

Individuele koolstofarme verwarmingsoplossingen voor de renovatie van rijwoningen in een dense stedelijke omgeving

Studie uitgevoerd door Universiteit Gent in opdracht van en in samenwerking met Stad Gent

April 2026

**ir.-arch. Hannelore Scheipers, dr. ir.-arch. Yanaika Decorte,
dr. ir.-arch. Eline Himpe, prof. dr. ir.-arch. Arnold Janssens**
Onderzoeksgroep Bouwfysica

ir. Alixe Degelin, dr. ir. Robin Tassenoy, prof. dr. ir. Michel De Paepe
Onderzoeksgroep STFES (Sustainable Thermo-Fluid Energy Systems)

 FACULTEIT INGENIEURSWETENSCHAPPEN
EN ARCHITECTUUR

Datum

17-04-2026

Versie

Versie 1.0

Toegang

Publiek

Referentie naar het rapport

Toegang via <https://biblio.ugent.be/>

Auteurs

ir.-arch. Hannelore Scheipers, dr. ir.-arch. Yanaika Decorte,
dr. ir.-arch. Eline Himpe, prof. dr. ir.-arch. Arnold Janssens
ir. Alixe Degelin, dr. ir. Robin Tassenoy, prof. dr. ir. Michel De Paepe

Onderzoeksgroep

[Bouwfysica](#)

Vakgroep Architectuur en stedenbouw - Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

[STFES - Sustainable Thermo-Fluid Energy Systems research team](#)

Department of Electromechanical, Systems and Metal Engineering

Contactgegevens auteurs UGent

Eline.Himpe@UGent.be; Arnold.Janssens@UGent.be

Context van deze studie

Deze studie werd uitgevoerd in kader van de Samenwerkingsovereenkomst tussen het stadsbestuur van Gent en de Universiteit Gent / EnerGhentIC "Transitie naar Fossielvrije Wijken" (2021-2025), met co-financiering van de Europese Unie via het EU programma HORIZON-MISS-2021-CIT-02-04 project NEUTRALPATH onder overeenkomst nr. 101096753. Standpunten en meningen zijn van de auteurs en reflecteren niet per se deze van de Europese Unie, die er niet verantwoordelijk voor gesteld kan worden.

Meer weten over onze samenwerking en projecten?

Ga naar: <https://www.energhentic.be/swogent> en <https://neutralpath.eu>

Of contacteer onze aanspreekpunten:



**Co-funded by
the European Union**

SPOC Stad Gent

Ir. Indra Van Sande (indra.vansande@stad.gent)

SPOC UGent / EnerGhentIC

dr. Eline Himpe (eline.himpe@ugent.be)

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	4
Lijst met afkortingen	9
1 Projectbeschrijving	10
2 Vooronderzoek	11
2.1 Wijkanalyse	11
2.2 Akoestiek: exploratie geluidsvermogen warmtepompen	15
2.3 Exploratie potentieel PVT	17
3 Methodologie	20
3.1 Basiscase	20
3.2 Renovatiescenario's	21
3.3 Dimensionering	23
3.4 Dynamische gebouwsimulaties	24
3.5 Financiële kost	26
4 Resultaten	32
4.1 Basisanalyse	32
4.2 Invloed isolatiegraad	40
4.3 Invloed alternatieve dimensionering	48
4.4 Invloed efficiënt comfort	51
4.5 Implementatie	54
5 Beperkingen van de studie	62
6 Conclusie en discussie	65
Referenties	69
Bijlagen	71

SAMENVATTING

Context en probleemstelling

Steden moeten versneld omschakelen naar koolstofarme verwarming en warmwateropwekking om de klimaatdoelstellingen te behalen. Voor kleine rijwoningen in een denses stedelijke context is deze transitie echter bijzonder uitdagend. De combinatie van smalle perceelbreedtes, een vaak beperkte isolatiegraad en het gebrek aan buitenruimte en binnenruimte voor de integratie van technieken maakt de implementatie van individuele koolstofarme oplossingen voor verwarming en sanitair warm water complex. Hierbij rijst de vraag of individuele systemen een haalbare en valabele optie zijn voor deze specifieke woningtypologie.

Doelstelling

Deze studie onderzoekt het potentieel en de restricties van individuele verwarmings- en sanitair warmwateroplossingen voor kleine rijwoningen in een denses stedelijke context, toegepast op de wijk Muide Meulestede in Gent. Verschillende koolstofarme oplossingen worden beoordeeld en vergeleken vanuit verschillende perspectieven: energieverbruik, comfort, financiële kost, implementatiemogelijkheid van technieken en akoestiek.

Methode

De studie vertrekt vanuit een typologische analyse van een deel van de wijk. De rijwoningen dateren uit de 19^e en vroege 20^e eeuw, hebben een gevelbreedte van circa vier meter en beschikken over vaak meerdere aanbouwen met variabele diepte. Uit de typologische analyse wordt een basisgeometrie geselecteerd die vaak voorkomt: een rijwoning met een hoofdgebouw van 4 op 5 meter en een gevelbrede aanbouw op het gelijkvloers van 8 meter diep en op de verdieping van 4 meter diep.

Op basis van verschillende huisbezoeken blijkt dat de huidige isolatiegraad sterk varieert: de daken zijn meestal matig tot goed geïsoleerd, de ramen bevatten altijd minstens dubbel glas en soms al hoogrendementsglas, maar de buitenmuren en de vloer op volle grond zijn vaak nog niet geïsoleerd. Daarom worden drie startscenario's opgesteld: een niet-geïsoleerde woning, een woning waarvan de daken al conform de huidige energiestatistiekregelgeving geïsoleerd zijn en een woning waarvan zowel de daken als ramen reeds conform zijn. Daarnaast worden ook twee renovatiescenario's meegenomen, waarbij de volledige gebouwschil conform geïsoleerd wordt met of zonder isolatie van de vloer op volle grond.

Verder hebben alle bezochte woningen een centraal verwarmingssysteem met een condenserende gasketel en radiatoren. De bewoners verwarmen echter vaak slechts een deel van hun woning. Voor de overstap naar koolstofarme verwarming en sanitair warmwateropwekking worden drie warmtepompconfiguraties onderzocht: een lucht-luchtwarmtepomp (LL WP) gecombineerd met een elektrische boiler voor sanitair warm water en een lucht-waterwarmtepomp (LW WP) en PVT-warmtepomp (PVT WP) met een geïntegreerde boiler. Deze warmtepompconfiguraties worden afgewogen ten opzichte van een basisscenario met elektrische convectoren (EC) en een elektrische boiler. Een overzicht van de beschouwde systeemconfiguraties is weergegeven in Fig.1.

Voor de dimensionering van de systemen worden warmteverliesberekeningen uitgevoerd volgens normen NBN EN 12831-1 en NBN EN 12831-1 ANB:2020. De warmtevraag, het energieverbruik en de efficiëntie van de warmteopwekking worden bepaald aan de hand van dynamische gebouwssimulaties met de software Dymola. Daarnaast worden financiële prestaties beoordeeld op basis van zowel de investeringskost (afbraak- en constructiekost voor de gebouwschil en de technische installaties) als levenscycluskost over 30 jaar (investeringskost, vervangingskost en operationele energiekost). De akoestische impact van de buitenunits van luchtgebaseerde warmtepompen wordt op een vereenvoudigde wijze getoetst aan de Vlaamse Code van Goede Praktijk. Tot slot wordt de ruimtelijke integratie van de technieken voor twee concrete woningen afgetoetst.

Resultaten

Vergelijking van de koolstofarme verwarmingssystemen

De vier systeemconfiguraties werden toegepast op de woningtypologie voor een isolatiescenario waarbij de daken en ramen conform de huidige energieprestatie-eisen geïsoleerd zijn. Hieruit blijkt dat de drie warmtepompscenario's een vergelijkbaar energiegebruik hebben, dat minder dan de helft bedraagt dan het scenario met elektrische convectoren. Hoewel de lucht-lucht en PVT-warmtepomp een hogere energie-efficiëntie (uitgedrukt door de SCOP) dan de lucht-water warmtepomp hebben, zorgt de combinatie met een elektrische boiler, elektrische weerstandsverwarming en/of elektrische convector in de badkamer ervoor dat de totale systeemefficiëntie (SCOP) en bijgevolg het energiegebruik dicht bij elkaar liggen, waarbij de lucht-water warmtepomp uiteindelijk het best scoort op energetisch vlak.

Vanuit financieel oogpunt heeft het scenario met elektrische convectoren de laagste investeringskost, maar door de aanzienlijk hogere energiekost resulteert dit scenario al na 3 tot 10 jaar in de hoogste levenscycluskost. In het geval dat het dak en de ramen onvoldoende geïsoleerd zijn, wordt deze levenscycluskost nog groter. Bovendien zijn deze scenario's met matige tot lage isolatiegraad en elektrische convectoren het meest gevoelig voor fluctuaties in energieprijzen. Dit benadrukt de nood aan ondersteunende mechanismes die bewoners helpen de initiële investeringskost te overbruggen, zodat zij kunnen kiezen voor oplossingen met een lagere levenscycluskost en die meer bestand zijn tegen schommelingen in de energiemarkt. Van de drie warmtepompscenario's heeft de PVT-warmtepomp de hoogste investeringskost en de lucht-luchtwarmtepomp de laagste. De verschillen in levenscycluskost zijn daarentegen eerder beperkt. Gemiddeld komt de lucht-luchtwarmtepomp financieel het meest voordelig naar voren, zeker in een situatie waarin de huidige radiatoren onvoldoende zijn om de warmtevraag te dekken en bij de lucht-water- en PVT-warmtepompscenario's nieuwe ventilo-convectoren of grotere radiatoren geplaatst moeten worden. Bij hogere energieprijzen kan de financiële voorkeur dan weer verschuiven naar een lucht-water warmtepomp.

Isolatiegraad van de woning

Wanneer de huidige isolatiegraad van de woning laag is (dak en/of ramen voldoen niet aan huidige energieprestatie-eisen), blijken de vereiste warmtepompvermogens en aanvoertemperaturen hoog. Daarom is het aangewezen om minstens daken en ramen te renoveren vooraleer een warmtepomp te installeren. Zowel vanuit een energetisch als financieel oogpunt blijkt het echter doorgaans niet ongunstig om ook de muren te isoleren. Hierdoor daalt het benodigd vermogen van de warmtepomp en dus ook de investeringskost van de installatie. Deze renovatiegraad vraagt wel een hogere totale investeringskost door de bijkomende schilrenovaties, maar in totaliteit wordt de investeringskost volledig of toch grotendeels gecompenseerd door de lagere energiekost. Zeker wanneer een woning toch al opfrissingswerken nodig heeft (zoals het vervangen van binnen- of buitenafwerkingen), blijkt het isoleren van de muren kosteneffectief. Dan wordt de meerkost voor bijkomende isolatie immers beduidend kleiner, en wordt deze optie relatief voordeliger. Het installeren van een warmtepomp in combinatie met minstens dak- en raamrenovatie, en eventueel ook muurisolatie, resulteert in de laagste levenscycluskost en in een grotere robuustheid voor energieprijzfluctuaties (t.o.v. verwarming met elektrische convectoren). Een totaalrenovatie waarbij ook de vloer wordt aangepakt en nieuwe afgiftesystemen (vloerverwarming en ventilo-convectoren) worden geplaatst, heeft de hoogste investeringskost. Door de grote spreiding in deze investeringskost kan de levenscycluskost van een totaalrenovatie in het beste geval in de grootteorde liggen van de financieel optimale renovaties (de scenario's met dak- en raam- en/of muurisolatie) maar in het slechtste geval ongunstiger uitvallen dan niet-renoveren met elektrische convectoren. Deze grote spreiding in investeringskost wordt hoofdzakelijk bepaald door de gebouwschil, waarbij de vloerafwerking de grootste spreiding vertoont. Merk ook op dat dit totaalrenovatiescenario uiteraard ook esthetische verbeteringen van de woning omvat (vb. nieuwe vloerafwerking), een hoger thermisch comfort biedt en eventueel de mogelijkheid tot (vloer)koeling, en robuuster is bij stijgende energieprijzen.

Dimensionering van de warmtepomp

Verder werden drie varianten op de dimensionering en regeling van de warmtepomp onderzocht. Een eerste variant bekijkt de impact van het al dan niet verlagen van de insteltemperatuur van de verwarming bij afwezigheid (wel of geen setbacktemperatuur). De invloed hiervan blijkt relatief klein. Geen setbacktemperatuur meenemen zorgt voor een beperkte stijging van het energiegebruik, die het grootst is bij de minder goed geïsoleerde woningen (dak en ramen conform de energieprestatieregelgeving). Tegelijk daalt het benodigde warmtepompvermogen met 14% tot 17%, afhankelijk van de isolatiegraad, en daardoor ook het geluidsvermogen en de investeringskost. De daling in investeringskost wordt over een periode van 30 jaar echter gecompenseerd door de hogere energiekost, waardoor de levenscycluskost nagenoeg gelijk blijft.

In een tweede variant wordt de warmtepomp ondergedimensioneerd, hetgeen een erg valabele optie blijkt. Zowel bij een dimensionering op 70% als op 40% daalt het energiegebruik licht. Dit komt doordat de warmtepomp een groter deel van de tijd in hogere deellast werkt, hetgeen gepaard gaat met een hogere energie-efficiëntie en dus betere SCOP. De ingebouwde elektrische weerstand, die bijspringt wanneer het vermogen van de warmtepomp ontoereikend wordt, moet bijna nooit inspringen bij de warmtepomp op 70%. Bij een 40% dimensionering gebeurt dit al vaker, maar dit wordt alsnog gecompenseerd door de verhoogde SCOP van de warmtepomp gedurende de rest van de tijd. Bovendien leidt de onderdimensionering in beide gevallen tot een aanzienlijke daling in de investeringskost van 14–29%, waardoor ook de levenscycluskost afneemt met 7–10%.

