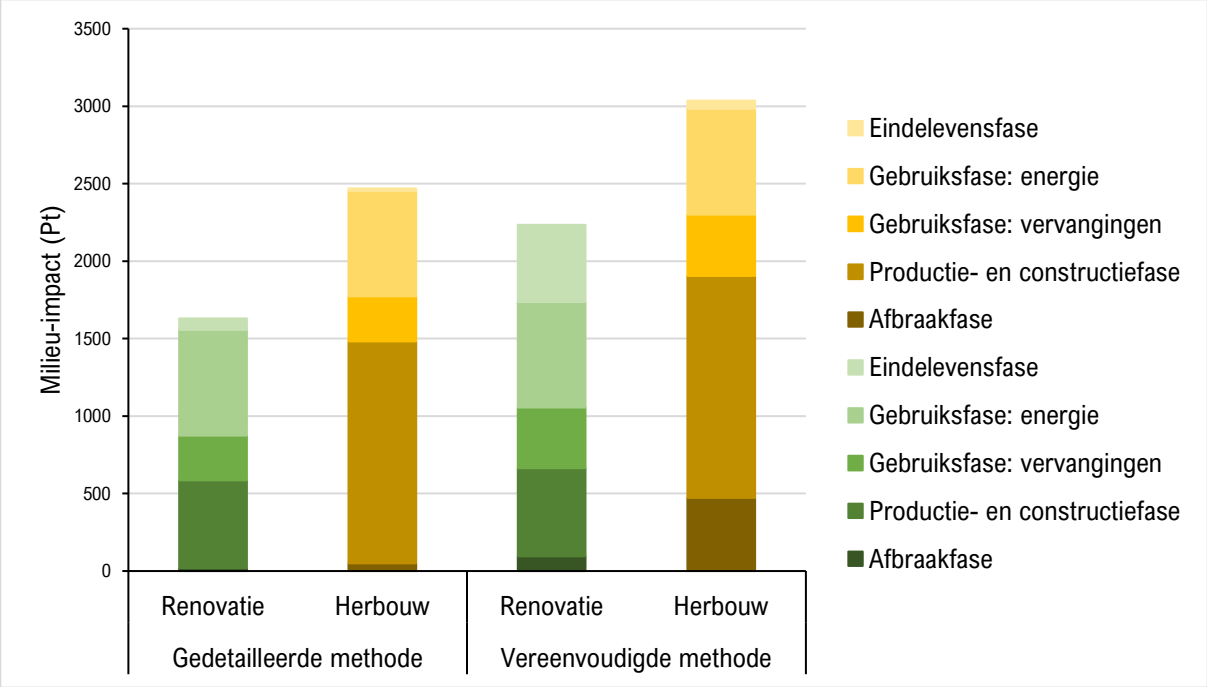
Aan recyclage wordt geen milieu-impact voor eindverwerking toegekend, maar wanneer een materiaal gestort of verbrand wordt, zal hiervoor wel een bijdrage aan de milieu-impact in rekening worden genomen. Hoeveel die bijdrage precies bedraagt, wordt berekend aan de hand van SimaPro. Bij het onderzoek dat hier is uitgevoerd, is een zeer gedetailleerde methode toegepast. Voor al de verschillende materialen is er namelijk een eindelevensduurproces aangemaakt in SimaPro, waardoor de bekomen waarden zeer specifiek zijn voor de eindverwerking van het materiaal.

Het is ook mogelijk om de eindverwerking van bouw- en sloopafval bij een LCA-studie op een snellere en vereenvoudigde manier te bepalen. In SimaPro is een eindelevensduurproces “Municipal solid waste (waste scenario) {BE}| treatment of municipal solid waste, incineration | Cut-off, S” aanwezig, wat een algemene waarde geeft voor de eindelevensfase en dus niet specifiek voor een materiaal is. Er wordt onderzocht wat de invloed is van deze alternatieve methode op de totale milieu-impact en op de vergelijking tussen renovatie en herbouw. De onderstaande tabel toont de totale milieu-impact voor het passieve renovatie- en herbouwscenario in milieupunten voor beide methodes.

METHODE	MILIEU-IMPACT RENOVATIE (Pt)	MILIEU-IMPACT HERBOUW (Pt)
Gedetailleerde methode	1630,77	2468,95
Vereenvoudigde methode	2233,30	3036,70

Tabel 10: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (methode voor eindverwerking bouw- en sloopafval)

Door de wijziging in eindverwerking veranderen drie levenscyclusfasen van waarde, namelijk de afbraakfase, de gebruiksfase (vervangingen) en de eindelevensfase. De milieu-impact van alle drie de fasen ondervindt een sterke stijging. Het renovatiescenario springt van 1631 milieupunten naar 2233 milieupunten en het herbouwscenario springt van 2469 milieupunten naar 3037 milieupunten. Dit is een toename van respectievelijk 37% en 23%.



Figuur 60: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (methode voor eindverwerking bouw- en sloopafval)

Ook op het bovenstaande staafdiagram valt de toename in milieu-impact meteen op. Er kan besloten worden dat het gebruik van de vereenvoudigde methode ten opzichte van de gedetailleerde methode zorgt voor een significant verschil op het eindresultaat. Het wordt afgeraden om voor de berekening van de eindverwerking van bouw- en sloopafval het vereenvoudigde proces uit SimaPro te gebruiken.

7.3 ONTMANTELING EN AFBRAAK

Voor een LCA-onderzoek wordt nergens vastgelegd welke levenscyclusfasen er allemaal in rekening moeten worden gebracht en wat de systeemgrenzen van die verschillende levenscyclusfasen exact zijn. De grootste onzekerheden bevinden zich vooral bij de afbraakfase in het begin van de LCA en bij de eindelevensfase op het einde van de LCA. Moeten beide fasen in rekening worden gebracht of behoort slechts één van de twee fasen tot de levenscyclus van het gebouw? Wat valt er van de afbraakfase in het begin van de LCA en van de eindelevensfase op het einde van de LCA binnen die referentieperiode van 60 jaar? Afbraakprocessen gaan gepaard met het gebruik van energie en de uitstoot van fijn stof, waardoor ze bijdragen aan de milieu-impact van renovatie- en herbouwscenario's. Aan de hand van een gevoeligheidsanalyse, waarbij vier variaties op de afbraak- en eindelevensfase worden bekeken, wordt onderzocht hoe groot de invloed op de totale milieu-impact is. De onderstaande tabel toont de vier varianten die geanalyseerd worden. De groene rijen stellen de aannames voor het renovatiescenario voor en de gele rijen de aannames voor het herbouwscenario. De totale levensduur van de structuur van het gebouw wordt voor beide scenario's weergegeven in de laatste kolom.

SCENARIO	AFBRAAKFASE	EINDELEVENSFASE	LEVENSDUUR (STRUCTUUR)
0	renovatiewerken en opfrissingen	volledige gebouw	120
	bestaande woning	opfrissingen	120
1	renovatiewerken	volledige gebouw	120
	bestaande woning	-	120
2	renovatiewerken en opfrissingen	volledige gebouw	120
	bestaande woning	volledige gebouw	60
3	-	volledige gebouw	120
	-	opfrissingen	120
4	renovatiewerken en opfrissingen	-	120
	bestaande woning	-	120

Tabel 11: Scenario's voor ontmanteling en afbraak

Scenario nul is het scenario dat doorheen dit volledige onderzoek is aangenomen. Hierbij wordt zowel de afbraakfase in het begin als de eindelevensfase aan het einde mee in rekening genomen. Samen met de productie-, constructie- en gebruiksfase vormen deze fasen de volledige levenscyclus van het gebouw. Als systeemgrenzen van de afbraakfase wordt bij renovatie gekozen voor de afbraak van wat gerenoveerd en opgefrist moet worden, en bij herbouw voor de afbraak van de volledige bestaande woning. Als systeemgrenzen van de eindelevensfase wordt bij renovatie gekozen voor de afbraak van het volledige gebouw en bij herbouw voor de afbraak van wat opgefrist moet worden. De totale levensduur van de structuur is voor beide scenario's 120 jaar.

Bij het eerste scenario wordt er gevarieerd in de systeemgrenzen van de afbraak- en eindelevensfase. De eerste variant verwaarloost de afbraakwerken die nodig zijn aan bepaalde constructieonderdelen, omdat deze door ouderdom in slechte staat zijn en vervangen moeten worden. Het gaat hierbij om afwerkingslagen, zoals bijvoorbeeld de houten plankenvloer, de pleisterlagen en de verflagen. Bij zowel het renovatie- als herbouwscenario wordt de afbraak (en productie) van de opfrissingen niet meegeteld. De structuur blijft bij beide scenario's opnieuw 120 jaar staan.

Ook het tweede scenario bekijkt een wisseling in systeemgrenzen, maar niet bij beide fasen zoals bij het eerste scenario wel het geval is. Er wordt enkel bij de eindelevensfase van het herbouwscenario een andere aanname gemaakt. In plaats van enkel de afbraak van wat opgefrist moet worden in rekening te brengen, wordt hier verondersteld dat het volledige gebouw op het einde van de 60-jarige levenscyclus afgebroken moet worden. Dit heeft als gevolg dat de levensduur van de structuur bij beide scenario's verschillend is. Bij het renovatiescenario blijft de structuur van het gebouw 120 jaar staan, terwijl bij het herbouwscenario de structuur al na 60 jaar afgebroken wordt.

Ten opzichte van de vorige twee zijn de derde en vierde variant anders. Hierbij vindt er namelijk geen verandering in systeemgrenzen plaats, maar wordt de afbraak- of eindelevensfase volledig achterwege gelaten. Ten opzichte van de aannames van dit onderzoek (scenario nul), wordt bij het derde scenario de afbraakfase in het begin weggelaten en wordt er dus verondersteld dat de productiefase de start van de levenscyclus is. Bij het vierde scenario wordt de eindelevensfase aan het einde verwaarloosd. Hierbij vormt de afbraakfase dus het begin van de levenscyclus en de gebruiksfase het einde.