In een derde variant met suffiënt comfort worden enkel het gelijkvloers en de badkamer verwarmd, waarbij het gelijkvloers verwarmd wordt via een lucht-water warmtepomp en de badkamer met een elektrische convector. Het sanitair warm water wordt voorzien door een geïntegreerde boiler in de warmtepomp. Dit leidt tot een lager energiegebruik en een lagere investeringskost (kleinere warmtepomp) en levenscycluskost dan wanneer de volledige woning met een warmtepomp verwarmd wordt tot normcomfort. In deze woningtypologie is het verschil in energiegebruik bij het toepassen van suffiënt comfort in vergelijking met het volledig verwarmen van de woning tot normcomfort echter beperkt (10%). Dit is enerzijds het gevolg van de gekozen systeemconfiguratie waarbij enkel de leefruimte met de warmtepomp verwarmd wordt en de badkamer met een elektrische convector met een één-op-één efficiëntie, en anderzijds doordat in deze woningtypologie het trapgat in de leefruimte open is, en er dus grote warmteverliezen zijn naar de bovenliggende slaapkamers vanuit de verwarmde leefruimte. Mochten er toch bijkomend elektrische convectoren geplaatst worden om bij aanwezigheid de verdiepingen te verwarmen tot normcomfort, dan wordt de lagere investeringskost volledig tenietgedaan door een hogere energiekost, wat resulteert in een hogere levenscycluskost. Deze resultaten tonen aan dat het in deze typologie interessanter is om centrale verwarming met een ondergedimensioneerde warmtepomp te voorzien voor de volledige woning, waarbij alsnog een suffiënt verwarmingsprofiel kan toegepast worden indien gewenst om de energiekosten te drukken.

Deze studie bevestigt dus dat een goed (onder)gedimensioneerde warmtepomp voordelig is op vlak van energiegebruik en investeringskost, maar ook op vlak van implementatie: een kleinere warmtepomp neemt immers minder ruimte in beslag en zal in principe ook met lagere geluidsvermogens gepaard gaan. In het bijzonder in deze kleine woningen in dense omgeving kan een onderdimensionering het verschil maken tussen het wel of niet kunnen plaatsen van een warmtepomp op het perceel, zonder te moeten investeren in akoestische maatregelen in het geval van een luchtgebaseerde warmtepomp. Dit staat echter in contrast met de werkelijke installatiepraktijk, waarbij courant overgedimensioneerde warmtepompen geplaatst worden en het uitvoeren van een degelijke warmteverliesberekening nog geen standaard praktijk is. Het is daarom ook een belangrijke aanbeveling om de bewustwording en opleiding van installateurs hierrond te vergroten, en hen te ondersteunen met goede ontwerpmethodes en/of -tools.

Koolstofarme verwarming in een dense stedelijke context

Tot slot werd op basis van de bevindingen uit de analyse van de woningtypologie een schets gemaakt van mogelijke koolstofarme renovatiescenario's voor een deel van de wijk Muide-Meulestede waar deze en verwante typologieën frequent voorkomen. Door de typologie terug te plaatsen in de context van de wijk, konden concrete randvoorwaarden zoals de oriëntatie, aanwezigheid van private buitenruimte, etc. meegenomen worden om de haalbaarheid van de renovatiescenario's na te gaan op wijkniveau. Merk uiteraard op dat dit een indicatieve schets is, en dat reële mogelijkheden project-per-project dienen geëvalueerd te worden.

Gezien de aanbeveling om minstens de ramen en het dak conform hedendaagse energieprestatie-eisen te renoveren alvorens over te schakelen naar een koolstofarme oplossing, werd vertrokken van deze isolatiegraad en bijhorende inschattingen van de benodigde opwekkingsvermogens. De wijkanalyse toont aan dat in dat geval in geen enkele woning een luchtgebaseerde warmtepomp kan worden geplaatst zonder bijkomende akoestische maatregelen. Enerzijds om overlast naar de burens te vermijden bij een plaatsing op het plat dak (volgens de richtlijnen in de code van goede praktijk), anderzijds om overlast naar de bewoner zelf te vermijden bij een plaatsing op de koer. Dit terwijl een groot aantal woningen wel beschikt over een plat dak of een koer, wat de plaatsing van een buitenunit in principe mogelijk maakt.

Wanneer de woning volledig geïsoleerd wordt en de warmtepomp ondergedimensioneerd op 70%, dan wordt het voor alle typologieën in de wijk (behalve de 5 woningen van de typologie met een aanbouw op alle verdiepingen) wel mogelijk om een warmtepomp op het plat dak te plaatsen zonder bijkomende akoestische maatregelen. Dit onderstreept het belang van de akoestische dimensie. Zoals aangegeven in hoofdstuk 5 is weinig gedetailleerde informatie voorhanden over de geluidskarakteristieken van warmtepompbuitenunits. Verder onderzoek naar de akoestische impact van luchtgebaseerde warmtepompen, op basis van meer uitgebreide productgegevens en in situ metingen, is belangrijk om de resultaten van deze studie te verfijnen.

Voor een beperkt aantal woningen kan een warmtepomp gekoppeld aan PVT-panelen een oplossing bieden voor het akoestische probleem, al is dit sterk afhankelijk van het beschikbare dakoppervlak en de dakoriëntatie. Onderdimensionering van de warmtepomp en/of een hogere isolatiegraad van de woning vergroot het toepassingspotentieel van PVT-panelen, maar zelfs in het meest gunstige scenario beschikt niet elke woning over voldoende en gunstig georiënteerd dakoppervlak. Wel kunnen PVT-panelen in specifieke gevallen, bijvoorbeeld bij woningen zonder buitenruimte voor een buitenunit, maar met een gunstige dakoriëntatie, een alternatief bieden om toch een warmtepompsysteem toe te passen. De investeringskost van deze oplossing is hoger (ca. 3.000–3.500 euro, mits aftrek investering PV-panelen) dan een lucht-water warmtepomp, maar rekening houdend met een bijkomende akoestische omkasting voor de lucht-waterwarmtepomp, kunnen beide oplossingen in dezelfde kostenrange terecht komen.

Tot slot zijn er in de wijk een klein aantal woningen waar geen van de beschouwde warmtepompoplossingen haalbaar lijkt. Dit zijn woningen zonder koer, plat dak of geschikt georiënteerd dak (bv. hoekwoningen). In deze woningen kan eventueel teruggevallen worden op elektrische verwarming met convectoren, mits er wordt ingezet op een doorgedreven isolatie van de woning om de energiefactuur te beperken.

Het wordt niet aanbevolen om het basisscenario met volledige elektrische verwarming met elektrische convectoren op grote schaal uit te rollen. De investeringskosten lijken dan wel aantrekkelijk, maar een eventuele verzwaren van de elektriciteitsinstallatie is niet ingerekend, de energiekosten zijn hoog en de impact van schommelingen in de elektriciteitsprijs is bijgevolg ook hoog. Bovendien is de impact van dergelijke oplossingen op het elektriciteitsnet groot, daar het leidt tot veel hogere piekvermogens dan de warmtepompoplossingen. Het inschatten van de impact van deze koolstofarme oplossingen op het lokale elektriciteitsnet maakte geen deel uit van deze studie, maar lijkt een interessant vervolgonderzoek.

Ook in de gevallen waar enkel dak en ramen geïsoleerd zijn, blijft het ook op wijkniveau aan te bevelen om de isolatiegraad verder te verbeteren door de muren te isoleren, en eventueel ook de vloer (in combinatie met vloerverwarming/koeling). Dit reduceert niet alleen de energievraag, maar laat ook toe om de warmtepompvermogens te reduceren, hetgeen bovendien de geluidsvermogens van buitenunits, het aantal benodigde PVT-panelen en de investeringskost van de installatie reduceert, alsook de piekvermogens voor het elektriciteitsnet. Scenario's waarbij een sterk ondergedimensioneerde warmtepomp (bv. 40-50%) reeds geplaatst wordt na isoleren van de ramen en het dak, waarbij later bijkomende isolatiewerken uitgevoerd worden, zijn denkbaar.

Individueel of collectief?

Individuele luchtgebaseerde warmtepompsystemen zijn doorgaans een zeer evidente oplossing voor koolstofarme verwarming van woningen, met een relatief lage investeringskost ten opzichte van andere koolstofarme systemen, voor een vrij goede energie-efficiëntie en gemakkelijke plaatsing. In deze dichte stedelijke wijk met (te renoveren) rijwoningen op kleine perceelsbreedtes en met weinig buitenruimte, lijkt deze oplossing op haar grenzen te botsen. Met name de mogelijkheid om de buitenunit te plaatsen zonder risico op geluidshinder, blijkt, op basis van de informatie die voorhanden is, geen evidentie. Een combinatie van optimalisaties dringt zich op: een akoestische omkasting en/of diepgaande renovatie met onderdimensionering van het systeem. Indien het dak geschikt is (oriëntatie, vrij oppervlak) kan een PVT-warmtepomp een interessant alternatief zijn. Echter, geen van deze scenario's komt zonder meerkost. Voor enkelingen zijn geen van de onderzochte warmtepompoplossingen voor het bestaande gebouw op eigen perceel mogelijk (of moeten alternatieven geval per geval nader bekeken worden).

Deze studie focuste op oplossingen die binnen het perceel kunnen gerealiseerd worden. Collectieve oplossingen zoals het voorzien van geothermische boringen in de straat, het aansluiten op een warmtenet of het clusteren van energiesystemen van kleine groepen woningen, kunnen ook een valabele optie vormen, maar dienen verder onderzocht en afgewogen te worden. Uit deze studie kan wel meegenomen worden dat wanneer de afweging gemaakt wordt tussen individuele of collectieve oplossingen in dit type wijk, men ook voor de individuele systemen rekening dient te houden met meerkosten en/of andere impacten ten gevolge van de dichte bebouwing.

LIJST MET AFKORTINGEN

BK	Badkamer
COP	Coefficient of performance (prestatiecoëfficiënt)
EC	Elektrische convectoren
GV	Gelijkvloers
LL WP	Lucht-water warmtepomp
LW WP	Lucht-water warmtepomp
PVT WP	Photovoltaïsch-thermische warmtepomp
RV	Ruimteverwarming
SCOP	Seasonal coefficient of performance (seizoensprestatiecoëfficiënt)
SWW	Sanitair warm water
VD	Verdiepingen

1 PROJECTBESCHRIJVING

Om de klimaatdoelstellingen te behalen, is een overstap naar koolstofarme verwarming en warmwateropwekking noodzakelijk, ook in bestaande wijken met individueel eigenaarschap. Deze transitie kan gerealiseerd worden via oplossingen op verschillende schaalniveaus: individueel, kleinschalig collectief of collectief. Elke oplossing kent zijn voor- en nadelen op verschillende vlakken. Deze studie onderzoekt de haalbaarheid en prestatie van individuele koolstofarme systemen voor verwarming en warmwateropwekking in kleine rijwoningen in een dichte stedelijke context. Daarbij worden kleine woningtypologieën uit de Gentse wijk Muide-Meulestede als casestudie gebruikt en verschillende isolatiegraden worden onderzocht. De bestudeerde warmteopwekkingssystemen zijn enerzijds elektrische convectoren (basisscenario) en anderzijds verschillende warmtepompsystemen (lucht-lucht, lucht-water en water-water met fotovoltaïsch-thermische panelen), met elektrische of geïntegreerde boilers. De evaluatie houdt rekening met verschillende criteria: energiegebruik, comfort, financiële kost, implementatie van de technieken in de woning en op het perceel en akoestiek.

Dit rapport start in Hoofdstuk 2 met een vooronderzoek dat uit drie delen bestaat: (1) een wijkanalyse waarin de woningtypologieën, de huidige isolatiegraad, de huidige technische installaties en de verwarmingsprofielen worden geanalyseerd, (2) een vooronderzoek waarin de akoestische haalbaarheid van individuele luchtgebaseerde warmtepompen op vereenvoudigde wijze wordt geëvalueerd en (3) een exploratie naar het potentieel van fotovoltaïsche-thermische panelen als warmtebron voor warmtepompen. Hoofdstuk 0 beschrijft de gehanteerde methodologie. Op basis van de wijkanalyse wordt eerst een basiscase gedefinieerd, waarna verschillende renovatiescenario's voor zowel de gebouwschil als technische installaties worden uitgewerkt. Vervolgens worden de methodes voor de dimensionering van de installaties, de gebouwsimulaties en de financiële analyse toegelicht. Hoofdstuk 4 behandelt de resultaten van de studie. Eerst worden de energieprestaties en financiële kosten van de vier systeemconfiguraties, toegepast op de basiscase, beoordeeld en vergeleken. Daarna wordt de invloed van de isolatiegraad, het verwarmingsprofiel en de dimensioneringswijze onderzocht, en wordt ook ingegaan op de praktische implementeerbaarheid van de installaties en hun akoestische implicaties. In Hoofdstuk 5 en 6 worden tot slot de beperkingen van de studie en belangrijkste conclusies geformuleerd.

2 VOORONDERZOEK

2.1 Wijkanalyse

Dit onderzoek richt zich op kleine rijwoningen in een dense stedelijke context, waarvoor de Gentse wijk Muide-Meulestede als casestudie wordt gekozen (Figuur 1). De bestudeerde woningen zijn arbeiderswoningen uit de 19^e en vroege 20^e eeuw, gekenmerkt door een gevelbreedte van ongeveer vier meter en tweeënhalve bouwlaag met vaak diepe aanbouwen en beperkte buitenruimte. In deze voorstudie worden de woningtypologieën, de huidige isolatiegraad, de aanwezige technische installaties en hun gebruik gedocumenteerd aan de hand van een analyse van de bestaande toestand van de wijk.



Figuur 1 Luchtfoto van (een deel van) de wijk Muide-Meulestede.

2.1.1 Typologische analyse

In een eerste stap wordt een algemene screening uitgevoerd om de aanwezige woningtypologieën binnen een afgebakend deel van de wijk te identificeren (Figuur 2). De typologische analyse is gebaseerd op enkele huisbezoeken en luchtbeelden en 3D-beelden van Google Maps. Het is daarbij belangrijk op te merken dat deze analyse dus een ruwe inschatting vormt en kan afwijken van de werkelijkheid.

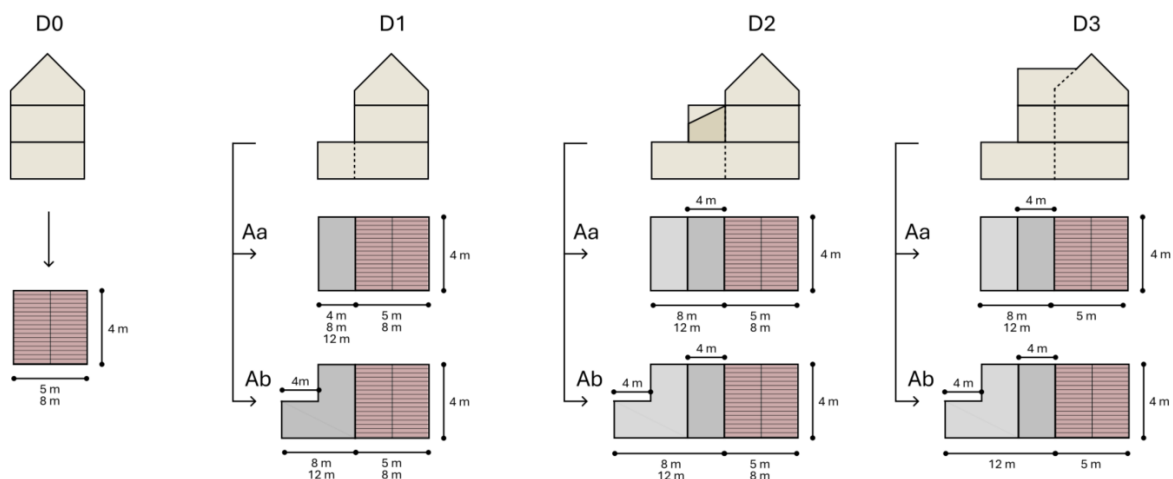
Zoals hierboven aangehaald, hebben de woningen een gevelbreedte van circa 4 meter. De diepte van het hoofdvolume van de woningen bedraagt ongeveer 5 of 8 meter. Beide dieptes komen frequent voor (Figuur 2a), hoewel 5 meter licht domineert. Dit hoofdvolume weerspiegelt de originele grootte van de woningen, maar heel wat woningen zijn intussen uitgebreid met één of meerdere aanbouwen aan de achterzijde.

Er worden vier doorsnedetypen onderscheiden gerelateerd aan deze aanbouwen: geen aanbouw (D0), enkel een gelijkvloerse aanbouw (D1), een aanbouw op zowel het gelijkvloers als op de eerste verdieping (D2) en een aanbouw op alle verdiepingen (D3). De verdeling van deze doorsnedetypen binnen het studiegebied is weergegeven in Figuur 2b. Daaruit blijkt dat een gelijkvloerse aanbouw het meest voorkomt, terwijl woningen zonder enige aanbouw of met een aanbouw op alle verdiepingen relatief zeldzaam zijn.



Figuur 2 Typologische analyse van een deel van de wijk: (a) diepte van het hoofdvolume en (b) doorsnedetypen gerelateerd aan de aanbouw.

Naast de doorsnedetypen vertonen de aanbouwen zelf aanzienlijke variaties in breedte en diepte. Figuur 3 illustreert de dimensies van het hoofdvolume en de aanbouw voor de vier doorsnedetypen. Op het gelijkvloers varieert de diepte van de aanbouw doorgaans tussen 4, 8 en 12 meter. Op de eerste verdieping is de aanbouw meestal beperkter in omvang, met een diepte rond 4 meter. De aanbouwen zijn doorgaans gevelbreed. In sommige gevallen blijft deze breedte behouden over de volledige diepte van de gelijkvloerse aanbouw (Aa), terwijl in andere gevallen slechts een deel van de aanbouw gevelbreed is en het resterende deel smaller (Ab).



Figuur 3 Overzicht van de dimensies van het hoofdvolume en de aanbouw voor de vier doorsnedetypen.

De woningen sluiten rechtstreeks aan op de rooilijn en beschikken over geen of slechts een zeer beperkte buitenruimte in de achtertuin. Dit vormt een belangrijke beperking voor de plaatsingsmogelijkheden van warmtepompen met buitenunit(s).

2.1.2 Huidige isolatiegraad

Hoewel de woningen oorspronkelijk niet geïsoleerd waren, kunnen er in de loop der jaren al verschillende renovatiemaatregelen doorgevoerd zijn. Daarnaast zijn de aanbouwen op andere

tijdstippen toegevoegd, waardoor hun isolatiegraad kan variëren. Hierdoor vertonen de woningen in de wijk vandaag een uiteenlopende isolatiegraad.

Aan de hand van vier huisbezoeken wordt nagegaan in welke mate de woningen geïsoleerd zijn. Dit gebeurt door informatie op te vragen bij de bewoners en, waar beschikbaar, via EPC-rapporten. Hieruit blijkt dat de huidige isolatiegraad sterk varieert tussen de bezochte woningen, zoals weergegeven in Tabel 1. De kleuren geven aan in welke mate isolatie aanwezig is, gaande van rood (niet geïsoleerd) tot groen (goed geïsoleerd, conform de huidige EPB-eisen [1]). Alle woningen beschikken wel al over enige isolatie.

Tabel 1 Huidige isolatiegraad van vier bezochte woningen per schielelement.

	Woning 1	Woning 2	Woning 3	Woning 4
Buitenmuren				
Hoofdvolume	●	●	●	●
Aanbouw +0	●	?	?	?
Aanbouw +1	●	?	?	●
Daken				
Hellend dak	●	●	●	●
Plat dak	●	●	●	●
Buitenschrijnwerk				
Ramen	●	●	●	●
Buitendeur	●	?	?	●
Vloer				
Vloer op volle grond	●	●	●	●

? Ongekend ● Niet geïsoleerd ● Matig geïsoleerd ● Goed geïsoleerd (conform EPB-eisen)

De buitenmuren zijn in geen van de bezochte woningen conform de huidige eisen en zijn vaak zelfs helemaal niet geïsoleerd; soms is de aanbouw op de eerste verdieping wel beperkt geïsoleerd. De daken zijn daarentegen in de meeste woningen geïsoleerd, doorgaans conform de actuele eisen. Alle woningen zijn voorzien van dubbele beglazing, al gaat het in de helft van de gevallen nog om oud dubbel glas. De isolatiegraad van de vloer op volle grond is wisselend, maar meestal onvoldoende om aan de huidige eisen te voldoen.

Op basis van deze analyse worden drie startscenario's gedefinieerd, elk met een verschillende isolatiegraad, zoals samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Startscenario's voor de gebouwschil per schielelement.

	S1: niets	S2: dak	S3: dak + raam
Buitenmuren			
Hoofdvolume +0	● U = 2.3 W/m ² .K	● U = 2.3 W/m ² .K	● U = 2.3 W/m ² .K
Hoofdvolume +1/+2	● U = 2.9 W/m ² .K	● U = 2.9 W/m ² .K	● U = 2.9 W/m ² .K
Aanbouw +0	● U = 2.9 W/m ² .K	● U = 2.9 W/m ² .K	● U = 2.9 W/m ² .K
Aanbouw +1/+2	● U = 2.9 W/m ² .K	● U = 0.6 W/m ² .K	● U = 0.6 W/m ² .K
Daken			
Hellend dak	● U = 0.7 W/m ² .K	● U = 0.24 W/m ² .K	● U = 0.24 W/m ² .K
Plat dak	● U = 0.6 W/m ² .K	● U = 0.24 W/m ² .K	● U = 0.24 W/m ² .K
Buitenschrijnwerk			
Ramen	● U = 3.3 W/m ² .K	● U = 3.3 W/m ² .K	● U = 1.5 W/m ² .K
Buitendeur	● U = 4.0 W/m ² .K	● U = 4.0 W/m ² .K	● U = 2.0 W/m ² .K
Vloer			
Vloer op volle grond	● U = 0.8 W/m ² .K	● U = 0.8 W/m ² .K	● U = 0.8 W/m ² .K

● Niet geïsoleerd ● Matig geïsoleerd ● Goed geïsoleerd (conform EPB-eisen)

In startscenario 1 (S1) is geen enkel schildeel geïsoleerd in overeenstemming met de huidige eisen. De buitenmuren, buitendeur en vloer op volle grond bevatten geen isolatie, terwijl de daken beperkt geïsoleerd zijn en de ramen bestaan uit oud dubbel glas. In startscenario 2 (S2) zijn de daken wel al geïsoleerd volgens de huidige eisen. De overige schielelementen blijven identiek aan S1, met uitzondering van de buitenmuur van de aanbouw op de verdieping, waarin reeds een beperkte hoeveelheid isolatie aanwezig is. Tot slot gaat startscenario 3 (S3) nog een stapje verder: naast de daken is in dit scenario ook het buitenschrijnwerk conform de EPB-eisen. Meer details over de concrete opbouwen per startscenario zijn terug te vinden in Bijlage A.

Naast de isolatiegraden worden de huisbezoeken eveneens gebruikt om de materialiteit van de opbouwen te bepalen. Ook hierin is variatie merkbaar, voornamelijk in de afwerkingslagen. Zo varieert de binnenafwerking van de buitenmuren tussen een binnenpleister of plaatmateriaal, terwijl de buitenafwerking kan bestaan uit baksteen, buitenpleister of een gevelbeplating (dit laatste enkel bij de matig geïsoleerde buitenmuur van de aanbouw). De binnenafwerking van de vloer varieert dan weer tussen vloertegels, laminaat of hout. De raamkaders en buitendeuren zijn tot slot uitgevoerd in hout of kunststof.

2.1.3 Huidige technische installaties

De technische installaties in de bezochte woningen zijn erg gelijkend, zoals weergegeven in Tabel 3. Alle woningen beschikken over een centraal verwarmingssysteem met condenserende gasketel en radiatoren. De gasketel wordt aangestuurd door een centrale thermostaat die zich in de leefruimte bevindt. De radiatoren in de andere ruimtes werken met een thermostatische kraan, maar zullen enkel verwarmen als er een warmtevraag is in de leefruimte, omwille van de thermostaatwerking die de gasketel aanstuurt.

In twee woningen bevindt de gasketel zich op het gelijkvloers, in de andere twee op de eerste verdieping. De gasketel voorziet ook sanitair warm water. In één woning is daarnaast nog een elektrische boiler in de keuken aanwezig.

Tabel 3 Huidige technische installaties in de bezochte woningen.

	Woning A	Woning B	Woning C	Woning D
Ruimteverwarming				
Opwekker	Condenserende gasketel	Condenserende gasketel	Condenserende gasketel	Condenserende gasketel
Locatie opwekker	Tuinberging +0	Technische ruimte +1	Technische ruimte +1	Keuken +0
Afgifte	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren
Sanitair warm water				
Opwekker	Condenserende gasketel	Condenserende gasketel	Condenserende gasketel + elektrische boiler (keuken)	Condenserende gasketel

2.1.4 Verwarmingsprofielen

De verwarmingsprofielen van de vier bezochte woningen liggen sterk uit elkaar, zoals zichtbaar in Tabel 4. Wel is de het type regeling van de centrale verwarming in alle woningen gelijk: de aansturing gebeurt via een centrale thermostaat (zie 2.1.3). In alle woningen worden enkele ruimtes niet verwarmd. Door de configuratie van de woning, waarbij er in de meeste woningen geen afzonderlijke traphal aanwezig is en de meeste ruimtes daardoor in verbinding staan, wordt het in de onverwarmde ruimtes zelden te koud volgens de bewoners.

Tabel 4 Verwarmingsprofielen en setpointtemperaturen bezochte woningen

	Woning A	Woning B	Woning C	Woning D
Leefruimte				
[°C]	20°C Setback 16°C	Handmatig: 17°C tot 21°C	Avond 20°C Dag 18°C Setback 16°C	21°C
[h]	6h30 – 7h30 16h – 22h	Als aanwezig	Als aanwezig	Permanent
Hoofdslaapkamer				
[°C]	Radiator uit	Radiator uit	Thermostaatkraan stand 1	Thermostaatkraan stand 3 (springt nooit aan)
[h]			Thermostaat leefruimte	Thermostaat leefruimte
Overige slaapkamers				
[°C]	Radiator uit	Radiator uit	Thermostaatkraan stand 2, soms hoger bij gebruik	Radiator uit
[h]			Thermostaat leefruimte	
Badkamer				
[°C]	Thermostaatkraan stand 5	Thermostaatkraan stand 5	Thermostaatkraan stand 1	Thermostaatkraan stand 4
[h]	Thermostaat leefruimte	Thermostaat leefruimte	Thermostaat leefruimte	Thermostaat leefruimte

2.2 Akoestiek: exploratie geluidsvermogen warmtepompen

In deze studie wordt onder meer de haalbaarheid en prestatie van individuele luchtgebaseerde warmtepompen onderzocht. In de onmiddellijke omgeving van de buitenunits van dergelijke warmtepompen kan echter geluidshinder optreden bij de burens (en bij de bewoners zelf). Gezien de erg dense stedelijke context met beperkte perceelbreedtes en beperkte buitenruimte, worden mogelijke akoestische beperkingen meegenomen in deze studie. Deze voorstudie documenteert alvast de geluidsvermogens van kwalitatieve warmtepompen op de markt en toetst deze aan de Vlaamse code van goede praktijk inzake de geluidsdruk veroorzaakt door buitenunits van warmtepompen. Merk op dat hierbij de focus ligt op mogelijke geluidshinder naar de burens, terwijl ook voor de bewoners zelf het geluid hinderlijk kan zijn.