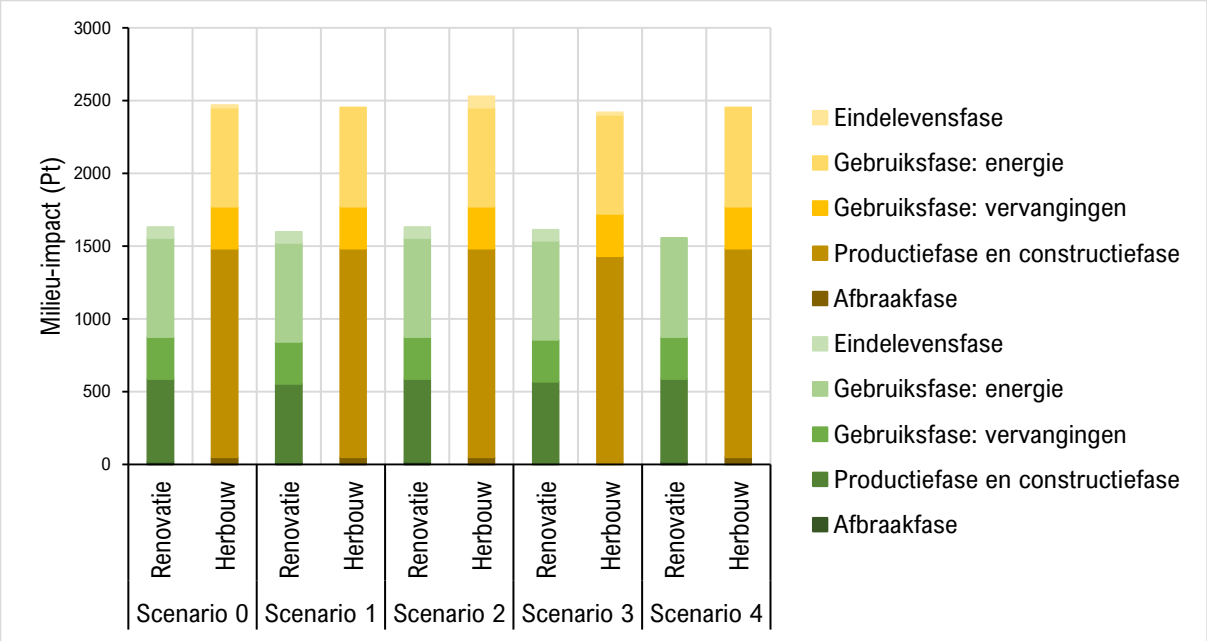
De onderstaande tabel geeft de resultaten weer van deze gevoeligheidsanalyse. Zowel voor het oorspronkelijke scenario als voor de vier varianten is telkens de milieu-impact van de renovatie en de milieu-impact van de herbouw in milieupunten berekend.

SCENARIO	MILIEU-IMPACT RENOVATIE (Pt)	MILIEU-IMPACT HERBOUW (Pt)
0	1630,77	2468,95
1	1598,50	2453,58
2	1630,77	2529,09
3	1612,31	2418,99
4	1555,84	2453,58

Tabel 12: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (scenario voor ontmanteling en afbraak)

Het is opvallend dat voor bijna geen enkele variant de milieu-impact van renovatie of herbouw toeneemt ten opzichte van het oorspronkelijke. Dit is logisch, aangezien er bij bijna al de varianten enkel aspecten worden weggelaten en nooit worden toegevoegd. Doordat er minder in rekening wordt genomen, daalt de totale milieu-impact. Enkel bij de tweede variant, waar er bij de eindelevensfase van het herbouwscenario meer wordt afgebroken dan oorspronkelijk aangenomen is, valt er een stijging in milieu-impact op te merken.

Bij de eerste variant, waarbij de afbraak voor de opfrissingswerken verwaarloosd wordt, bedraagt de daling in milieu-impact ongeveer 2% voor het renovatiescenario en 1% voor het herbouwscenario. De tweede variant, waarbij op het einde van de levenscyclus de nieuwe woning volledig afgebroken wordt, zorgt voor een toename in milieu-impact van het herbouwscenario van ongeveer 2%. Ook bij de derde en vierde variant blijft de invloed op de milieu-impact beperkt. De derde variant, waarbij de afbraakfase in het begin verwaarloosd wordt, zorgt voor een daling in milieu-impact van ongeveer 1% bij renovatie en van 2% bij herbouw. Wanneer de eindelevensfase verwaarloosd wordt, wat bij de vierde variant wordt uitgetest, wordt er een daling in milieu-impact gevonden van rond de 5% voor het renovatiescenario en van rond de 1% voor het herbouwscenario.



Figuur 61: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (scenario voor ontmanteling en afbraak)

De bovenstaande grafiek vat al de resultaten nog eens samen. Opnieuw valt te besluiten dat de veranderingen in milieu-impact zeer beperkt blijven. Aangezien er nooit sprake is van een verandering in milieu-impact die groter is dan 5%, kan er besloten worden dat de verschillende aannames voor de systeemgrenzen en de levenscyclusfasen geen significant verschil teweegbrengen in de totale milieu-impact. Een verandering in enerzijds de systeemgrenzen van de afbraak- en eindelevensfase en in anderzijds het mee in rekening nemen van die twee fasen, zal het resultaat van de vergelijkende analyse tussen renovatie en herbouw amper beïnvloeden.

7.4 REFERENTIEPERIODE

De vierde en laatste gevoeligheidsanalyse van deze studie focust zich op de referentieperiode van de levenscyclusanalyse. Bij dit onderzoek wordt de volledige levenscyclus van het gebouw beschouwd voor een referentieperiode van 60 jaar. Opnieuw wordt er aan de hand van een gevoeligheidsanalyse onderzocht hoe groot de impact is van een kleinere of grotere referentieperiode op de milieu-impact van renovatie en herbouw en vooral op de vergelijkende analyse tussen renovatie en herbouw. Aan de hand van twee alternatieve referentieperiodes, namelijk 30 en 90 jaar, worden vier scenario's opgesteld waarbij de referentieperiode voor renovatie en/of herbouw gevarieerd wordt. Onderstaande tabel geeft een overzicht. De groene rijen stellen de aannames voor het renovatiescenario voor en de gele rijen de aannames voor het herbouwscenario.

SCENARIO	REFERENTIEPERIODE
0	60
	60
1	90
	90
2	30
	60
3	60
	90
4	30
	30

Tabel 13: Scenario's referentieperiode

Scenario nul is het scenario dat doorheen dit onderzoek is aangenomen en waarbij voor zowel het renovatie- als het herbouwscenario een referentieperiode van 60 jaar wordt vooropgesteld. Bij de eerste variant wordt de veronderstelling gemaakt dat de referentieperiode of levensduur van zowel het renovatie- als het herbouwscenario 90 jaar is. De tweede variant zet een levensduur van 30 jaar voorop bij renovatie en een levensduur van 60 jaar bij herbouw. Hier wordt er dus uitgegaan van een langere levensduur voor een nieuwe woning dan voor een gerenoveerde woning. Ook de derde variant gaat uit van hetzelfde principe, maar neemt als referentieperiode voor renovatie 60 jaar aan en als referentieperiode voor herbouw 90 jaar. De vierde variant kent aan beide scenario's een gelijke referentieperiode toe van 30 jaar.

Bij scenario nul, dat een referentieperiode van 60 jaar aanneemt voor zowel het renovatie- als het herbouwscenario, wordt een totale milieu-impact van 1630,77 milieupunten bekomen voor het renovatiescenario en een totale milieu-impact van 2468,95 milieupunten voor het herbouwscenario. Wanneer dus zowel bij de renovatie als bij de nieuwbouw de richtwaarden voor een passiefwoning worden nagestreefd, zal de renovatie als beste optie naar voren komen op vlak van milieu-impact. De vraag is nu wat de invloed is van een andere referentieperiode op dit resultaat. Het is logisch dat een verandering in referentieperiode van 60 jaar naar 90 jaar de milieu-impact zal doen toenemen, aangezien er een stijging in de gebruiksfase zal plaatsvinden, en dat een verandering in referentieperiode van 60 naar 30 jaar de milieu-impact zal doen afnemen, omdat er een daling in de gebruiksfase zal zijn. Om de resultaten van de verschillende scenario's toch onderling op een goede manier te kunnen vergelijken, wordt ook telkens de milieu-impact per jaar berekend.

De onderstaande tabellen tonen de totale milieu-impact en de totale milieu-impact per jaar van het renovatie- en herbouwscenario voor de oorspronkelijke aanname en de vier varianten.

SCENARIO	MILIEU-IMPACT RENOVATIE (Pt)	MILIEU-IMPACT HERBOUW (Pt)
0	1630,77	2468,95
1	2115,59	2954,42
2	1145,96	2468,95
3	1630,77	2954,42
4	1145,96	1983,48

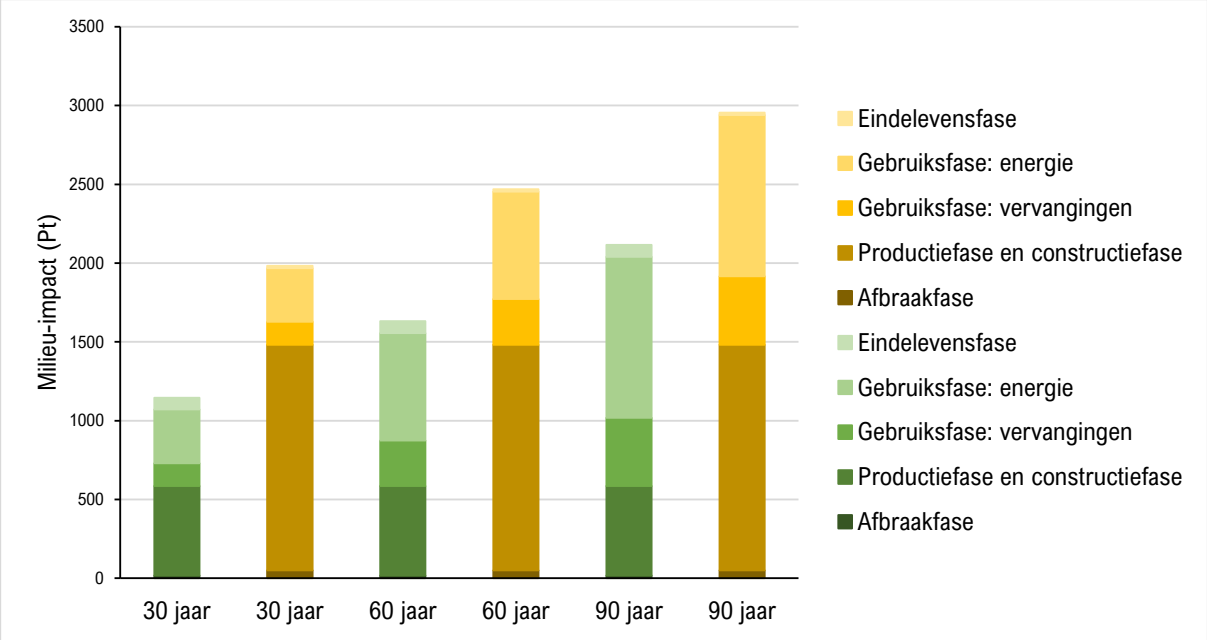
Tabel 14: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (scenario referentieperiode)

SCENARIO	MILIEU-IMPACT RENOVATIE (Pt/jaar)	MILIEU-IMPACT HERBOUW (Pt/jaar)
0	27,18	41,15
1	23,51	32,83
2	38,20	41,15
3	27,18	32,83
4	38,20	66,12

Tabel 15: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario per jaar (scenario referentieperiode)