2.2.1 Methode

Een inschatting van de akoestische haalbaarheid wordt gemaakt aan de hand van de Silent Heat Pump tool van Buildwise [2]. Dit is een tool die op vereenvoudigde wijze de geluidsdrukken inschat ten gevolge van warmtepompen. Er worden twee opties bekeken qua plaatsing van de buitenunit van de warmtepomp, namelijk een plaatsing op de koer van de woning, of op het plat dak van het bijgebouw.

De leidraad die gehanteerd wordt, is de Vlaamse Code van goede praktijk - Geluid van buitenunits van residentiële lucht-lucht (airco) en lucht-water warmtepompen [3]. De strengste eis geldt 's nachts, wanneer het geluidsdrukniveau van de warmtepomp maximaal 40 dB(A) mag bedragen op de perceelsgrens op het gelijkvloers, of ter hoogte van de ramen van de burens op de verdiepingen. Overdag mag het geluidsdrukniveau respectievelijk 45dB bedragen. Aangezien de afstand van de ramen tot de perceelsgrens kan variëren naargelang de specifieke case, is er in dit onderzoek aangenomen dat de eis telkens op de perceelsgrens volbracht moet worden, onafhankelijk of de warmtepomp op de koer of op een plat dak staat.

Met de tool wordt eerst gekeken wat het maximale geluidsvermogen van de warmtepomp mag zijn om de eis van 40 dB of 45 dB te halen. Daarna wordt aan de hand van concrete warmtepompen op de markt gekeken of aan deze eis voldaan wordt binnen de verschillende vermogensklassen die relevant zijn voor deze typologie, zonder extra geluiddempende maatregelen, zoals een omkasting.

De optie om de warmtepomp op het hellend dak te plaatsen wordt niet onderzocht. Bij de bezochte woningen was de kamer onder het hellend dak namelijk telkens in gebruik als slaapkamer op het

moment van bezoek, was deze een slaapkamer in het verleden of zijn er toekomstplannen om er een slaapkamer van te maken. Gezien de akoestische bezorgdheden (geluid van de buitenunit, trillingshinder naar de binnenomgeving) en plaatsgebrek om de installatie weg te werken, leek dit ons geen valabele optie om te onderzoeken.

2.2.2 Maximaal toegelaten geluidsvermogen (L_{WA})

Bij de eerste onderzochte plaatsingswijze wordt de warmtepomp in het midden van het platte dak tegen de muur geplaatst. Hierbij wordt aangenomen dat een afstand van twee meter tot de perceelsgrens kan worden aangehouden (gerekend tot het midden van de warmtepomp). Zonder akoestische afscherming mag de warmtepomp een geluidsvermogen hebben van 49,2 dB om 's nachts de grenswaarde van 40 dB geluidsdruk ter hoogte van de perceelsgrens niet te overschrijden en een geluidsvermogen van 54,2 dB om overdag te voldoen aan de maximale geluidsdruk van 45 dB.

In de tweede onderzochte plaatsingswijze wordt de warmtepomp op de koer, tegen de achtergevel op het gelijkvloers, geplaatst, waarbij een tuinmuur van twee meter hoog ($>10 \text{ kg/m}^2$) het geluid naar de burens toe dempt. Hierbij wordt ook aangenomen dat een afstand van twee meter tot de perceelsgrens kan worden aangehouden en dat de uitlaat van de warmtepomp niet naar de buur is gericht. In dit geval is het maximale toegelaten geluidsvermogen van de warmtepomp 59,2 dB 's nachts en 64,1 dB overdag. Deze maximale geluidsvermogens worden samengevat in Tabel 5.

Tabel 5 Ingeschatte toegelaten geluidsvermogens voor de buitenunits van luchtgebaseerde warmtepompen op basis van de Silent Heat Pump tool van Buildwise.

	Eis overdag (max geluidsdruk 45 dB op perceelsgrens)	Eis nacht (max geluidsdruk 40 dB op perceelsgrens)
Koer	64,1 dB	59,2 dB
Plat dak	54,2 dB	49,2 dB

2.2.3 Geluidsvermogens warmtepompen

Tabel 6 geeft de range aan geluidsvermogens weer voor verschillende thermische vermogensklassen van kwalitatieve lucht-water warmtepompen op de Belgische markt. Lucht-lucht warmtepompen zijn buiten beschouwing gelaten wegens een gebrek aan duidelijke data. Er zijn verschillende geluidsvermogens (L_{wa}) die opgenomen worden in de technische documentatie van warmtepompen: nominale geluidsvermogens, maximale geluidsvermogens en geluidsvermogens bij een geluidsgereduceerde werking. Echter, niet alle fabrikanten nemen al deze waarden op in hun documentatie. Soms wordt enkel het nominale geluidsvermogen vermeld, terwijl het maximale geluidsvermogen hoger ligt: typisch ongeveer 5dB hoger, maar soms tot meer dan 10dB hoger, afhankelijk van de werkingscondities waaronder het nominale vermogen gemeten werd [4].

Voor de specifieke warmtepompen waarvan alle data beschikbaar zijn, worden de waarden voor de nominale geluidsvermogens vergeleken met deze voor de maximale geluidsvermogens enerzijds, en de geluidsgereduceerde werking anderzijds. Het valt op dat de nominale geluidsvermogens meestal ongeveer gelijk zijn aan de geluidsvermogens in geluidsgereduceerde werking en soms zelfs lager liggen. Daarnaast liggen de maximale geluidsvermogens tot 12 dBA hoger dan de nominale geluidsvermogens. Bijgevolg zijn de nominale geluidsvermogens geen geschikte indicator om het reële geluidsvermogen van warmtepompen in operationele condities te beoordelen en worden deze verder buiten beschouwing gelaten.

De geluidsvermogens nemen toe naarmate het thermisch vermogen van de warmtepomp stijgt. Een mindering in benodigd vermogen, heeft dus ook een positief effect op het geluidsvermogen van de warmtepomp. Ter referentie zijn in Tabel 7 de geluidsvermogens voor de beschikbare thermische vermogens van één type warmtepomp weergegeven.

Wanneer de geluidsvermogens van warmtepompen op de markt in Tabel 6 en Tabel 7 vergeleken worden met de maximaal toegelaten geluidsvermogens in Tabel 5, wordt al snel duidelijk dat veel beschikbare warmtepompen niet kunnen voldoen aan de eisen voor een open plaatsing op het plat dak, zeker in de hogere vermogensklassen. De plaatsing in de ommuurde tuin/koer lijkt minder problematisch op basis van deze data, maar kan wel voor geluidshinder zorgen voor de bewoners zelf.

Indien de warmtepompinstallatie voor een bepaalde isolatiegraad niet kan voldoen aan de code van de goede praktijk, kan er ook geopteerd worden voor een akoestische omkasting. Het geluidsreducerend potentieel hiervan is sterk afhankelijk van verschillende factoren, maar ligt tussen de 5 en 25 dB volgens Buildwise [4]. De meeste fabrikanten rapporteren echter waarden tussen 9 en 20 dB. Een akoestische omkasting zorgt echter voor een verlies aan efficiëntie van de warmtepomp aangezien de luchtstroming beperkt wordt. Deze oplossing wordt dus best enkel overwogen indien het niet anders kan. Bovendien heeft de omkasting ook een niet te verwaarlozen kostprijs en neemt ze ook meer plaats in dan de buitenunit. Deze laatste twee parameters zijn echter afhankelijk van het gewenste geluidsreducerend potentieel [4].

Tabel 6 Geluidsvermogens van warmtepompen binnen bepaalde thermische vermogensklassen.

Thermisch vermogen warmtepomp	4- 5.9 kW	6-7.9 kW	8-9.9 kW	10-12 kW**
Geluidsgereduceerde werking* [dBA]	47-54	50-55	49-59	50-55
Nominaal geluidsvermogen [dBA]	46-59	45-60	45-62	47-64
Maximaal geluidsvermogen* [dBA]	54-62	58-65	56-66	60-63

* deze data zijn niet beschikbaar voor alle modellen die meegenomen zijn in de analyse

** beperkt aantal datapunten (16, waarvan voor 7 modellen enkel het nominaal vermogen beschikbaar is)

Tabel 7 Geluidsvermogens voor de verschillende beschikbare thermische vermogens van één type warmtepomp.

Thermisch vermogen bij 7/35°C [kW]	Nominaal geluidsvermogen [dB]	Maximaal geluidsvermogen [dB]	Geluidsgereduceerde werking [dB]
4	51	56	52
4.8	51	58	52
5.6	51	59	52
7.3	53	61	54
8.1	54	61	54
9.1	55	66	59

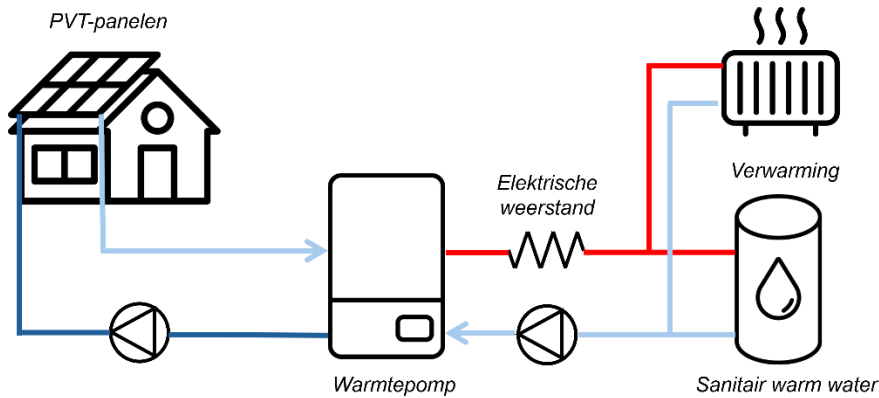
2.3 Exploratie potentieel PVT

In het laatste vooronderzoek wordt het potentieel van PVT-panelen (photovoltaic-thermal) als lage-temperatuur warmtebron voor warmtepompen bestudeerd. PVT-panelen combineren elektriciteitsopwekking via het fotovoltaïsch paneel met warmteproductie via een geïntegreerde warmtewisselaar. Volgende twee configuraties bestaan:

- **Geïsoleerde PVT-panelen:** benutten zonnestraling voor de productie van sanitair warm water (60–65 °C).
- **Niet-geïsoleerde PVT-panelen:** onttrekken warmte aan de buitenlucht via natuurlijke convectie en dienen als bron voor een warmtepomp.

Het gebruik van niet-geïsoleerde PVT-panelen kan de noodzaak van een buitenunit met ventilator elimineren, wat een belangrijk voordeel biedt in een dense stedelijke context doordat extra plaatsinname en mogelijke akoestische hinder kunnen worden beperkt. Daarom wordt de focus gelegd op niet-geïsoleerde PVT-panelen. Het beschikbare dakoppervlak beperkt het aantal panelen en dus het warmtewisselend oppervlak. Bij onvoldoende warmteonttrekking door lage buitentemperaturen, hoge warmtevraag of beperkt oppervlak, vult de elektrische weerstand een deel van de vraag aan, wat de systeemefficiëntie verlaagt.

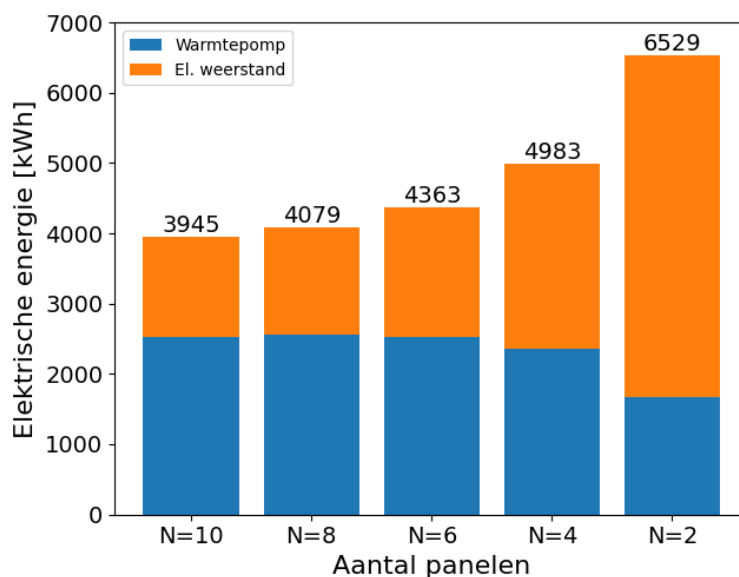
Om de technische haalbaarheid en de bijbehorende efficiëntie van PVT-panelen te onderzoeken, wordt een casestudie uitgewerkt. Er wordt een warmtevraagprofiel gesimuleerd voor ruimteverwarming en sanitair warm water voor een huishouden van twee personen voor een representatieve typologie voor de wijk. Dit resulteert in een totale warmtevraag van 9 177 kWh bij een minimale buitentemperatuur van -4.2 °C. De installatie, weergegeven in Figuur 4, samen met de bijbehorende warmtevraag- en weergegevens worden vervolgens gemodelleerd en gesimuleerd met behulp van dynamische gebouwsimulaties (Dymola).



Figuur 4 Overzicht casestudie met PVT-panelen, warmtepomp en elektrische weerstand.

Er wordt aangenomen dat de panelen een hellingshoek van 45° hebben en een oppervlakte van 1,96 m² per paneel. De warmtepomp heeft een thermisch vermogen van 5,2 kW, waarmee in 90% van de tijd aan de gesimuleerde vermogensvraag kan worden voldaan. De elektrische weerstand wordt geactiveerd wanneer het vermogen van de warmtepomp onvoldoende is om de gevraagde temperaturen te bereiken voor ruimteverwarming (50 °C) en sanitair warm water (60 °C).

Het aantal panelen wordt stapsgewijs verhoogd, waarna telkens een energetische analyse volgt. Figuur 5 toont het verband tussen het aantal PVT-panelen (N) en het energiegebruik van de warmtepomp en elektrische weerstand. Bij een laag aantal panelen is de hoeveelheid onttrekbare warmte beperkt en wordt het merendeel van de warmtevraag gedekt door de elektrische weerstand. Vanaf tien panelen wordt niet langer de capaciteit van de PVT-panelen, maar die van de warmtepomp de beperkende factor.