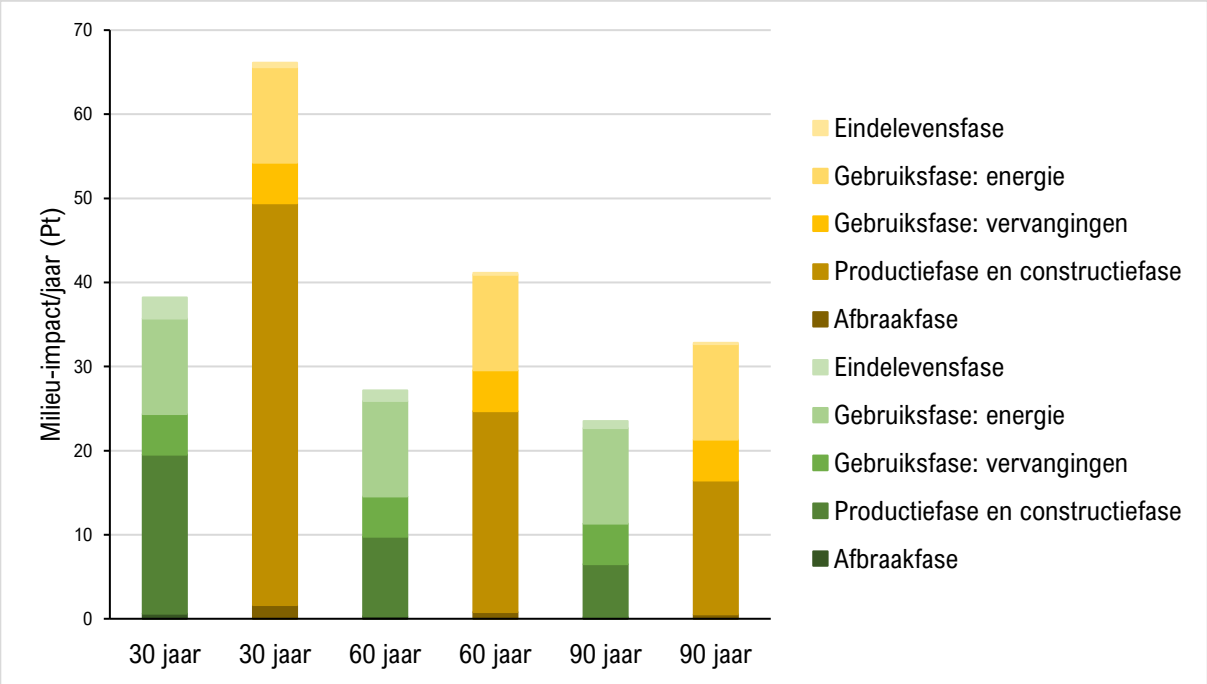
Het verschil in milieu-impact per jaar bedraagt voor het originele scenario 14 milieupunten, voor de eerste variant 9, voor de tweede variant 3, voor de derde variant 6 en voor de vierde variant 28. Het verschil tussen de milieu-impact per jaar van het renovatiescenario en de milieu-impact per jaar van het herbouwscenario neemt zeer uiteenlopende waarden aan. Het kleinste verschil wordt bekomen bij de tweede variant, waarbij als referentieperiode 30 jaar voor renovatie en 60 jaar voor herbouw wordt aangenomen. Toch blijft renovatie nog steeds de beste optie in vergelijking met herbouw op vlak van milieu-impact. Het grootste verschil wordt bekomen bij de laatste variant. Een referentieperiode van 30 jaar voor beide scenario's zorgt ervoor dat de keuze veel sneller naar renovatie zal gaan, aangezien de milieu-impact per jaar van herbouw veel hoger ligt.

Bij de onderstaande grafieken wordt de totale milieu-impact en de totale milieu-impact per jaar van renovatie en herbouw voor de verschillende referentieperiodes met elkaar vergeleken.



Figuur 62: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario (scenario referentieperiode)

Figuur 62 toont dat een scenario met een grotere referentieperiode hoger scoort op vlak van milieu-impact dan een scenario met een kleinere referentieperiode. Wanneer de levenscyclusfasen bestudeerd worden, is het duidelijk dat de verandering plaatsvindt in de gebruiksfase. De overige levenscyclusfasen blijven constant.



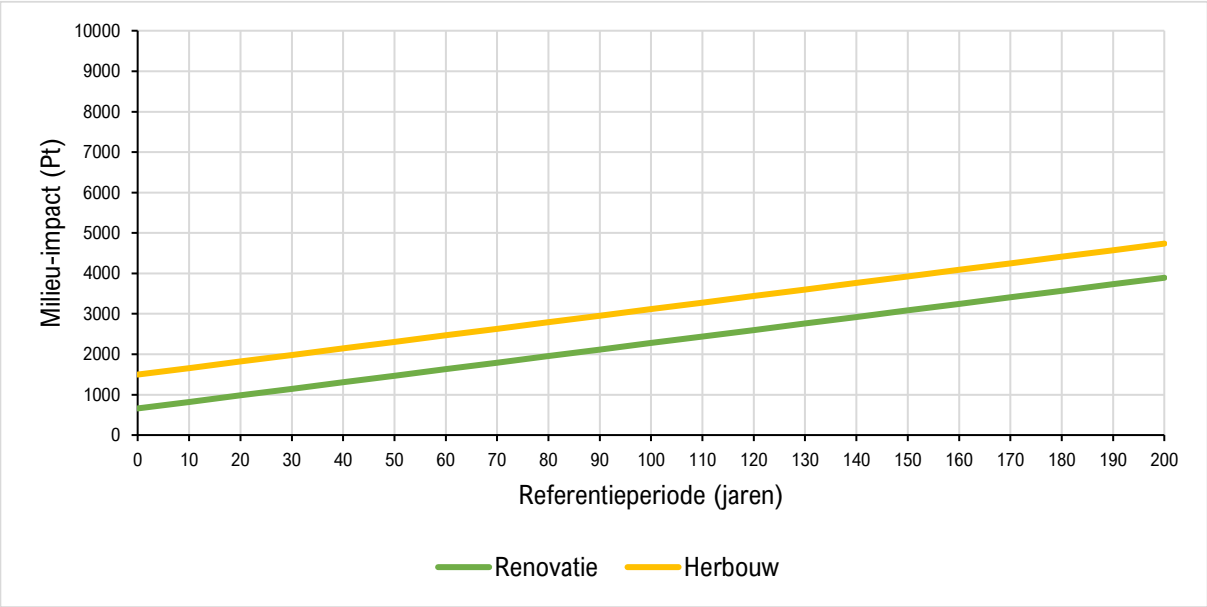
Figuur 63: Passief renovatiescenario versus passief herbouwscenario per jaar (scenario referentieperiode)

Bij Figuur 63, die de milieu-impact per jaar toont, valt een omgekeerde trend op te merken. De milieu-impact per jaar is lager wanneer er een grotere referentieperiode wordt aangenomen dan wanneer er een kleinere referentieperiode wordt aangenomen. Bij de milieu-impact per jaar is het niet de gebruiksfase die verandert bij een wisselende referentieperiode, maar zijn het de andere fasen die

wijzigen. De milieu-impact per jaar van de afbraak-, productie-, constructie- en eindelevensfase neemt af. Dit is logisch, aangezien de milieu-impact van deze fasen niet verandert, maar deze wel gedeeld wordt door een getal dat toeneemt naargelang de referentieperiode groter wordt. Hierdoor daalt de milieu-impact per jaar. De milieu-impact per jaar van de gebruiksfase zal in tegenstelling tot de totale milieu-impact van de gebruiksfase, zoals getoond op Figuur 62, geen toename ondervinden, maar zal constant blijven. Er kan besloten worden dat een hogere referentieperiode of levensduur zorgt voor een hogere totale milieu-impact en voor een lagere milieu-impact per jaar.

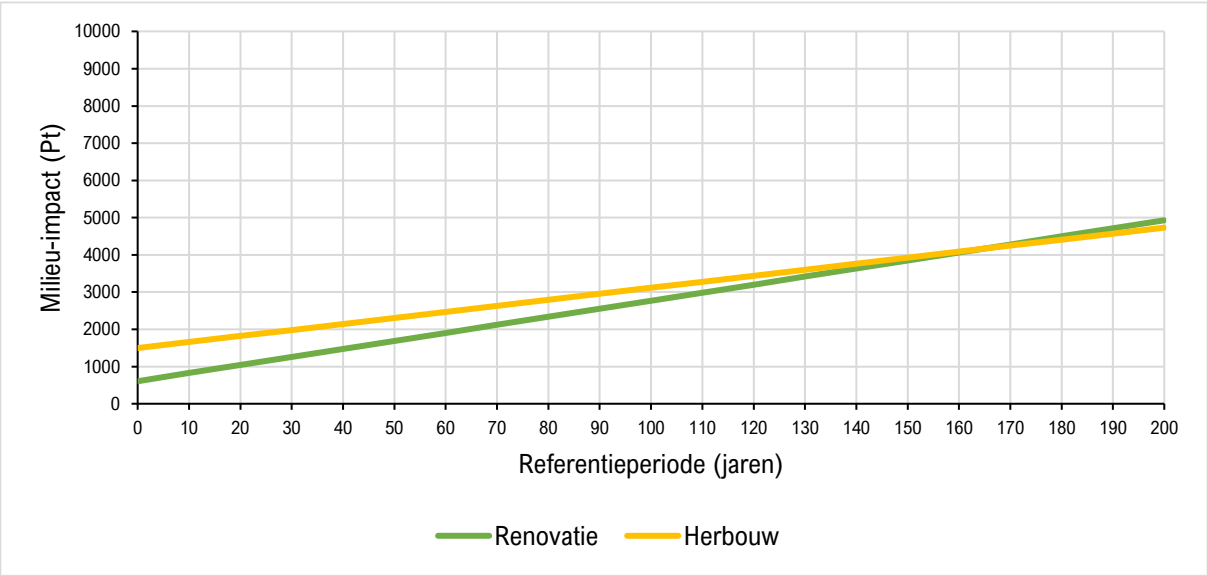
In het volgende deel wordt er op een omgekeerde manier te werk gegaan. In plaats van de levensduur of referentieperiode van het passieve renovatie- en herbouwscenario te laten variëren en vervolgens het effect op de totale milieu-impact te bestuderen, wordt nu aan de hand van de totale milieu-impact van een renovatie- en herbouwscenario op zoek gegaan naar vanaf welke levensduur herbouw op vlak van milieu beter scoort dan renovatie. Het moment waarop dit gebeurt, wordt het kantelpunt genoemd. Hierbij is de totale milieu-impact van beide scenario's gelijk. Dit wordt uitgetest voor vijf verschillende renovatiescenario's met een K-peil tussen 20 en 181. Als herbouwscenario wordt telkens het scenario aangenomen waarbij aan de passieve richtwaarden wordt voldaan.