Figuur 5 Verband tussen het aantal PVT-panelen (N) en het energiegebruik van de warmtepomp en elektrische weerstand [kWh].

Een correcte dimensionering van zowel de warmtepomp als de PVT-panelen is dus cruciaal voor het behalen van een gunstige prestatie, uitgedrukt door de Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) (Tabel 8). In deze casestudie zou dit resulteren in 6 à 8 PVT-panelen, wat overeenkomt met 2.3 – 3.0 m² per kW warmtepompvermogen. In literatuur en dimensioneringsrichtlijnen van producenten wordt een richtwaarde gegeven van 2.5 – 3 m² PVT-paneel per kW warmtevraag bij -10 °C [1, 2]. Bij het gebruik van deze dimensioneringsrichtlijn en een warmteverliesberekening bij -10 °C, zal het aantal panelen hoger uitvallen dan in deze voorstudie. Dit komt omdat deze warmteverliesberekening uitgaat van de slechtst mogelijke condities, namelijk een buitentemperatuur van -10 °C, geen interne warmtewinsten of zonnewinsten, onverwarmde burens, het volledige ventilatiedebiet volgens D50-001 [7] en een relatief hoge winddruk [8]. In de simulaties bedraagt de minimale buitentemperatuur -4.2 °C, worden interne warmtewinsten en zonnewinsten ingerekend, wordt er uitgegaan van adiabatische randcondities naar de burens toe en wordt maar een derde van het benodigd ventilatiedebiet in rekening gebracht om de realiteit beter te benaderen. De benodigde capaciteit van de warmtepomp en de PVT-panelen hangen dus sterk af van de randvoorwaarden bij de dimensionering van de warmtevraag. Het hanteren van de warmteverliesberekening, veelal gebruikt bij het dimensioneren van klassieke verwarmingssystemen, leidt dus mogelijk tot een onnodige overdimensionering.

Naast thermische energie, wordt er ook elektrische energie geproduceerd (Tabel 8), die een deel van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp of huishouden kan compenseren.

Tabel 8 SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) en elektrisch opgewekte energie van het energiesysteem met PVT-panelen en warmtepomp.

	N = 10	N = 8	N = 6	N = 4	N = 2
SCOP	2,33	2,25	2,10	1,84	1,41
El. Energie [kWh]	4.207	3.359	2.514	1.673	838

3 METHODOLOGIE

Om het potentieel van verschillende renovatiestrategieën met individuele verwarmingssystemen voor de beschouwde wijk zowel energetisch als financieel te beoordelen, wordt eerst een basiscase gedefinieerd met een bepaalde geometrie en isolatiegraad. Vervolgens worden de renovatiescenario's voor de gebouwschil en technische installaties toegelicht. Daarna wordt de methodiek uiteengezet voor het bepalen van de warmtevraag, de dimensionering van de installaties en het energiegebruik. Tot slot wordt de aanpak voor de financiële beoordeling beschreven.

3.1 Basiscase

De basiscase betreft een rijwoning bestaande uit een hoofdvolume van 4 meter breed en 5 meter diep. Aan de woning is een gelijkvloerse aanbouw over de volledige breedte toegevoegd met een diepte van 8 meter, evenals een aanbouw op de eerste verdieping van 4 bij 4 meter. Dit komt overeen met doorsnede D2-Aa uit de typologische analyse van de wijk (cf. Figuur 3).

Het gelijkvloers omvat de leefruimte en de keuken. Op de eerste verdieping bevinden zich een slaapkamer en een badkamer. De tweede verdieping, die gedeeltelijk onder het hellend dak ligt, bevat een tweede slaapkamer. De grondplannen en gevelaanzichten zijn weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Grondplannen en gevelaanzichten van basiscase.

Verder wordt uitgegaan van *startscenario 3* voor de gebouwschil, waarin zowel het hellend als plat dak geïsoleerd zijn volgens de huidige norm. Ook het buitenschrijnwerk—ramen en buitendeur—voldoet aan de huidige eisen. De buitenmuren van het hoofdvolume en van de gelijkvloerse aanbouw, evenals de vloer op volle grond, zijn nog niet geïsoleerd. De buitenmuur van de aanbouw op de eerste verdieping is beperkt geïsoleerd. Tabel 9 geeft een overzicht van de oppervlaktes en U-waardes per schil-element van het hoofdgebouw en de aanbouw.

Wat de technische installaties betreft, is de woning voorzien van een centrale verwarmingsinstallatie met een condenserende gasketel en radiatoren. De gasketel staat eveneens in voor de productie van het sanitair warm water.

Tabel 9 Oppervlaktes en U-waardes van de schielelementen van de basiscase.

Hoofdvolume	Opp. (m ²)	U (W/m ² .K)	Aanbouw	Opp. (m ²)	U (W/m ² .K)
Buitenmuur +0	7.3	2.3	Aanbouw +0	5.8	2.9
Buitenmuur +1/+2	19.7	2.9	Aanbouw +1	10.7	0.6
Hellend dak	26.1	0.24	Plat dak	30.6	0.24
Vloer op grond	20.0	0.8	Vloer op grond	32.0	0.8
Ramen gevel	5.7	1.5	Ramen gevel	7.5	1.5
Ramen dak	2.2	1.5	Ramen dak	1.4	1.5
Buitendeur	1.8	2.0			

3.2 Renovatiescenario's

3.2.1 Gebouwschil

Er worden drie renovatiescenario's voor de gebouwschil beschouwd. Afhankelijk van het startscenario uit Tabel 2 worden bepaalde schielelementen al dan niet gerenoveerd:

– **R0: dak en raam**

Dit scenario wordt gezien als een haalbare renovatiegraad voor de onderzochte woningen en vormt daarom de minimale isolatiegraad in deze studie. In 'S1: niets' worden zowel de daken (hellend en plat, inclusief de dakramen) als het buitenschrijnwerk (ramen en buitendeuren) gerenoveerd. In 'S2: dak' wordt enkel het buitenschrijnwerk gerenoveerd. In 'S3: dak en raam' is deze isolatiegraad reeds aanwezig, waardoor geen ingrepen nodig zijn.

– **R1: alles excl. vloer**

Voor alle startscenario's worden, bovenop R0, ook de buitenmuren gerenoveerd. In S2 en S3 wordt de buitenmuur van de aanbouw op de eerste verdieping niet gerenoveerd. Deze is al beperkt geïsoleerd en is door de constructiewijze moeilijk verder te isoleren.

– **R2: alles**

Voor alle startscenario's wordt, bovenop R1, ook de vloer op volle grond gerenoveerd.

Voor de renovatie van de schielelementen zijn verschillende opties mogelijk. Zo kan de buitenmuur of het hellend dak langs binnen of langs buiten geïsoleerd worden, en kunnen ramen volledig vervangen worden of enkel het glas. In deze studie wordt van één optie per schielelement vertrokken.

- De ramen worden volledig vervangen door nieuw schrijnwerk met dubbele beglazing ($U = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$). Gezien de relatief hoge investeringskost van deze ingreep wordt in een gevoeligheidsanalyse ook gekeken naar een alternatief waarbij enkel de beglazing wordt vervangen. Tot slot wordt de bestaande buitendeur vervangen door een geïsoleerde variant ($U = 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- Het hellend dak wordt langs binnen geïsoleerd tussen en onder de kepers ($U = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$), omdat dit kostenefficiënter is dan een sarkingdak. Het plat dak wordt langs buiten geïsoleerd ($U = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$). Bij de renovatie van de daken worden ook de bestaande dakramen en dakkoepels vervangen.
- Er wordt uitgegaan van buitenisolatie van de buitenmuur ($U = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$). Binnenisolatie wordt buiten beschouwing gelaten aangezien de onderzochte woningen een beperkte grootte hebben en binnenisolatie het vloeroppervlak aanzienlijk zou verminderen. Bovendien kunnen er complicaties optreden met betrekking tot vochtschade bij binnenisolatie en zou de haalbaarheid hiervan case per case onderzocht moeten worden. [9]
- Voor de vloer op volle grond wordt aangenomen dat er nog geen betonplaat aanwezig is indien deze nog geen isolatie bevat. Daarom wordt eerst de bestaande vloerafwerking verwijderd, vervolgens

de ondergrond uitgegraven, waarna een nieuwe betonplaat wordt gegoten, geïsoleerd en afgewerkt ($U = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Naarmate de isolatiegraad van de woning toeneemt, wordt een betere luchtdichtheid verondersteld. Dit aspect wordt uitgedrukt met de v_{50} -waarde, die het lekdebiet per oppervlakte-eenheid van het gemeten bouwvolume bij een drukverschil van 50 Pa aangeeft. De gehanteerde v_{50} -waarden per isolatiegraad zijn opgenomen in Tabel 10.

Tabel 10 Beschouwde v_{50} -waarden ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$) per isolatiegraad.

S1: niets	S2: dak	S3/R0: dak en raam	R1: alles excl. vloer	R2: alles
10.5	9.0	8.0	6.0	6.0

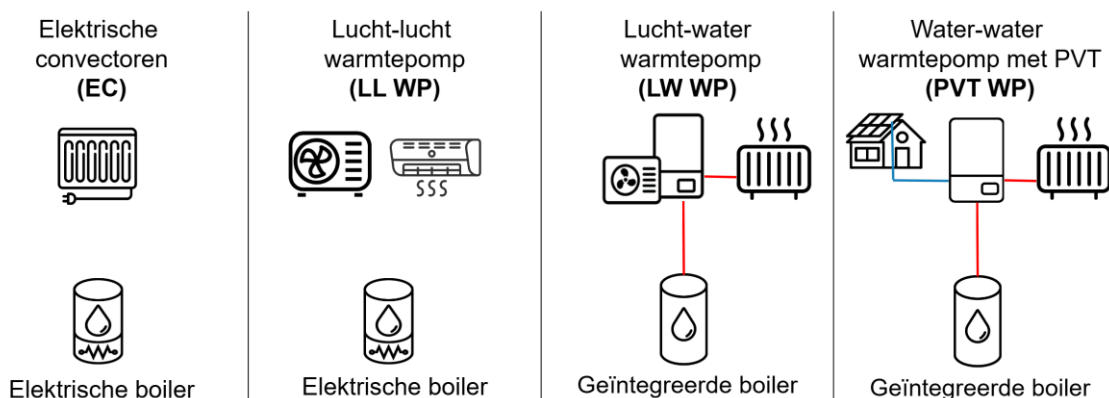
3.2.2 Technische installaties

Vier verschillende scenario's voor de elektrificatie van de verwarmingsinstallatie en de productie van sanitair warm water worden onderzocht. Een overzicht van deze scenario's is weergegeven in Figuur 7. Deze studie beschouwt enkel geëlektrificeerde verwarmingsinstallaties met het oog op het udfaseren van fossiele energiebronnen, waardoor gasketels geen deel uitmaken van de vergelijking. Bijgevolg bestaat het basisscenario (EC) uit elektrische convectoren in combinatie met een elektrische boiler voor sanitair warm water. Ter verbetering van de energie-efficiëntie en ter beperking van de elektrische vraag worden daarnaast drie warmtepompscenario's beschouwd.

- Het eerste scenario (LL WP) betreft een multi-split lucht-luchtwarmtepomp aangesloten op meerdere binneneenheden, aangevuld met een elektrische boiler voor sanitair warm water.
- Het tweede scenario (LW WP) omvat een lucht-waterwarmtepomp met geïntegreerde boiler, waarbij de bestaande radiatoren worden benut.
- Het derde scenario (PVT WP) combineert een water-waterwarmtepomp met geïntegreerde boiler en PVT-panelen, gebruikmakend van de bestaande radiatoren.

Geothermische warmtepompen worden niet beschouwd in deze studie, aangezien er in de dichtbebouwde bestaande woonwijk geen ruimte is op de percelen om geothermische boringen te voorzien. Ook warmtepompboilers in combinatie met lucht-lucht warmtepomp of elektrische convectoren worden niet beschouwd, omwille van de hogere investeringskosten en de bijkomende complicaties qua implementatie.

In een gevoeligheidsanalyse wordt nagegaan wat de invloed is op de kostprijs wanneer de huidige radiatoren niet zouden volstaan om de warmtevraag per ruimte te dekken. Dan worden de huidige radiatoren vervangen door ventilo-convectoren. Ongeacht of de huidige radiatoren volstaan, wordt in renovatiescenario R2, de totaalrenovatie, verondersteld dat bij het renoveren van de vloer op volle grond vloerverwarming wordt voorzien op het gelijkvloers, aangevuld met ventilo-convectoren in de slaapkamers en een elektrische convector in de badkamer.



Figuur 7 Overzicht van de beschouwde technische installaties voor verwarming en sanitair warm water.

3.3 Dimensionering

3.3.1 Warmteverliesberekening

Om de opwekker en afgiftesystemen te dimensioneren, wordt een warmteverliesberekening van het gebouw uitgevoerd volgens de normen NBN EN 12831-1 (2017) en NBN EN 12831-1 ANB (2020) [8], [10]. Hierbij wordt de warmtevraag van de woning berekend bij een buitentemperatuur van -7°C . De ontwerptemperaturen in de woning zijn 20°C voor de leefruimte en open keuken, 18°C voor de slaapkamers en 24°C voor de badkamer. Met deze temperaturen worden de transmissie-, ventilatie- en infiltratieverliezen per ruimte berekend. Eventuele warmtewinsten worden niet ingerekend. De ventilatieverliezen zijn berekend aan de hand van de minimaal vereiste ontwerpdebieten, zoals vastgelegd in de Belgische ventilatienorm NBN D50-001 [7].

Daarnaast wordt een opwarmvermogen ingerekend bij de cases met een setbacktemperatuur, op basis van de waarden bij ontstentenis uit WTCB rapport nr. 14 [11]. Een opwarmtijd van 1 uur wordt aangenomen voor de badkamer en 2 uur voor de overige ruimtes. Voor renovatiescenario's R1 en R2 is een lagere temperatuurdaling verondersteld dan bij de startscenario's en renovatiescenario R0. Dit omdat een beter geïsoleerde woning minder snel afkoelt bij het tijdelijk uitschakelen van de verwarming.