Aan de hand van de onderstaande grafieken, waarbij telkens op de x-as de referentieperiode staat en op de y-as de totale milieu-impact in milieupunten, wordt voor de vijf vergelijkingen tussen renovatie en herbouw onderzocht op welke referentieperiode het kantelpunt plaatsvindt.



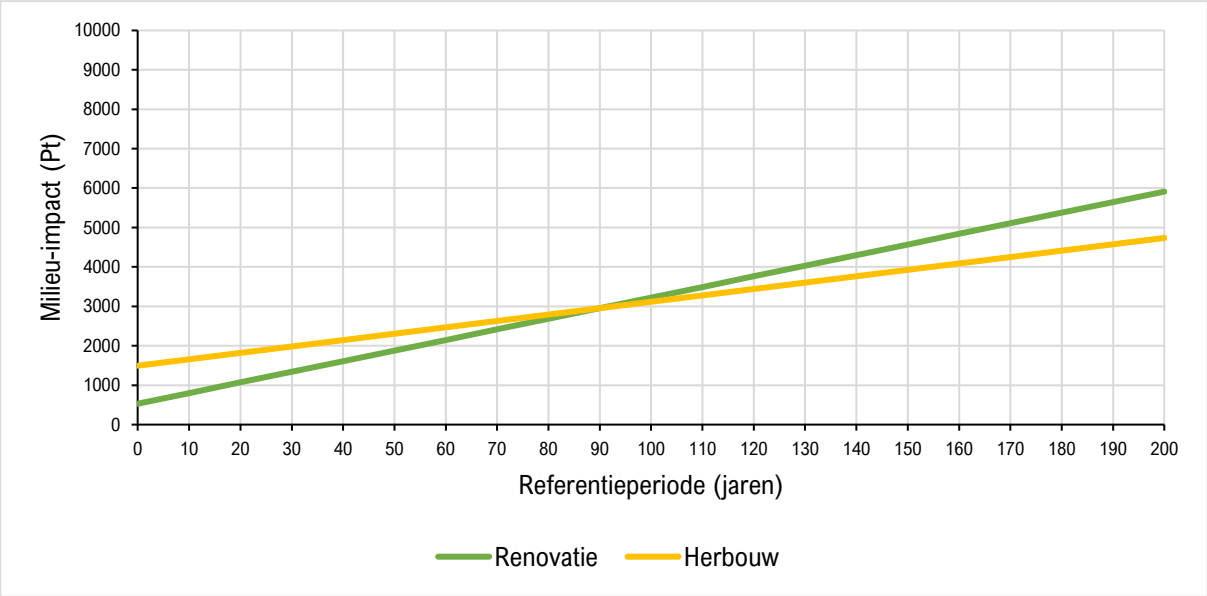
Figuur 64: Milieu-impact in functie van referentieperiode (renovatie K20)

Op de bovenstaande grafiek wordt de milieu-impact van het passieve renovatiescenario vergeleken met die van het passieve herbouwscenario. Beide scenario's beschikken over een K-peil van 20. Een wijziging in referentieperiode heeft enkel invloed op de gebruiksfase. Aangezien de gebruiksfase quasi gelijk is bij beide scenario's, zal hun milieu-impact gelijkmatig toenemen of afnemen en zal er geen kantelpunt of kruising tussen de twee curves op de grafiek gevonden worden.



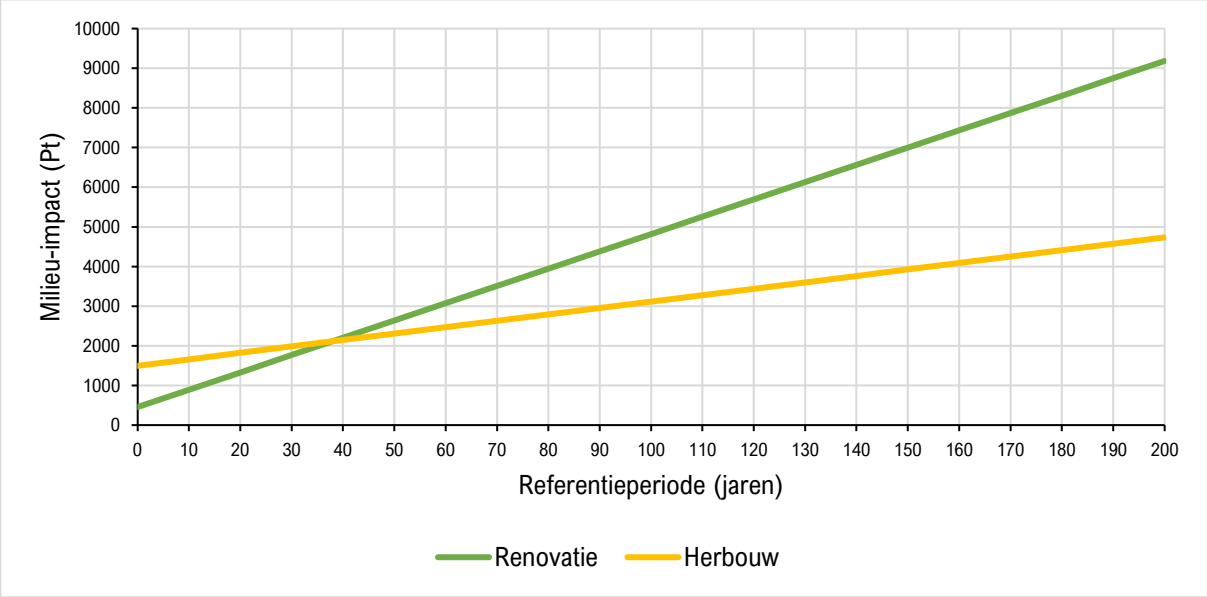
Figuur 65: Milieu-impact in functie van referentieperiode (renovatie K29)

Vervolgens wordt de vergelijking gemaakt tussen een passief herbouwscenario en een renovatiescenario met een K-peil van 29. Doordat het K-peil van het renovatiescenario hoger is dan het K-peil van het herbouwscenario, zal de gebruiksfase niet langer gelijk zijn bij beide scenario's. De energieverliezen zullen bij het renovatiescenario groter zijn dan bij het herbouwscenario, waardoor op lange termijn de milieu-impact van herbouw lager zal worden dan de milieu-impact van renovatie. Het moment waarop dat gebeurt, wordt het kantelpunt genoemd. Aan de hand van de bovenstaande grafiek wordt gevonden dat het kantelpunt, bij een renovatiescenario met een K-peil van 29, plaatsvindt wanneer de referentieperiode ongeveer 165 jaar is. De milieu-impact van renovatie en herbouw zal dus gelijk zijn aan elkaar, wanneer een referentieperiode van 165 jaar wordt aangenomen en de renovatie een K-peil van 29 behaalt. Wanneer de referentieperiode kleiner is dan 165 jaar, heeft het renovatiescenario een lagere milieu-impact. Wanneer de referentieperiode groter is dan 165 jaar, heeft het herbouwscenario een lagere milieu-impact.



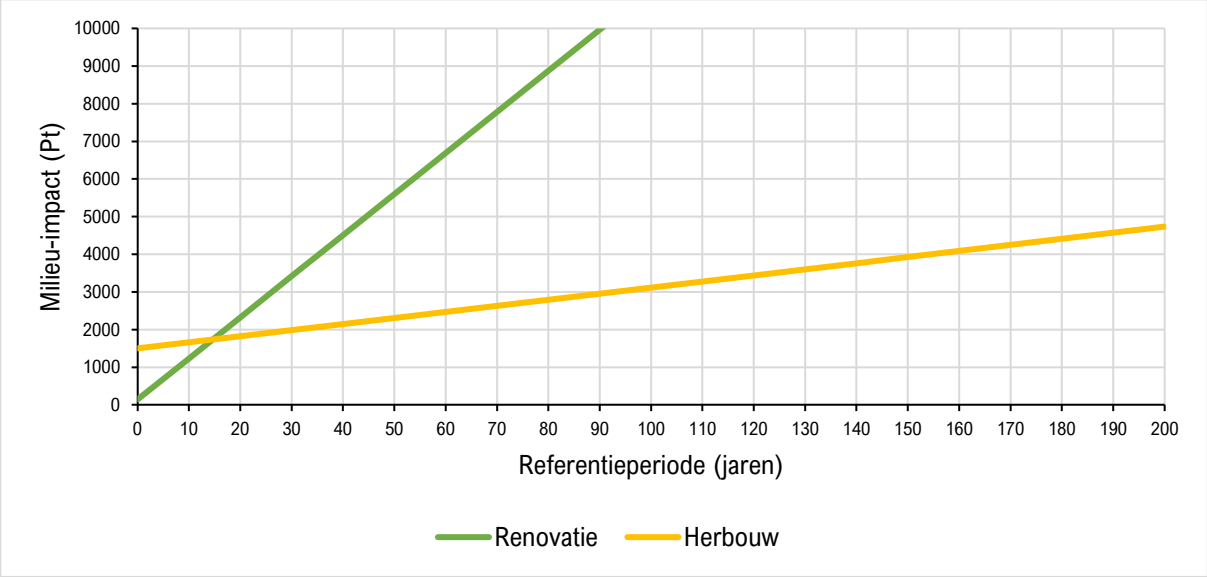
Figuur 66: Milieu-impact in functie van referentieperiode (renovatie K38)

Wanneer de thermische prestatie van de renovatie nog verder afneemt en de waarde van het K-peil verhoogt naar 38, kan er aan de hand van de bovenstaande grafiek vastgesteld worden dat het kantelpunt verschuift naar links. Dit is een gevolg van de grotere energieverliezen en bijgevolg ook hogere milieu-impact van het renovatiescenario, waardoor de helling van de curve steiler verloopt. De milieu-impact van het passieve herbouwscenario zal gelijk zijn aan de milieu-impact van het renovatiescenario met K-peil 38, wanneer de referentieperiode of levensduur van de rijwoning voor beide scenario's ongeveer 90 jaar bedraagt.