3.3.2 Opwekker/bron

In dit onderdeel wordt de dimensionering van de opwekker/warmtebron voor de warmtepompscenario's besproken. Bij het basisscenario met elektrische convectoren is er geen centrale opwekker aanwezig.

3.3.2.1 Normdimensionering

Het vermogen van de opwekker moet het totale warmteverlies van de woning kunnen compenseren. Dit totale warmteverlies wordt bepaald via de som van de verliezen per ruimte volgens de warmteverliesberekening, waarbij de infiltratieverliezen door twee worden gedeeld, aangezien de wind slechts uit één richting tegelijk kan komen. De binnen- en buitenunits van de LW WP en LL WP en de binneneenheid van de PVT WP zijn gekozen zodat hun vermogen hieraan voldoet. Het aantal mogelijke PVT-panelen gekoppeld aan de PVT WP wordt beperkt door het beschikbare dakoppervlak, waardoor deze niet in alle scenario's het volledige ontwerpvermogen leveren. Dit scenario wordt echter nog steeds als valabele optie beschouwd omdat het ontwerpvermogen zelden benodigd is in realiteit en de elektrische weerstandsverwarming in de warmtepomp bijspringt wanneer het vermogen van de PVT-panelen ontoereikend is. Voor de dimensionering van de PVT-panelen wordt het plat dak buiten beschouwing gelaten, omwille van de dichte bebouwing die kan zorgen voor te veel beschaduwing. Daarom worden de panelen uitsluitend aan één zijde van het zuidgeoriënteerd hellend dak geplaatst, wat een oppervlakte van $14,16\text{m}^2$ biedt voor de onderzochte typologie. Op deze oppervlakte passen zes panelen van elk $2,26\text{m}^2$, wat het nodige vermogen op lage temperatuur voorziet voor een warmtevraag van $4,5\text{ kW}$ bij -10°C .

3.3.2.2 Onderdimensionering warmtepomp

Naast de normdimensionering worden ook enkele alternatieven voor de dimensionering onderzocht. Enerzijds wordt nagegaan wat het effect is van het installeren van slechts 40% of 70% van het benodigde thermisch vermogen volgens de warmteverliesberekening. Deze onderdimensionering zorgt voor een kleinere installatie, lagere aankoop prijs en wellicht ook voor een hogere efficiëntie van de warmteopwekker (SCOP). De normcondities van de warmteverliesberekening komen in realiteit zelden voor, waardoor een warmtepomp die hierop gedimensioneerd wordt gedurende een groot deel van het jaar overgedimensioneerd is en op een lager deellastvermogen, met bijhorend lagere COP, werkt. Ook als er in de toekomst nog (bijkomende) renovatieplannen zijn, kan het wenselijk zijn om nu al een warmtepomp met een lager vermogen te voorzien. Op kritische momenten, kan het echter nodig zijn dat de weerstandsverwarming in de warmtepomp bijspringt, wat de systeemefficiëntie verlaagt. De

wisselwerking tussen de hogere SCOP van de warmtepomp en het gebruik van de weerstandsverwarming, bepalen de uiteindelijke efficiëntie van het totale systeem.

3.3.2.3 Dimensionering bij suffiënt comfort

Anderzijds wordt ook een alternatief met suffiënt comfort doorgerekend, waar enkel de leefruimte en de badkamer worden verwarmd. Hierbij is de warmteverliesberekening aangepast en uitgevoerd met volgende aannames:

- Er is geen verwarmingsinstallatie aanwezig in de slaapkamers: deze worden beschouwd als onverwarmde ruimtes.
- De badkamer wordt verwarmd met een elektrische convector.
- Het vermogen van de warmtepomp is uitsluitend gebaseerd op het benodigde vermogen in de leefruimte en keuken, waarbij voor de warmteverliesberekening is uitgegaan van afgesloten ruimtes, ook al staat de leefruimte in de casestudie in verbinding met de bovenliggende slaapkamers.

3.3.3 Afgiftesysteem

Het afgiftesysteem moet het respectievelijke warmteverlies in elke ruimte volledig kunnen compenseren. Daarom worden de afgiftesystemen zo gekozen dat hun vermogen minstens gelijk zijn aan som van de transmissie-, ventilatie- en infiltratieverliezen per ruimte. Bijkomende distributieverliezen van het afgiftesysteem zijn niet in beschouwing genomen.

Zoals eerder beschreven, wordt in geval van de LW WP en PVT WP in eerste instantie geopteerd om de huidige radiatoren te behouden. Om een inschatting te maken van de beschikbare vermogens van de huidige radiatoren, wordt een warmteverliesberekening uitgevoerd voor een ongeïsoleerde woning met oud dubbel glas. Op basis hiervan worden de vermogens, en bijhorende afmetingen, van de bestaande radiatoren vastgelegd, uitgaande van een temperatuurregime van 75/60°C. Voor de start- en renovatiescenario's worden vervolgens de temperatuurregimes zo gekozen dat de bestaande radiatoren in principe volstaan. Aangezien er veel variatie is in de bestaande radiatoren (bijvoorbeeld afhankelijk van wanneer de centrale verwarmingsinstallatie geplaatst is of vervangingen van radiatoren bij renovatie), moet in de praktijk telkens worden nagegaan of de afgiftesystemen daadwerkelijk voldoen. Om die reden wordt ook een financiële gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin de bestaande radiatoren vervangen worden door ventilo-convectoren als de huidige radiatoren niet zouden volstaan.

3.4 Dynamische gebouwsimulaties

3.4.1 Simulatiemodel

De warmtevraag, elektriciteitsvraag en SCOP van de vier verwarmingsconfiguraties worden ingeschat aan de hand van de software Dymola (Modelica language) [12], waarbij gebruik gemaakt wordt van de IDEAS- en AixLib- bibliotheek [13], [14]. Er is een vier-zone model opgesteld van de basistypologie (Figuur 8), waarbij de constructie-opbouwen zijn toegepast in overeenstemming met de onderzochte start-/renovatiescenario's.

Zones 1, 2 en 4 staan met elkaar in verbinding via het trapgat. Dit is in het simulatiemodel als een opening gemodelleerd die rekening houdt met de luchtstroming ten gevolge van temperatuurverschillen tussen de ruimtes [15]. Daarnaast zijn de gemene muren adiabatisch gemodelleerd, waarbij er geen warmte-uitwisseling met de burens in rekening wordt gebracht.

Voor de ventilatie is aangenomen dat er een derde van het normdebiet voorzien wordt, zonder warmteterugwinning. Dit om op versimpelde wijze rekening te houden met raamopeningsgedrag, of met een ventilatiesysteem C dat typisch op de laagste stand wordt ingesteld.



Figuur 8 Aanduiding van de vier beschouwde zones in het simulatiemodel.

3.4.2 Verwarmingsprofiel

Om het gebruikersgedrag in te schatten, wordt gebruikgemaakt van het EROB-model, ontwikkeld aan de onderzoeksgroep bouwfysica door Silke Verbruggen en later verder verfijnd door Stijn Van De Putte [16], [17]. Er is één gebruikersprofiel opgesteld, met bijhorende aanwezigheid, interne warmtewinsten en tapprofiel voor SWW. De setpointtemperaturen worden gevarieerd naar drie verschillende comfortniveaus. Deze worden hieronder toegelicht. Een overzicht is opgenomen in Tabel 11.

3.4.2.1 Normprofiel met setbacktemperatuur

Het eerste verwarmingsprofiel hanteert de ontwerptemperaturen uit de warmteverliesberekening. Per ruimte wordt ook een setbacktemperatuur ingesteld die gehanteerd wordt bij afwezigheid. Om het comfort bij bezetting te waarborgen, wordt de verwarming telkens een uur voor aanwezigheid ingeschakeld per ruimte. Dit verwarmingsprofiel wordt gezien als basisscenario met normcomfort.

3.4.2.2 Normprofiel zonder setbacktemperatuur

Bij het tweede verwarmingsprofiel wordt er permanent tot de ontwerptemperaturen uit de warmteverliesberekening verwarmd, zonder setbacktemperatuur. Het effect op het benodigde vermogen, de warmtevraag en financiële kost wordt onderzocht. Voor warmtepompen wordt namelijk aangeraden om deze te dimensioneren zonder opwarmvermogen en om een continue setpointtemperatuur te handhaven in de woning. Dit om overdimensionering van de warmtepomp te vermijden en de warmtepomp aan een hogere COP (coefficient of performance) te laten werken.

In de simulaties, en dus ook in de respectievelijke resultaten, wordt een vaste comforttemperatuur gevraagd in het volledige verwarmingsseizoen. In realiteit zou men echter in het tussenseizoen nog steeds een setbacktemperatuur kunnen hanteren indien gewenst; door de lagere warmteverliezen is er dan namelijk voldoende vermogen om de woning terug op te warmen na afkoeling tot de setbacktemperatuur [4].

3.4.2.3 Sufficiënt comfortprofiel met setbacktemperatuur

Het laatste verwarmingsprofiel gaat uit van een verwarmingsregime dat een sufficiënt comfort beoogt. De woningbezoeken tonen aan dat bewoners, om verschillende redenen, vaak enkel de leefruimte en badkamer verwarmen bij aanwezigheid. Dit verwarmingsgedrag laat toe om de opwekker kleiner te dimensioneren en enkel afgiftesystemen te voorzien in de verwarmde ruimtes, al dan niet met elektrische back-up toestellen in de onverwarmde ruimtes voor op de koudste dagen van het jaar. De

impact van deze dimensionering en dit gebruik op de warmtevraag en financiële kost wordt eveneens onderzocht.

Tabel 11 Verwarmingsregime normprofiel met setbacktemperatuur.

Ruimte	Normprofiel met setbacktemperatuur	Normprofiel zonder setbacktemperatuur	Sufficiënt comfort
	Setpointtemperatuur/ Setbacktemperatuur		
Leefruimte + keuken	20 / 15	20 / -	20 / 15
Slaapkamers	18 / 15	18 / -	- / 10
Badkamer	24 / 20	24 / -	20 / 18

3.4.3 Weerfile

Voor de klimaatdata wordt gebruik gemaakt van een TMY-file (typisch meteorologisch jaar) van Gent over de periode 2001-2020 [18]. De laagste temperatuur die voorkomt in deze weerfile is $-4,2$ °C. Het jaargemiddelde is $10,9$ °C.

3.4.4 Prestatie-indicatoren gebouwsimulaties

Uit de output van de gebouwsimulaties worden drie belangrijke parameters afgeleid die in de resultaten worden geëvalueerd. Als eerste worden het energiegebruik van de compressor van de warmtepomp en de warmtevraag voor het gehanteerde verwarmingsprofiel gesimuleerd, beiden uitgedrukt in kWh/jaar. Op basis van deze twee parameters wordt de SCOP (Seasonal Coëfficiënt of Performance) afgeleid. Deze parameter geeft de efficiëntie van de warmte-opwekker weer en is in deze studie gelijkgesteld aan de verhouding van warmtevraag tot elektriciteitsgebruik gedurende één jaar. Distributie- en opslagverliezen worden buiten beschouwing gelaten.

Daarnaast wordt ook het comfort geëvalueerd op basis van de voelbare binnentemperatuur. Dit wordt besproken in Bijlage C.

3.5 Financiële kost

In deze studie wordt zowel de investeringskost als de levenscycluskost over een studieperiode van 30 jaar geanalyseerd. Er wordt rekening gehouden met volgende kostenposten over de levenscyclus:

- Afbraakkost
- Constructiekost
- Vervangingskost
- Operationele energiekost

De investeringskost omvat de afbraak- en constructiekost, terwijl de levenscycluskost aanvullend de vervangingskost¹ en operationele energiekost meeneemt. Kosten aan het einde van de levensduur van het gebouw worden niet meegenomen, omdat verondersteld wordt dat het gebouw na 30 jaar nog in gebruik is. Enkel voor materialen die het einde van hun levensduur bereiken aan het einde van de studieperiode wordt een afbraakkost meegenomen. Er wordt geen restwaarde ingerekend voor materialen die na 30 jaar nog een resterende levensduur hebben.

Voor de berekening van de levenscycluskosten wordt de Totale Actuele Kost (TAK)-methode toegepast vanuit micro-economisch perspectief. Dit betekent dat de kost wordt berekend voor de eindgebruiker,

¹ Om de onzekerheid rond vervangingen te beperken, wordt in sommige analyses enkel de operationele energiekost meegenomen en niet de vervangingskost. Dit wordt telkens duidelijk aangegeven bij de betreffende analyse. Op deze manier kan de investeringskost rechtstreeks worden afgewogen tegen de operationele energiebesparing ten gevolge van een renovatie.

inclusief 6% btw, in overeenstemming met de huidige regelgeving voor renovaties en vervangingen. Subsidies worden in deze studie niet in rekening gebracht. De TAK-methode actualiseert alle toekomstige kosten naar het startjaar van de analyse (2026). Een toekomstige kost in jaar t wordt herleid naar zijn actuele waarde de hand van volgende formule:

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

Waarbij	$AK[K_t]$	Actuele waarde van de kost in jaar t
	K_0	Kost in het startjaar van de analyse
	g'	Reële groeivoet
	d'	Reële discontovoet

In deze studie wordt gerekend met een reële discontovoet van 2%, een geaggregeerde groeivoet van 0.7% voor de materiaal- en loonkosten en een groeivoet van 2% voor de energiekost [19].

3.5.1 Afbraak- en constructiekost

In dit onderdeel worden de beschouwde afbraak- en constructiekosten voor zowel de gebouwschil als de technische installaties besproken. Enkel de kostenposten die hier worden behandeld, zijn opgenomen in deze studie. Voor de renovatie van een woning kunnen er echter bijkomende kosten optreden die niet opgenomen zijn zoals rioleringswerken, elektriciteitswerken, opstartkosten, algemene werfinrichting, keuringen en heraanleg van de buitenruimte.

3.5.1.1 Gebouwschil

Afbraak- en constructiekosten gerelateerd aan de gebouwschil worden geïnventariseerd uit de ASPEN-Index Ombouw (editie 2024) [20] en het eenheidsprijzenborderel van UPA-BUA (editie 2024) [21]. Beide databanken bevatten geen productspecifieke, maar generieke kostprijzen, gebaseerd op een groot aantal offertes. De ASPEN-index geeft regionale bouwkosten voor Vlaamse residentiële gebouwen. De eenheidsprijzen zijn gemiddelde waarden en worden opgesplitst in materiaal-, materieel- en arbeidskosten. Het UPA-BUA-borderel omvat geaggregeerde minimum- en maximumprijzen voor nieuwbouw en ingrijpende verbouwingen van middelgrote woongebouwen in België. Deze prijsvork is het resultaat van statistische berekeningen waarbij extremen zijn geëlimineerd. In dit onderzoek wordt eveneens een prijsvork¹ gehanteerd per kostenpost, bepaald op basis van de minimum- en maximumprijs van beide bronnen, waarbij extreme waarden (zoals bijvoorbeeld de kostprijs van bepaalde parketsoorten) worden weggelaten. Op de minimumprijs wordt echter een toeslag van 20% toegepast, aangezien uit overleg met praktijkexperts van Energent bleek dat de uiterste minima niet representatief waren voor de context van deze studie. De correctie houdt rekening met de stedelijke context (+10%) en de kleine schaal van de woning (+10%).

Uit de databases worden afbraak- en constructiekosten per m² verzameld voor verschillende materiaallagen die voorkomen in verschillende gebouwelementen: binnenaafwerkingen (pleisterlaag, tegels, etc.), buitenaafwerkingen (gevelmetselwerk, dakpan, etc.), isolatiematerialen (PUR, glaswol, etc.), structurele materialen (dragend metselwerk, betonplaat, etc.), en buitenschrijnwerk (ramen, buitendeuren). Deze data worden gebruikt om tot een investeringskost per m² renovatiestrategie te komen. Per element worden meerdere renovatiestrategieën meegenomen die verschillen in materiaalkeuze voor isolatie, binnenaafwerking en/of buitenaafwerking. De strategieën zijn overgenomen uit het doctoraat van [22] waarin de milieu-impact voor conventionele renovatiestrategieën in

¹ Er werd bewust gekozen voor een prijsvork in plaats van een gemiddelde of mediaanprijs, omdat één enkele prijs misleidend kan zijn. De vork kan daarentegen soms erg breed zijn, waardoor hij weinig richting biedt. Een projectspecifieke kostenraming zal uiteindelijk altijd opgemaakt moeten worden, omdat de kostprijs sterk afhankelijk is van de locatie, complexiteit, aannemer, gebruikerskeuzes en dergelijke.

Vlaanderen werd berekend. Zo worden drie renovatiesystemen meegenomen voor het langs buiten isoleren van de buitenmuur: ETICS, nieuwe spouwmuur en geventileerde gevel. Per systeem wordt er nog gevarieerd in isolatietype en buitenafwerking. Bij ETICS wordt bijvoorbeeld EPS- of rotswolisolatie gecombineerd met buitenpleister of steenstrips. Voor buitenisolatie van de buitenmuur wordt uiteindelijk de kostprijs berekend voor 13 varianten. Voor binnenisolatie van het hellend dak, buitenisolatie van het plat dak, nieuwe vloer op volle grond en het vervangen van de ramen worden respectievelijk 4, 6, 16 en 3 varianten beschouwd.

Naast deze kosten op elementniveau worden ook secundaire kosten meegenomen. Enerzijds gaat dit over afbraak- en constructiekosten voor secundaire componenten zoals dorpels, plinten en regenafvoer. Anderzijds worden kosten voor werfinfrastructuur, zoals een stelling, werfkraan en hoogtewerker verzameld. De secundaire kosten worden op gebouwniveau bepaald, aangezien deze afhankelijk zijn van de geometrie van de woning. De beschouwde secundaire kostenposten horende bij de renovatie van de verschillende gebouwelementen zijn opgenomen in Tabel 12. Merk op dat deze kosten gekoppeld zijn aan de specifieke renovatieopties die in deze studie zijn aangenomen, zoals toegelicht in onderdeel 3.2.1.

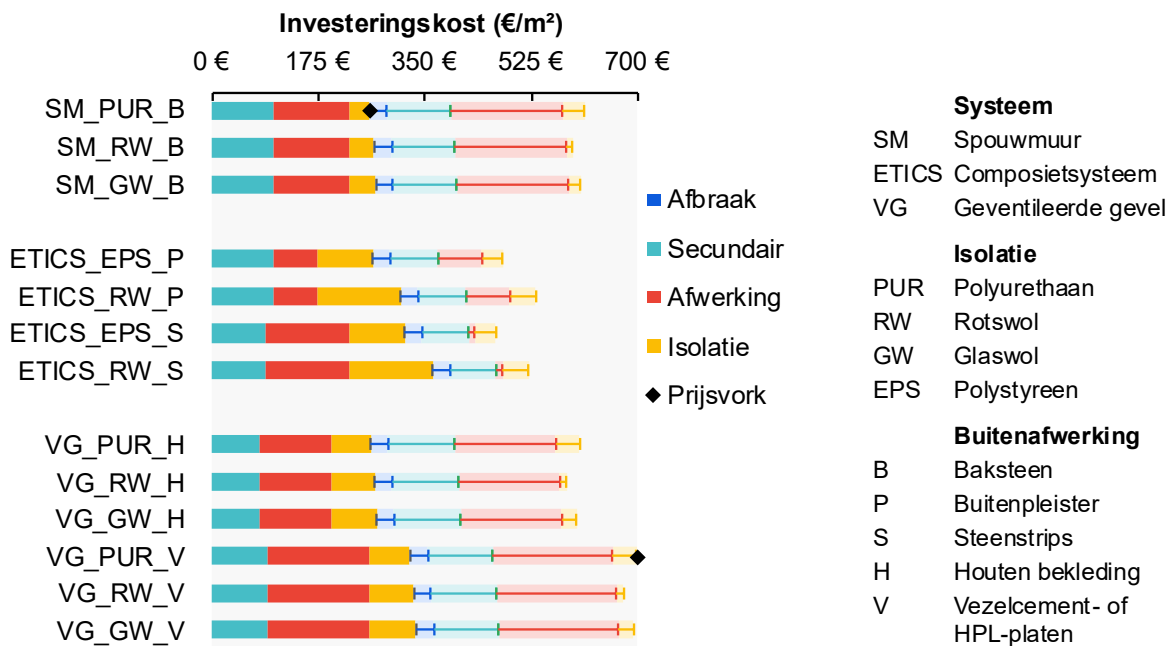
Tabel 12 Beschouwde secundaire kostenposten gerelateerd aan de renovatie van de gebouwelementen, specifiek voor de renovatieopties toegelicht in onderdeel 3.2.1.

Buitenmuur	Hellend dak	Ramen	Vloer
Stelling	Dakvenster aanwerken	Venstertablet vernieuwen	Uitgraving
Reinigen gevel		Ramen aanwerken	Vervangen plinten
Openingen aanwerken			
Dorpels vernieuwen			
Regenafvoer vernieuwen	Plat dak	Buitendeur	
Dakrand aanwerken ^a	Dakrand vernieuwen	Aanwerken buitendeur	
Gevelplint ^b	Verhogen dakopstand		
Fundering verbreden ^c	Aanwerken dakkoepel		
	Dakdoorvoeren		

^a Indien dak niet gerenoveerd wordt; ^b Enkel bij ETICS; ^c Enkel bij spouwmuur

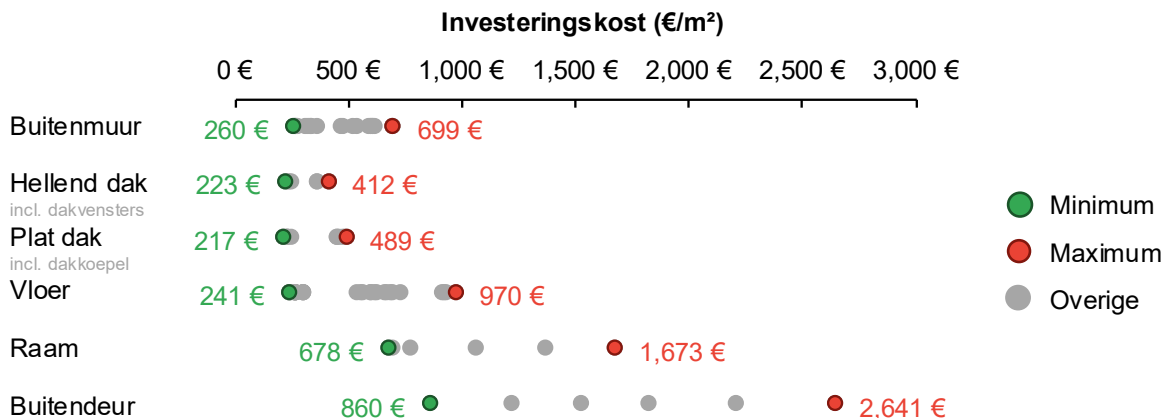
Met deze gegevens kan tot slot een investeringskost per m² renovatiestrategie berekend worden voor elk gebouwelement. Deze kost houdt rekening met de afbraakkost van bestaande materialen, de constructiekost van nieuwe materialen (afwerking, isolatie en eventueel structuur), en de secundaire kost. Omdat de secundaire kosten op gebouwniveau bepaald zijn, worden ze herrekend naar een equivalent per m².

Figuur 9 toont de investeringskost voor buitenisolatie van de buitenmuur voor de beschouwde renovatiestrategieën. Deze kost varieert tussen 260 en 699 €/m² exclusief btw. Binnen één renovatiestrategie is er een aanzienlijke spreiding: de maximumkost is 1,4 tot 2,4 keer de minimumkost. De grootste variatie komt voort uit de buitenafwerking (vooral baksteen en gevelbeplating) en de secundaire kosten. Wanneer verschillende renovatiestrategieën en materiaalkeuzes worden meegenomen, neemt de spreiding verder toe. De variatie binnen één strategie is echter groter dan die tussen de strategieën.



Figuur 9 Investeringskost (excl. btw) van de buitenisolatiestrategieën voor de buitenmuur met indicatie van de totale prijsvork.

Analoge figuren voor de overige gebouwelementen zijn opgenomen in Bijlage B. Figuur 10 geeft een samenvattend overzicht. De opgenomen prijsvorken per gebouwelement vormen de basis voor het bepalen van de investeringskost voor de renovatiescenario's op gebouwniveau. De maximumkost bedraagt 1,8 tot 4,0 keer de minimumkost, met de grootste relatieve spreiding bij de vloer en de kleinste bij het hellend dak. Verder blijkt dat de hoogste investeringskost per m² gebouwelement optreedt bij het vervangen van ramen en buitendeur, terwijl dakrenovatie gemiddeld de goedkoopste kostenpost is.

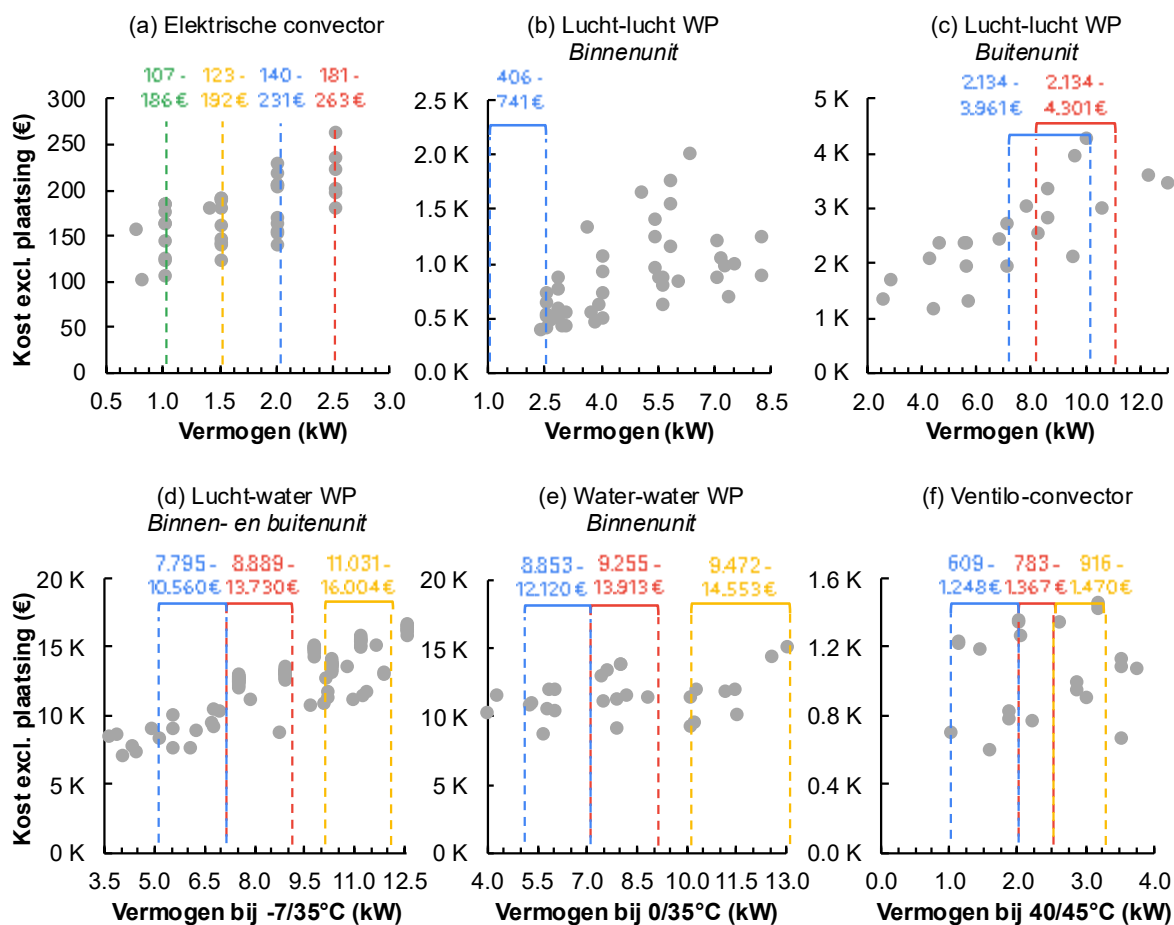


Figuur 10 Spreiding in investeringskost (excl. btw) van de renovatiestrategieën per gebouwelement met aanduiding van de beschouwde prijsvork.