Figuur 67: Milieu-impact in functie van referentieperiode (renovatie K68)

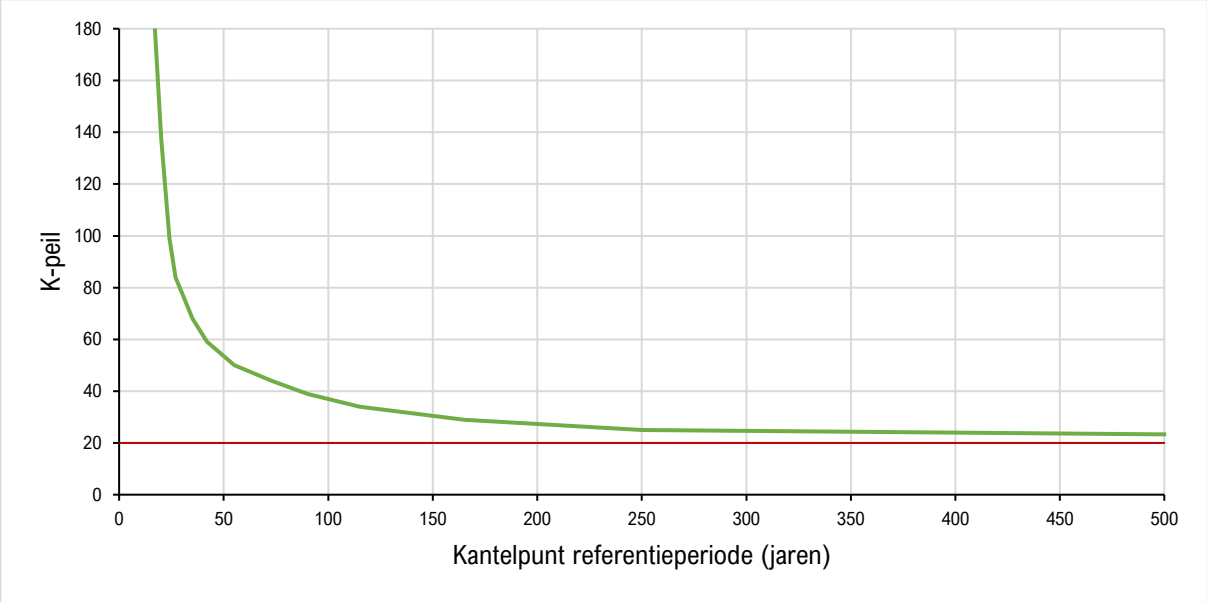
Wanneer de waarde van het K-peil van het renovatiescenario verhoogd wordt naar 68 en het herbouwscenario nog steeds een K-peil van 20 heeft, is er opnieuw een verschuiving van het kantelpunt naar links. Ongeveer bij een referentieperiode van 35 jaar zal de totale milieu-impact van beide scenario's gelijk zijn. Als de levensduur van de vooropgestelde scenario's minder is dan 35 jaar, dan zal renovatie als beste optie uit de vergelijking komen. Als de levensduur van de vooropgestelde scenario's meer is dan 35 jaar, dan is herbouw de beste keuze.



Figuur 68: Milieu-impact in functie van referentieperiode (renovatie K181)

Bij de bovenstaande grafiek heeft de gerenoveerde woning een K-peil van 181. Dit komt overeen met het K-peil van de bestaande toestand, wat betekent dat er dus bij deze renovatie niet thermisch gerenoveerd wordt. De totale milieu-impact van het renovatiescenario bevat dus geen renovatiewerken, maar wel de opfrissingswerken, de vervangingen, het energiegebruik en de afbraak op het einde van de levensduur. Het is opmerkelijk dat al heel snel de herbouw een lagere milieu-impact heeft, namelijk vanaf een referentieperiode van 15 jaar. Dit is opnieuw te wijten aan de energieverliezen. Bij de nieuwbouw wordt er geïsoleerd tot de passieve norm, waardoor bij de opbouw (op jaar 0) de milieu-impact hoog is, maar waardoor tegelijk ook de energieverliezen klein zijn en het herbouwscenario tijdens zijn levensduur slechts een beperkte extra milieu-impact zal krijgen. Dit in tegenstelling tot het renovatiescenario, waarbij de initiële milieu-impact door de beperkte ingrepen zeer klein is, maar waarbij de energieverliezen zeer groot zijn en dus ook de gebruiksfase bij een toenemende levensduur enorm zal stijgen.

Aan de hand van de bovenstaande grafieken is voor vijf renovatiescenario's met een verschillend K-peil opzoek gegaan naar het kantelpunt in referentieperiode, waarbij de totale milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario dezelfde is. In een volgende stap wordt dit verder uitgebreid en wordt er voor elk K-peil, waarover het renovatiescenario mogelijks kan beschikken in dit onderzoek, opzoek gegaan naar dat kantelpunt. De onderstaande grafiek geeft een overzicht van alle K-peilen op de y-as met bijhorend kantelpunt op de x-as. Op die manier kan er, wanneer de levensduur van een gebouw gekend is, opzoek gegaan worden naar het K-peil dat het renovatiescenario minstens moet halen om een lagere milieu-impact dan het passieve herbouwscenario te hebben.



Figuur 69: K-peil renovatie in functie van kantelpunt referentieperiode

De curve die bekomen wordt, loopt langs twee asymptoten. Enerzijds is er de verticale asymptoot, waarbij het kantelpunt in referentieperiode gelijk is aan nul jaar. Het is niet mogelijk om op jaar nul al een gelijke milieu-impact te bereiken tussen een renovatiescenario en het passieve herbouwscenario. Bij aanvang zal het renovatiescenario altijd een lagere milieu-impact hebben dan het passieve herbouwscenario, omdat de werkzaamheden bij renovatie minder intensief en milieubelastend zijn. Anderzijds is er de horizontale asymptoot. Deze ligt op een K-peil van 20, omdat dit het K-peil van het passieve herbouwscenario is. Als het renovatiescenario een K-peil heeft dat hieraan gelijk is, zoals bij Figuur 64 het geval is, ligt het kantelpunt in het oneindige. Dit is een gevolg van het feit dat twee scenario's met een gelijk K-peil ook een gelijke energie-impact hebben, waardoor de totale milieu-impact van beide scenario's bij een wijziging in referentieperiode dezelfde verandering ondergaat.

Hoe hoger het K-peil van het renovatiescenario, hoe lager de referentieperiode waarbij het kantelpunt tussen renovatie en herbouw zich voordoet. Bij een verschil in K-peil van groter dan 40 tussen het renovatie- en herbouwscenario zal al na 40 jaar of minder herbouw een lagere milieu-impact hebben dan renovatie en als beste optie naar voren komen. Bij een verschil in K-peil van kleiner dan 40 tussen het renovatie- en herbouwscenario zal pas ten vroegste na ongeveer 40 jaar herbouw een lagere milieu-impact hebben dan renovatie en als beste optie naar voren komen. De oorzaak ligt bij de gebruiksfase, die bij een scenario met een laag K-peil door de beperkte energieverliezen niet sterk zal toenemen. Dit in tegenstelling tot een scenario met een hoog K-peil, waarbij de energieverliezen per jaar groot zijn en de milieu-impact van de gebruiksfase wel sterk zal toenemen. Hierbij zal een stijgende referentieperiode ervoor zorgen dat de gebruiksfase en bijgevolg ook de totale milieu-impact enorm de hoogte ingaan.

Er kan besloten worden dat de referentieperiode of levensduur een belangrijke invloed uitoefent op de keuze tussen renovatie en herbouw. Als het renovatie- en herbouwscenario een gelijk K-peil hebben, is die rol minder belangrijk en zal renovatie altijd als beste optie uit de vergelijking komen. Als het K-peil van renovatie verschillend is van dat van herbouw, zal er een kantelpunt bestaan. De ligging van dit kantelpunt is afhankelijk van het verschil in K-peil tussen het renovatie- en herbouwscenario. Bij een groot verschil zal het kantelpunt sneller (na een kortere referentieperiode) plaatsvinden en bij een klein verschil zal het kantelpunt pas later (na een grotere referentieperiode) plaatsvinden.

8 DISCUSSIE

Het uitvoeren van een levenscyclusanalyse vergt een aantal methodologische keuzes, zoals uiteengezet in hoofdstuk 4. Bij elke LCA-studie zijn de bekomen resultaten onderhevig aan enige onzekerheid. In dit hoofdstuk worden verschillende onzekerheden, zoals parameter-, scenario- en modelonzekerheden, besproken. Op die manier wordt een beeld geschetst over de betrouwbaarheid van deze studie.

Als casestudy werd in dit onderzoek een eenvoudige rijwoning uit de jaren 60 gebruikt, die onderdeel is van een wijk met 30 quasi-identieke woningen van de sociale huisvestingsmaatschappij WoninGent. De in 1963 door architect P. Bourgeois opgestelde documenten zijn beperkt van omvang, waardoor niet alle nodige informatie voorhanden was. Aan de hand van plannen, details, geveltekeningen en doorsneden konden afmetingen exact worden overgenomen, maar de gebruikte materialen waren niet altijd gekend. Aan de hand van andere casestudy's uit dezelfde periode werd een inschatting gemaakt van de onbekende materialen. Er kan dus niet met zekerheid gesteld worden dat de aangenomen materialen volledig overeenkomen met de werkelijke materialen. Dit gaat echter over een onzekerheid die gerelateerd is aan een specifieke casestudy, terwijl er in dit onderzoek niet gezocht wordt naar een resultaat voor een specifieke casestudy, maar eerder naar een resultaat dat meer algemeen toepasbaar is op het Belgische gebouwenpark. In dat opzicht is een onzekerheid in materiaalgebruik niet bepalend voor het resultaat van het onderzoek.

Om de totale milieu-impact van het renovatie- en herbouwscenario te kunnen bepalen, moest van alle aanwezige en benodigde materialen de hoeveelheid in kilogram gekend zijn. Dit werd berekend door de volumes te vermenigvuldigen met de massadichtheid. Deze massadichtheden werden gehaald van verschillende internetbronnen, waarbij de waarden niet altijd overeen kwamen. Er werd wel getracht om zoveel mogelijk te werken met dezelfde bronnen. Wanneer de massadichtheid van een bepaald materiaal variaties had, zoals bij hout het geval was, werd er steeds voor gekozen om verder te werken met een gemiddelde waarde.

Het bepalen van de milieu-impact gebeurde met behulp van de softwaretool SimaPro. Deze software bevat meerdere databanken met info over verschillende materialen en processen. Voor dit onderzoek werd geopteerd voor de Zwitserse Ecoinvent databank. Elke activiteit die hierin aanwezig is, heeft een geografische locatie. Een Belgisch of Europees proces is echter niet altijd beschikbaar, waardoor er geopteerd moest worden voor data die gemiddelde waarden van de wereld representeren. Doordat de exactheid en betrouwbaarheid van deze gegevens minder groot is, vormt het gebruik hiervan een onzekerheid bij dit onderzoek. Daarnaast kan er door het gebruik van een LCI-database ook algemeen sprake zijn van dataonzekerheden.

Niet alleen gebruikte gegevens kunnen zorgen voor onzekerheid in het resultaat, maar ook het ReCiPe-model zelf. Om de milieu-impact van verschillende producten, elementen of gebouwen tegen elkaar af te wegen en een vergelijking tussen verschillende scenario's te kunnen uitvoeren, vormt de ééngetalscore een geschikte basis. Deze ééngetalscore geeft de globale milieu-impact weer en wordt bekomen door het uitvoeren van een normalisatie, een groepering en een weging. Vanwege deze ietwat artificiële aggregatie, moet voorzichtigheid aan de dag gelegd worden bij de concrete interpretatie van deze score.

Het resultaat van de LCA-studie is sterk afhankelijk van de aangenomen levensduur, zoals in 7.4 werd aangetoond. De levensduur van een gebouw is echter moeilijk te voorspellen, aangezien ze afhankelijk is van veel factoren, zoals de kwaliteit van de gebruikte materialen, de kwaliteit van de uitvoering, het onderhoud, de zorg van de gebruiker, enz. Tijdens de levensduur van een gebouw kunnen bovendien verschillende onvoorziene omstandigheden plaatsvinden die schade kunnen veroorzaken, waardoor het moeilijk is om de levensduur exact vast te leggen. Daarnaast is het ook niet eenvoudig om de levensduur van materialen vast te leggen. Het OVAM-rapport 'Technische levensduur van gebouwcomponenten' van *Vandenbroucke (2018)* bevat een overzicht van materialen samen met hun technische levensduur, die aan de hand van verschillende bronnen voor elk materiaal verzameld werd. Bovendien worden materialen of componenten in werkelijkheid meestal pas vervangen wanneer ze echt kapot zijn, waardoor de werkelijke levensduur vaak niet overeenkomt met de levensduur die fabrikanten aangeven. Ook hier hangt er veel af van de gebruiker.

Daarnaast zijn er ook heel wat onzekerheden over de eindelevensduur van de eengezinswoning. Bij de eindelevensfase moet er bepaald worden wat er op het einde van de levensduur van een gebouw zal gebeuren met de materialen en op welke manier ze behandeld zullen worden. Het is moeilijk om hiervan een voorspelling te maken, aangezien het einde van de levensduur van een gebouw in de verre toekomst ligt. Hoe er in de toekomst zal omgegaan worden met materialen en componenten eens ze niet meer in gebruik zijn, is moeilijk te voorspellen. Daarom, en ook omdat de eindelevensfase een relatief lage impact heeft in vergelijking met het totaal, wordt deze fase soms verwaarloosd bij een LCA-studie.

Ook in dit onderzoek worden bij sommige levenscyclusfasen een aantal verwaarlozingen of abstracties gemaakt. Zo wordt gebruik, onderhoud, herstel, renovaties en operationeel waterverbruik bij de gebruiksfase weggelaten en wordt er enkel rekening gehouden met vervangingen en operationeel energiegebruik. Het operationeel energiegebruik zelf is ook zeer vereenvoudigd berekend. Zo wordt er onder andere geen rekening gehouden met het gebruikersprofiel. Daarnaast liggen de voordelen van recyclage en hergebruik van materialen niet binnen de systeemgrenzen en worden ook technische en elektrische installaties niet mee in rekening genomen.

Er kan besloten worden dat er in de LCA-studie een aantal onzekerheden aanwezig zijn. Er werd echter telkens geprobeerd om deze tot het minimum te beperken en om steeds met logische aannames en op doordachte manier te werk te gaan. Hierdoor zullen de bovengenoemde onzekerheden slechts een minimale invloed hebben op de resultaten. Ze brengen de betrouwbaarheid van het onderzoek niet in gevaar, waardoor de gemaakte conclusies in het onderzoek als geldig aangenomen kunnen worden.

9 BESLUIT

Het doel van dit onderzoek was om meer inzicht te krijgen in het ecologisch debat tussen renovatie en herbouw van eengezinswoningen. Hoe verhouden renovatie en herbouw zich ten opzichte van elkaar op vlak van milieu-impact? Hoeveel performanter moet een nieuwbouwwoning zijn in vergelijking met een gerenoveerde woning om een betere milieuprestatie te hebben? Heeft een variatie in de bestaande toestand van de casestudy een grote invloed op het resultaat? Allemaal vragen waarop in deze studie een antwoord werd gezocht.

In een eerste luik werd de probleemstelling van het onderzoek duidelijk gemaakt. Het klimaat is aan het veranderen, de temperatuur op aarde stijgt. De wereldwijde CO_2-uitstoot is veel te hoog en moet dringend afnemen. De bouwsector speelt hierin een belangrijk rol, waardoor het steeds belangrijker wordt om rekening te houden met de milieu-impact die een bepaalde activiteit of proces in de bouwwereld kan hebben. Het Belgische gebouwenpark bestaat voor het overgrote deel uit energetisch slecht presterende woningen die dringend aangepakt moeten worden. Hieruit vloeit de vraag of er op vlak van milieu - en uitsluitend op dat vlak, dus abstractie makend van financiële overwegingen - voor renovatie of herbouw moet gekozen worden. Op deze vraag is momenteel nog geen eenduidig antwoord te bieden, zoals ook blijkt uit de bestudeerde literatuur. De vergelijking tussen renovatie en herbouw hangt namelijk af van verschillende factoren, zoals de energieprestatie van de gerenoveerde en nieuwe woning, de gekozen scenario's, de referentieperiode, de geometrische equivalentie, de locatie en de casestudy's.

Om te kunnen antwoorden op de vraag: hoe verhoudt renovatie zich ten opzichte van herbouw op vlak van milieu-impact, werd er vertrokken van een eengezinswoning uit 1963 als casestudy, waarbij geen thermische isolatie voorzien is. Er werd gevonden dat wanneer zowel de gerenoveerde als de nieuwe woning aan de passieve richtwaarden tegemoetkomen, renovatie beter uit de vergelijking komt. De sloop van de oude rijwoning gevolgd door de bouw van een nieuwe woning brengt een grote milieu-impact met zich mee, aangezien er heel wat materialen geproduceerd moeten worden.

Vervolgens werd de isolatiegraad van zowel de renovatie als de nieuwbouw gevarieerd om na te gaan hoeveel performanter een nieuwbouwwoning moet zijn in vergelijking met een gerenoveerde woning om een betere milieuprestatie te hebben. Er werd gevonden dat een kantelpunt zich voordoet wanneer het verschil in K-peil tussen de gerenoveerde en de nieuwe woning 27 bedraagt. Als de nieuwbouwwoning minder dan 27 K-peil punten beter scoort, zal renovatie als beste uit de vergelijking komen. Dit is het geval voor de renovatiescenario's waarbij de vier constructieonderdelen van de gebouwschil geïsoleerd worden of waarbij drie constructieonderdelen gerenoveerd worden en de vloer niet, uitgezonderd het scenario waarbij alle constructieonderdelen minimaal gerenoveerd worden en de vloer niet. In geval van al de andere renovatiescenario's, dus wanneer de nieuwbouwwoning meer dan 27 K-peil punten beter scoort dan de gerenoveerde woning, is herbouw de beste optie.

De invloed die een variatie in de bestaande toestand uitoefent op die keuze tussen renovatie en herbouw werd in het zesde hoofdstuk bestudeerd. De bestaande toestand werd onderworpen aan zeven verschillende variaties. Wanneer de bestaande toestand reeds voorzien was van isolatie, verlaagt de milieu-impact van de renovatiescenario's significant. Van zodra de vier constructiedelen van de gebouwschil van de bestaande woning voorzien zijn van isolatie of drie constructieonderdelen en de vloer niet, is renovatie altijd de beste optie. Indien deze gevallen zich niet voordoen, wordt er vanuit

milieuoogpunt best gekozen voor herbouw. Bij de overige variaties is de invloed op de milieu-impact van beide scenario's wel voelbaar, maar het effect op de keuze tussen renovatie en herbouw blijft eerder beperkt. Er werd gevonden dat voor een grotere woning de nieuwbouw 24 K-peil punten performanter moet zijn dan de gerenoveerde woning om een betere milieuprestatie te hebben. Als de woning een zadeldak heeft en er gekeken wordt per m^2 bruikbare vloeroppervlakte, moet de nieuwbouwwoning slechts 23 K-peil punten beter scoren. Wanneer de rijwoning opgebouwd is met een houten dakstructuur ligt het kantelpunt op een verschil in K-peil van 26. Daarnaast moet een nieuwbouwwoning die drie gevels heeft 25 K-peil punten beter scoren en een nieuwbouwwoning met vier gevels 23 K-peil punten. De kans dat in die gevallen herbouw als beste optie uit de vergelijking komt, is dus net iets groter in vergelijking met de originele rijwoning, maar het verschil is zeer beperkt. De raamoppervlakte en de vloerafwerking van de bestaande woning hebben een verwaarloosbare impact op de keuze tussen renovatie en herbouw. In de meeste gevallen zal de keuze tussen renovatie en herbouw dus onveranderd blijven.

In het zevende hoofdstuk werden een viertal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, waarbij onderzocht werd welke invloed bepaalde keuzes hebben op de bekomen resultaten, en in het laatste luik werden tot slot de onzekerheden van het onderzoek besproken. Hoewel deze masterproef theoretisch is, werd er gepoogd om de praktijk en realiteit zo goed mogelijk te simuleren. De exacte cijfers van de verschillende resultaten zijn case-specifiek, maar de conclusies die genomen zijn niet. Deze zijn, door het feit dat de casestudy representatief is voor het Belgische gebouwenpark, algemeen toepasbaar.

10 BIBLIOGRAFIE

Alba-Rodríguez, M. D., Martínez-Rocamora, A., González-Vallejo, P., Ferreira-Sánchez, A., & Marrero, M. (2017). Building rehabilition versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier.

Allacker, K., Debacker, W., Delem, L., De Nocker, L., De Troyer, F., Janssen, A., . . . Bronchart, S. (2018). *Environmental profile of building elements.* Mechelen: OVAM.

Assefa, G., & Ambler, C. (2017). To demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings. *Sustainable Cities and Society*. Elsevier.

Birgisdottir, H., Moncaster, A., Wiberg, A. H., Chae, C., Yokoyama, K., Balouktsi, M., . . . Malmqvist, T. (2017, 08 24). *Evaluation of embodied energy and CO2 for building construction.* Opgehaald van ScienceDirect.

Bureau voor Normalisatie. (2012). NBN EN 15804: Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen voor producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten. Brussel.

Bureau voor Normalisatie. (2012). NBN EN 15978: Duurzaamheid van constructies - Beoordeling van milieuprestaties van gebouwen - Rekenmethode. Brussel.

De energiedoelstellingen tegen 2050 voor de Vlaamse woningen. (sd). Opgehaald van https://www.energiesparen.be/energiedoelstellingen-tegen-2050

Debacker, W., Allacker, K., De Troyer, F., Janssen, A., Delem, L., Peeters, K., . . . Van Dessel, J. (2012). *Milieugerelateerde materiaalprestatie van gebouwelementen.* Mechelen: Danny Wille, OVAM.

Delem, L., Janssen, A., Vrijders, J., & Wastiels, L. (2020). *The impact of materials needed for renovation and new housing.* OVAM.

Ecochain. (2019, 05 03). *Levenscyclusanalyse (LCA) – Een Volledig Overzicht*. Opgehaald van Ecochain: https://ecochain.com/nl/knowledge/levenscyclusanalyse-life-cycle-assessment-lca-complete-beginners-guide/

Ecoinvent. (sd). Opgehaald van Ecoinvent: www.ecoinvent.org

EKBouwadvies. (2009). *Lambda waarde materialen*. Opgehaald van Tabellen: http://www.ekbouwadvies.nl/tabellen/lambdamaterialen.asp

Eskilsson, P. (2015, 06). Renovate or rebuild? - a comparison of the climate impact from renovation compared to demolition and new construction for a multi-dwelling building built in the era of the "Million Programme" using life cycle assessment. Göteborg.

European Commission. (sd). *2050 long-term strategy*. Opgehaald van https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

Fabio Fantozzi, C. C. (2019). *Energie upgrading of residential building stock: use of life cycle cost analysis to assess interventions on social housing in Italy.* Pisa, Italy.

FOD Economie. (2021, 02 17). *Het Nationaal Energie- en Klimaatplan 2021-2030*. Opgehaald van https://economie.fgov.be/nl/themas/energie/energiebeleid/belgische-context/het-nationaal-energie-en

Government UK. (2014, 02 12). *Standard Assessment Procedure*. Opgehaald van GOV.UK: https://www.gov.uk/guidance/standard-assessment-procedure

Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Building and Environment*. Elsevier.

Heylen, K., & Vanderstraeten, L. (2019). *Wonen in Vlaanderen anno 2018.* Leuven: Steunpunt Wonen.

International Organization for Standardization. (2006, 07). ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Genève.

International Organization for Standardization. (2006, 07). ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Genève.

Janssen, A., Wastiels, L., & Delem, L. (2013). *Levenscyclusanalyse of LCA.* WTCB.

Jorgji, O., Di Bari, R., Lenz, K., Gantner, J., & Horn, R. (2019). Analysing the impact of retrofitting and new constuction through probabilistic life cycle assessment. A method applied to the environmental-economic payoff value of an intervention case in the Albanian building sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 323*. IOP Publishing.

Marique, A.-F., & Rossi, B. (2018). Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium. *Journal of Environmental Management*. Elsevier.

McGrath, T., Nanukuttan, S., Owens, K., Basheer, M., & Keig, P. (2013). Retrofit versus new-build house using life-cycle assessment. *Proceedings of the ICE - Engineering Sustainability*, 122-137.

Meijer, A., & Kara, E. (2012). Renovation or rebuild? An LCA case study of three types of houses.

OVAM. (2020, 07 15). *De impact van bouwen: wees energie en materiaalzuinig*. Opgehaald van https://www.ovam.be/de-impact-van-bouwen-wees-energie-en-materiaalzuinig

Palacios-Munoz, B., Peuportier, B., Gracia-Villa, L., & López-Mesa, B. (2019). Sustainability assessment of refurbishment vs. new constructions by means of LCA and durability-based estimations of buildings lifespans: A new approach. *Building and Environment*. Elsevier.

Pittau, F., Amato, C., Cuffari, S., Iannaccone, G., & Malighetti, L. (2019). Environmental consequences of refurbishment vs. demolition and reconstruction: a comparative life cycle assessment of an Italian study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 296*. IOP Publishing.

Rønning, A., Vold, M., & Nereng, G. (2009). Refurbishment or Replacement of Buildings - What is Best for the Climate? Noorwegen.

Ramírez-Villegas, R., Eriksson, O., & Olofsson, T. (2019). Life Cycle Assessment of Building Renovation Measures - Trade-off between Building Materials and Energy. *Energies*.

Recticel Insulation. (2020). *Isolatiebarometer 2020.* Opgehaald van Recticel Insulation: www.isolatiebarometer.be

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2018, 11 02). *LCIA: het ReCiPe model*. Opgehaald van RIVM: https://www.rivm.nl/life-cycle-assessment-lca/recipe

SEV. (2003). *Bouwen met tijd: Een praktische verkenning naar de samenhang tussen levensduur, kenmerken.* Oudekerk aan de Ijsel: Drukkerij Goos.

Sié, M., Payet, J., & Rieser, T. (2016). Renovation versus reconstruction: What is the best alternative from an environmental point of view?

Statbel. (sd). *Kadastrale statistiek van het gebouwenpark, België en gewesten*. Opgehaald van Statbel: https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=dade64a8-39c8-498e-9736-16a27ef618a0

Steeman, M. (2021). *Duurzaam bouwen.* Gent.

Tabel dichtheid. (sd). Opgehaald van Dichtheid: https://dichtheid.wordpress.com/tabel-dichtheden/

The Sustainable Energy Authority of Ireland. (2012). *Dwelling Energy Assessment Procedure (DEAP).* Dublin.

Thomsen, A., & van der Flier, K. (2009). Replacement or renovation of dwellings: the relevance of a more sustainable approach. *Building Research & Information*, 649-659.

Van den Bergh, K. (2019, 01 18). *CO2-uitstoot van je woning verminderen: wat kan jij doen?* Opgehaald van Bouw-energie: https://bouw-energie.be/nl-be/blog/post/co2-uitstoot-van-je-woning-verminderen

Van Wylick, Arnhemse Fijnhouthandel, Bouwcentrum Advies. (sd). *Volumieke massa*. Opgehaald van Joostdevree: https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/volumieke_massa.htm

Vandenbroucke, M. (2018). *Rapport - Technische levensduur van gebouwcomponenten.* OVAM.

Verbeeck, G., & Cornelis, A. (2011, 07). Renovation versus demolition of old dwellings: Comparative analysis of costs, energy consumption and environmental impact. Louvain-la-Neuve, België.

Vlaamse overheid. (2020, 08). *Emissie van broeikasgassen door huishoudens*. Opgehaald van Milieurapport: https://www.milieurapport.be/sectoren/huishoudens/emissies-afval/broeikasgassen

Vlaamse overheid. (2020, 01). *Maximaal toelaatbare U-waarden.* Opgehaald van Energiesparen: https://www.energiesparen.be/sites/default/files/atoms/files/epbuwaarden2018.pdf

Vlaamse overheid. (2020, 08). *Totale CO2-emissie per industriële deelsector*. Opgehaald van Milieurapport: https://www.milieurapport.be/sectoren/industrie/emissies-afval/co2-emissie-per-deelsector

Vlaamse overheid. (2020, 04 02). *U-waarde bij vernieuwen, verbouwen of na-isoleren*. Opgehaald van Energiesparen: https://www.energiesparen.be/EPB-pedia/U-en-R-waarde/vernieuwen-verbouwen?language=nl

Vlaamse overheid. (2020). *Vlaams Energie- en Klimaatplan 2021-2030*. Opgehaald van Energiesparen: https://omgeving.vlaanderen.be/vlaams-energie-en-klimaatplan-2021-2030

Vlaamse overheid. (2021). *Transmissie referentie document.*

Vlaamse overheid. (sd). *Bruikbare vloeroppervlakte*. Opgehaald van Energiesparen: https://www.energiesparen.be/EPB-pedia/bruikbare-vloeroppervlakte

Vlaamse overheid. (sd). *Renovatiepact*. Opgehaald van Energiesparen: https://www.energiesparen.be/renovatiepact

Vlaamse overheid. (sd). *Wat is hoogrendementsglas*. Opgehaald van Energiesparen: https://www.energiesparen.be/hoogrendementsglas/wat

Vlaamse Regering. (2020). *Langetermijnstrategie voor de renovatie van Vlaamse gebouwen.*

Wastiels, L., Janssen, A., Decuypere, R., & Vrijders, J. (2016). Demolition versus deep renovation of residential buildings: case study with environmental and financial evaluation of different construction scenarios. *Expanding Boundaries: Systems Thinking for the Built Environment.*

BIJLAGEN

Bijlage A: Materialen SimaPro

Bijlage B: Scenario voor transport van bouwmaterialen van fabriek naar werf (OVAM)

Bijlage C: Levensduur en vervangingen materialen (OVAM)

Bijlage D: Afvalscenario’s SimaPro

Bijlage E: Afvalscenario's voor de 37 in MMG beschouwde afvalcategorieën (OVAM)

Bijlage A: Materialen SimaPro

MATERIAAL	MATERIAAL SIMAPRO
beton (funderingen - vloerplaten - dakplaat - trap - hellingsbeton)	Concrete, medium strength {GLO}| market group for concrete, medium strength | Cut-off, S
blauwe hardsteen	Natural stone plate, cut {GLO}| market for | Cut-off, S
cellenbeton	Autoclaved aerated concrete block {GLO}| market for | Cut-off, S
cementbezetwerk	Cement mortar {GLO}| market for | Cut-off, S
cementmortel (nieuwbouw - lijm, grondpleister, sierpleister (ETICS))	Cement mortar {RoW}| cement mortar production, hand-mixed, on-site | Cut-off, S
cementtegels	Cement tile {GLO}| market for | Cut-off, S
dakpannen	Roof tile {GLO}| market for | Cut-off, S
dekvloer	Cement cast plaster floor {GLO}| market for | Cut-off, S
drievoudig glas	Glazing, triple, U<0.5 W/m2K {RER}| production | Cut-off, S
eikenhout (plaat schrijnwerk - binnendeuren - balken plat dak - spanten schuin dak - tengellatten en panlatten - plankenvloer - trap)	Sawnwood, board, hardwood, dried (u=10%), planed {GLO}| market for | Cut-off, S
eikenhout (raamkader)	Window frame, wood, U=1.5 W/m2K {RER}| production | Cut-off, S
enkel glas	Flat glass, uncoated {RER}| market for flat glass, uncoated | Cut-off, S
EPDM	Bitumen seal, polymer EP4 flame retardant {RER}| production | Cut-off, S
gevelsteen en klinkaert	Clay brick {RER}| production | Cut-off, S
gips	Stucco {GLO}| market for | Cut-off, S
glasvezel (wapeningsnet (ETICS))	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up {RER}| production | Cut-off, S
hoogrendementsglas	Glazing, double, U<1.1 W/m2K, laminated safety glass {RER}| production | Cut-off, S
	MIN 1x Flat glass, uncoated {RER}| market for flat glass, uncoated | Cut-off, S
	PLUS 1x Flat glass, coated {RER}| market for flat glass, coated | Cut-off, S
isolatiepluggen	Polyethylene, high density, granulate {RER}| production | Cut-off, S
kalkmortel (bestaande toestand)	Lime mortar {GLO}| market for | Cut-off, S
keramische tegels	Ceramic tile {GLO}| market for | Cut-off, S
minerale wol	Stone wool {GLO}| market for stone wool | Cut-off, S
multiplexplaat (onderdak)	Plywood, for outdoor use {RER}| market for | Cut-off, S
PE-folie (dampscherm dak - vloer)	Polyethylene, low density, granulate {RER}| production | Cut-off, S
polyestertapijt	Fibre, polyester {GLO}| market for fibre, polyester | Cut-off, S
snelbouwsteen	Light clay brick {GLO}| market for | Cut-off, S
verf	Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {RER}| market for alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state | Cut-off, S

BIJLAGE B: SCENARIO VOOR TRANSPORT VAN BOUWMATERIALEN VAN FABRIEK NAAR WERF (OVAM)

PRODUCT GROUP/MATERIAL CATEGORY	ARRANGEMENT OF TRANSPORTATION		MEANS OF TRANSPORTATION FROM							AVERAGE TRANSPORT DISTANCE OF TRANSPORTATION FROM		
	% directly from factory to site	% via an intermediary supplier	factory to site			factory to supplier	supplier to site			factory to site (km)	factory to supplier (km)	supplier to site (km)
			Lorry 16-32 ton (EURO 5)	Lorry 7.5-16 ton (EURO 5)	Lorry 3.5-7.5 ton (EURO 5)	Lorry >32 ton (EURO 5)	Lorry 16-32 ton (EURO 5)	Lorry 7.5-16 ton (EURO 5)	Lorry 3.5-7.5 ton (EURO 5)			
bulk materials for structural work (e.g. cement, sand, gravel, ...)	75%	25%	100%	0%	0%	100%	90%	10%	0%	100	100	35
poured concrete	100%	0%	100%	0%	0%	n/a	n/a	n/a	n/a	100	100	35
prefabricated products for structural work (e.g. beams, columns, ...)	100%	0%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	100	100	35
loose products (e.g. blocks, bricks, roof tiles, plasterboard, ...)	40%	60%	100%	0%	0%	100%	85%	15%	0%	100	100	35
insulation	40%	60%	100%	0%	0%	100%	85%	15%	0%	100	100	35
finishing products: floor coverings (e.g. carpet, linoleum, ceramic tiles, ...)	10%	90%	90%	10%	0%	100%	90%	10%	0%	100	100	35
finishing products: plasters (e.g. gypsum plaster, external plaster, ...)	40%	60%	50%	50%	0%	100%	50%	50%	0%	100	100	35
finishing products: cabinet work (e.g. window frames, stairs, ...)	90%	10%	50%	45%	5%	100%	40%	50%	10%	100	100	35
finishing products: paints and varnishes	10%	90%	0%	100%	0%	100%	0%	80%	20%	100	100	35
installations (e.g. heating boiler, radiator, ventilation)	0%	100%	n/a	n/a	n/a	100%	0%	80%	20%	100	100	35

Bijlage C: Levensduur en vervangingen materialen (OVAM)

MATERIAAL	AANGENOMEN LEVENSDUUR (JAAR)	AANTAL VERVANGINGEN (REFERENTIEPERIODE 60 JAAR)
beton (funderingen - vloerplaten - dakplaat - trap - hellingsbeton)	70	0
blauwe hardsteen	60	0
cellenbeton	60	0
cementbezetwerk	50	0
cementmortel (nieuwbouw - lijm (ETICS) - grondpleister (ETICS) - sierpleister (ETICS))	60	0
cementtegels	40	1
dakpannen	60	0
dekvloer	70	0
drievoudig glas	40	1
eikenhout (binnendeuren - balken plat dak - spanten schuin dak - trap)	50	0
eikenhout (plankenvloer)	10	5
eikenhout (raamkader - plaat schrijnwerk)	40	1
eikenhout (tengellatten en panlatten)	30	1
enkel glas	40	1
EPDM	20	2
gevelsteen en klinkaert	60	0
gips	40	1
glasvezel (wapeningsnet (ETICS))	50	0
hoogrendementsglas	40	1
isolatiepluggen	60	0
kalkmortel (bestaande toestand)	60	0
keramische tegels	50	0
minerale wol	60	0
multiplexplaat (onderdak)	30	1
PE-folie (dampscherm dak - vloer)	40	1
polyestertapijt	20	2
snelbouwsteen	60	0
verf	10	5

Bijlage D: Afvalscenario's SimaPro

MATERIAAL	AFVALSCENARIO SIMAPRO
beton (funderingen - vloerplaten - dakplaat - trap - hellingsbeton)	Waste concrete {RoW}| market for waste concrete | Cut-off, S
blauwe hardsteen	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
cellenbeton	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
cementbezetwerk	Waste cement, hydrated {RoW}| market for waste cement, hydrated | Cut-off, S
cementmortel (nieuwbouw - lijm (ETICS) - grondpleister (ETICS) - sierpleister (ETICS))	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
cementtegels	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
dakpannen	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
dekvloer	Waste concrete {RoW}| market for waste concrete | Cut-off, S
drievoudig glas	Waste glass {BE}| market for waste glass | Cut-off, S
eikenhout (plaat schrijnwerk - binnendeuren - balken plat dak - spanten schuin dak - tengellatten en panlatten - plankenvloer - trap)	Waste wood, untreated {BE}| market for waste wood, untreated | Cut-off, S
eikenhout (raamkader)	Waste wood, untreated {BE}| market for waste wood, untreated | Cut-off, S
enkel glas	Waste glass {BE}| market for waste glass | Cut-off, S
EPDM	Waste bitumen {RoW}| market for waste bitumen | Cut-off, S
gevelsteen en klinkaert	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
gips	Waste gypsum plasterboard {GLO}| market for | Cut-off, S
glasvezel (wapeningsnet (ETICS))	Waste glass {BE}| market for waste glass | Cut-off, S
hoogrendementsglas	Waste glass {BE}| market for waste glass | Cut-off, S
isolatiepluggen	Waste polyethylene {BE}| market for waste polyethylene | Cut-off, S
kalkmortel (bestaande toestand)	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
keramische tegels	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
minerale wol	Waste mineral wool {RoW}| market for waste mineral wool | Cut-off, S
multiplexplaat (onderdak)	Waste wood, untreated {BE}| market for waste wood, untreated | Cut-off, S
PE-folie (dampscherm dak - vloer)	Waste polyethylene {BE}| market for waste polyethylene | Cut-off, S
polyestertapijt	Waste textile, soiled {GLO}| market for | Cut-off, S
snelbouwsteen	Waste brick {RoW}| market for waste brick | Cut-off, S
verf	Waste paint on wall {GLO}| market for | Cut-off, S

Bijlage E: Afvalscenario's voor de 37 in MMG beschouwde afvalcategorieën (OVAM)

PRODUCT GROUP / WASTE CATEGORY	DESCRIPTION	LANDFILL (%)	INCINERATION (%)	REUSE (%)	RECYCLING (%)	SORTED ON BUILDING SITE (%)
Stony & glass	Bricks, roof tiles	5%	0%	0%	95%	75%
	Bulk materials (e.g. sand, gravel, expanded clay grains)	5%	0%	95%	0%	90%
	Concrete	5%	0%	0%	95%	75%
	Flat glass	5%	0%	0%	95%	70%
	Other stony waste (e.g. tiles, natural stone, slates, sand-lime blocks)	5%	0%	0%	95%	75%
	Porcelain and ceramics (e.g. toilet, bath, washbasin)	15%	0%	0%	85%	75%
Wood	Chemically treated, impregnated wood (e.g. railway sleepers, wood used for carports, outdoor playsets, garden screens)	0%	100%	0%	0%	40%
	Composite wood products (e.g. fibreboards (like plywood, chipboard, OSB, MDF), veneer, laminate)	0%	95%	0%	5%	40%
	Surface treated, solid wood (e.g. painted or varnished (like window frames, solid parquet))	0%	85%	0%	15%	40%
	Untreated, uncontaminated wood (e.g. roofs, structures, formworks, auxiliary timber)	0%	25%	0%	75%	40%
Metals	Metals: iron, steel, non-ferro (copper, brass, aluminium, lead, zinc, tin)	5%	0%	0%	95%	85%
Packaging (on construction site)	EPS packaging	10%	30%	0%	60%	50%
	Pallets	0%	40%	20%	40%	50%
	Paper and cardboard packaging	0%	5%	0%	95%	50%
	Plastic films packaging	5%	60%	0%	35%	50%
Insulation materials	Mineral insulation materials (e.g. stone wool, glass wool)	50%	50%	0%	0%	0%
	Organic insulation materials (e.g. vegetable fibres (like wood, coconut, hemp, flax), cellulose (in bulk or blankets), sheep wool, cork (in bulk or boards))	5%	95%	0%	0%	0%
	Synthetic insulation materials (e.g. polyurethane (PUR), polyisocyanurate (PIR), extruded polystyrene (XPS), phenolic foam, expanded polystyrene (EPS))	5%	95%	0%	0%	0%
Fibre cement products	Fibre cement products (e.g. fibre cement slabs or slates)	100%	0%	0%	0%	75%

PRODUCT GROUP / WASTE CATEGORY	DESCRIPTION	LANDFILL (%)	INCINERATION (%)	REUSE (%)	RECYCLING (%)	SORTED ON BUILDING SITE (%)
Gypsum elements	Gypsum elements (e.g. gypsum blocks, gypsum (fibre/plaster)boards)	80%	0%	0%	20%	50%
Aerated / cellular concrete	Aerated autoclaved concrete (e.g. elements, blocks)	70%	0%	0%	30%	30%
Bitumen	Bitumen (e.g. bituminous roofing, vapour barrier, waterproofing membrane)	85%	5%	0%	10%	0%
Polyolefins (PP, PE)	Polyolefins (PP, PE) (e.g. kraft paper or polyethylene (PE) vapour barrier, ducts), excluding packaging	10%	85%	0%	5%	0%
Elastomers	Elastomers (e.g. EPDM roofing)	90%	0%	0%	10%	0%
PVC	PVC cabling (e.g. electric cables and wire insulation)	10%	40%	0%	50%	0%
	PVC pipes (e.g. for sewerage)	10%	30%	0%	50%	0%
	PVC profiles (e.g. window frames)	10%	45%	0%	45%	0%
	PVC sheets (e.g. PVC roofing, waterproofing membranes (like for swimming pools))	20%	65%	0%	15%	0%
Supple flooring	Supple flooring (e.g. linoleum, fixed carpet, vinyl)	0%	95%	0%	5%	0%
Finishing layers	Finishing layer fixed to stony waste (e.g. plaster (like gypsum plaster, calcareous plaster, loam plaster), paint, coatings, adhesives)	5%	0%	0%	95%	0%
	Finishing layer fixed to wood, plastic or metal (e.g. paint, coatings, adhesives)	0%	100%	0%	0%	0%
Remaining waste	Combustible remaining waste	0%	100%	0%	0%	0%
	Non-combustible remaining waste	100%	0%	0%	0%	75%
Other hazardous waste	Aerosols and kits (e.g. PU foam, silicones)	0%	100%	0%	0%	100%
	Asbestos (bounded, unbounded)	100%	0%	0%	0%	100%
	Fluorescent lamps	30%	0%	0%	70%	100%
	Liquid construction site waste (e.g. paints, adhesives, resins, form mould oil, white spirit)	0%	75%	0%	25%	100%