3.5.1.2 Technische installaties

Voor de kosten van technische installaties wordt beroep gedaan op prijscatalogi van fabrikanten (editie 2024 of 2025) en online platformen van retail- en groothandels in Vlaanderen. Uit catalogi worden kosten verzameld voor lucht-lucht, lucht-water, en water-water warmtepompen van diverse fabrikanten, modellen en vermogens. Uit online platformen worden kosten verzameld voor onder meer elektrische convectoren, ventilo-convectoren, elektrische boilers en omvormers.

Per vermogens- of capaciteitsrange wordt een prijsvork bepaald, zoals weergegeven in Figuur 11 voor verschillende systemen. Deze prijzen zijn exclusief plaatsingskosten. Omdat hierover weinig informatie beschikbaar is, wordt de plaatsingskost ingeschat op basis van het vermoedelijk aantal benodigde persoonuren, opgesteld in Tabel 13. Deze persoonuren werden eveneens afgetoetst met praktijkexperts van Energent. Dit wordt vervolgens vermenigvuldigd met een uurloon van €34 tot €58, excl. btw [21].



Figuur 11 Spreiding in investeringskost (excl. btw en plaatsing) per vermogensrange voor verschillende technische installaties.

Tabel 13 Inschatting van het aantal persoonuren per onderzocht systeem ter bepaling van de plaatsingskost.

Elektrische convector	Per convector	0 persoonuren (zelfplaatsing)
Lucht-lucht WP	Buitenunit	2 personen x 1 dag = 16 persoonuren
	Per twee bijkomende binnenunits	2 personen x 0,5 dag = 8 persoonuren
Lucht-water WP	Buitenunit, incl. plaatsing	4 personen x 0,5 dag = 16 persoonuren
	Binnenunit, vaten, RESCert-keuring, etc.	2 personen x 3 dagen = 48 persoonuren
PVT WP	Binnenunit	2 personen x 3 dagen = 48 persoonuren*
	Per PVT-paneel	3 persoonuren
Pv-panelen	Per PV-paneel	2 persoonuren
Omvormer	-	2,5 persoonuren
Elektrische boiler	-	2 personen x 0,25 dag = 4 persoonuren
Ventilo-convector	Per ventilo-convector	2 personen x 0,25 dag = 4 persoonuren

*Aanname: aantal persoonuren voor plaatsing binnenunit lucht-waterwarmtepomp

Voor enkele andere componenten (zoals vloerverwarming) en voor de afbraakkosten van installatie-componenten (radiator, gasketel en boiler) wordt de UPA-BUA-databank geraadpleegd [21].

3.5.2 Vervangingskost

Wanneer de levensduur van een materiaal korter is dan de studieperiode, zal een vervanging noodzakelijk zijn. Bij een vervanging wordt zowel de afbraakkost van het bestaande materiaal als de constructiekost van een identiek nieuw materiaal ingerekend. Vervangingen worden enkel ingerekend voor materialen op elementniveau, maar niet voor secundaire componenten.

Het aantal vervangingen wordt berekend door de studieperiode te delen door de levensduur van het materiaal min één (de oorspronkelijke installatie), rekenkundig afgerond. Omdat de ouderdom van de bestaande materialen onbekend en case-specifiek is, worden twee scenario's gehanteerd voor het bepalen van het aantal vervangingen van behouden materialen:

- *Opgefriste bestaande woning*: Er zijn recent opfrissingswerken uitgevoerd, waardoor in jaar 0 geen vervangingen worden ingerekend. Materialen met een levensduur korter dan 30 jaar worden wel vervangen op het moment dat hun levensduur verstrijkt, gerekend vanaf jaar 0. Bijvoorbeeld: een materiaal met een levensduur van 20 jaar wordt in jaar 20 vervangen, maar niet in jaar 0. Als de bestaande opbouw al conform de huidige energienorm is, wordt standaard dit scenario aangenomen ervan uitgaande dat deze ingreep recent is gebeurd.
- *Verouderde bestaande woning*: Er zijn geen recente opfrissingswerken uitgevoerd, waardoor alle afwerkingsmaterialen (binnen en buiten) in jaar 0 vervangen worden, tenzij de opbouw al conform de huidige energienorm is. Materialen met een levensduur korter dan 30 jaar kunnen gedurende de studieperiode nog eens vervangen worden. Bijvoorbeeld: een materiaal met een levensduur van 20 jaar wordt vervangen in jaar 0 én opnieuw in jaar 20.

3.5.3 Operationele energiekost

Het energiegebruik wordt berekend zoals toegelicht in onderdeel 3.4 en vervolgens vermenigvuldigd met de gemiddelde elektriciteitsprijs van oktober 2024 tot en met september 2025, namelijk 0.36 €/kWh, inclusief btw [23]. In de kostenberekening wordt uitsluitend rekening gehouden met het totaal elektriciteitsgebruik. Het capaciteitstarief, dat bepaald wordt door het maandelijkse piekvermogen, wordt niet meegenomen in deze studie. Daarnaast wordt uitgegaan van een constante elektriciteitsprijs over een periode van 30 jaar, waarbij geen rekening wordt gehouden met mogelijke fluctuaties in de elektriciteitsprijs. Wel wordt er een gevoeligheidsanalyse gedaan om de invloed van de elektriciteitsprijs op de resultaten te evalueren.

4 RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de energetische en financiële analyse besproken. Eerst wordt voor de basiscase met isolatiescenario 'S3: dak en ramen' een vergelijking gemaakt tussen de vier verschillende installatiescenario's, op basis van efficiëntie van de warmteopwekking, energiegebruik, investeringskost en levenscycluskost. Vervolgens wordt voor het scenario met een lucht-waterwarmtepomp de invloed onderzocht van de isolatiegraad, een alternatieve dimensionering en het gebruikersgedrag (in de vorm van efficiënt comfort) op zowel de energetische als financiële prestaties. Tot slot wordt ingegaan op de praktische implementatie van de verschillende types warmtepompen en elektrische convectoren, zowel op wijkniveau als op gebouwniveau.

4.1 Basisanalyse

Als eerste stap worden de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase met daken en ramen conform de huidige EPB-regelgeving. De dimensionering, het energiegebruik, de investeringskost en levenscycluskost worden hieronder toegelicht. Daarnaast zijn grafieken die het comfort van de onderzochte cases aantonen opgenomen in Bijlage C.

4.1.1 Dimensionering

Op basis van de warmteverliesberekening onder normcondities wordt voor de basiscase het totale vermogen van de opwekker en het benodigde afgiftevermogen per ruimte bepaald. Het benodigde opwekkingsvermogen bedraagt 10 kW, of 8 kW indien de badkamer afzonderlijk wordt verwarmd (zoals aangenomen bij de lucht-lucht WP). Het benodigd vermogen per ruimte is 4,7 kW voor de leefruimte, 1,9 kW voor de slaapkamer op de eerste verdieping, 2,3 kW voor de slaapkamer op de tweede verdieping en 2,1 kW in de badkamer. Rekening houdende met de afmetingen van de huidige radiatoren is een temperatuurregime van 55/45°C nodig om aan de warmtevraag te voldoen. Op basis van deze vermogens zijn de installatiecomponenten per scenario geselecteerd, zoals opgenomen in Tabel 14.

Tabel 14 Componenten voor de verschillende installatiescenario's toegepast op de basiscase.

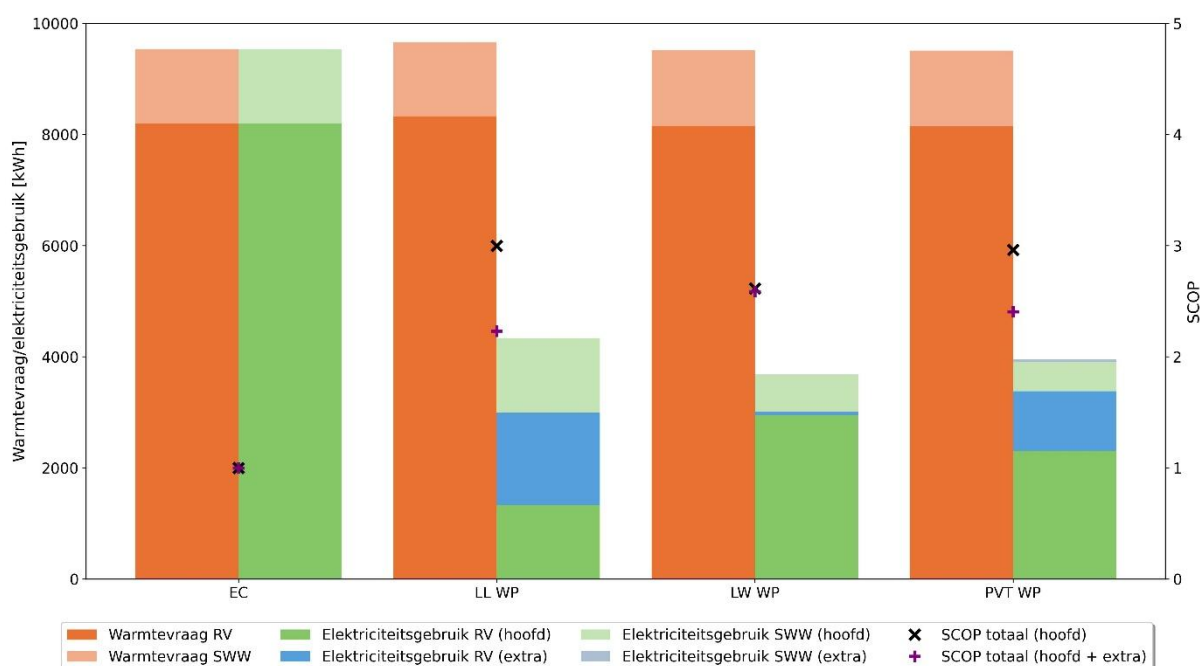
EC	LL WP	LW WP	PVT WP
El. convectoren: 3x2,5 kW + 2x2,0 kW	Buitenunit: 8-11 kW Binnenunit: 4x2,5 kW El. convector: 2,0 kW	Buiten- en binnenunit: 10-12 kW Behoud radiatoren Regime 55/45°C	PVT-panelen: 6 Binnenunit: 10-13 kW Behoud radiatoren Regime 55/45°C
El. boiler: 200 l	El. boiler: 200 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l

4.1.2 Warmtevraag, energiegebruik en efficiëntie

Figuur 12 toont de warmtevraag, het elektriciteitsgebruik en de SCOP voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase. De basiscase heeft een totale warmtevraag voor ruimteverwarming (RV) en sanitair warm water (SWW) van 9,5 tot 9,7 MWh/jaar, waarvan +/- 8,2 MWh/jaar voor RV. Hoewel de warmtevraag gelijk zou moeten zijn voor de verschillende installatiescenario's (wegens zelfde gebouw en verwarmingsprofiel), is er toch een lichte variatie door verschillen in reactiesnelheid en regeling van de systemen. Zo worden de decentrale systemen (EC en LL WP) bijvoorbeeld per ruimte geregeld, terwijl de centrale systemen (LW WP en PVT WP) een thermostaatregeling hebben waarbij de badkamer en slaapkamers enkel verwarmd worden als er warmtevraag is in de leefruimte. Daarnaast is er ook een ander comfortgevoel tussen de verschillende systemen mogelijk, waarbij elektrische convectoren en radiatoren een aandeel stralingswarmte voorzien, maar dit bij de binnenunit van een LL WP wegvalt.

Wanneer de SCOP van de verschillende systemen meegenomen wordt, ligt het energiegebruik voor RV en SWW bij het scenario met elektrische convectoren aanzienlijk hoger dan bij de andere scenario's

door de één-op-één efficiëntie (9,5 MWh/jaar). De drie warmtepompscenario's hebben een gelijkaardig energiegebruik van 3,7 tot 4,3 MWh/jaar naargelang de configuratie. De SCOP van het hoofdsysteem bij de LL WP en PVT WP ligt iets hoger dan die van de LW WP. Bij de LL WP komt dit door het kleinere temperatuurverschil tussen bron- en aanvoertemperatuur, terwijl dit bij de PVT WP gerelateerd is aan een hogere efficiëntie van de water-waterwarmtepomp ten opzichte van de lucht-waterwarmtepomp. Bij de LL WP configuratie zorgt dit voor het laagste energiegebruik voor verwarming, ondanks dat er een elektrische convector ingezet wordt om de badkamer te verwarmen. Het totale energiegebruik voor RV en SWW ligt echter hoger dan in de andere warmtepompconfiguraties, omwille van het gebruik van een elektrische boiler voor SWW. De configuratie met PVT WP heeft ongeveer hetzelfde energiegebruik voor RV en SWW als de configuratie met LW WP. De hogere efficiëntie van de PVT WP wordt in dit geval tenietgedaan door het gebruik van de elektrische weerstand in de warmtepomp. Deze treedt in werking wanneer de PVT-panelen uitgeschakeld worden omdat de koelvloeistof kouder wordt dan -10°C . Dit resulteert in vergelijkbare totale SCOP-waarden voor de drie warmtepompconfiguraties, variërend van 2,4 tot 2,6, waarbij de configuratie met LW WP uiteindelijk de hoogste SCOP haalt.



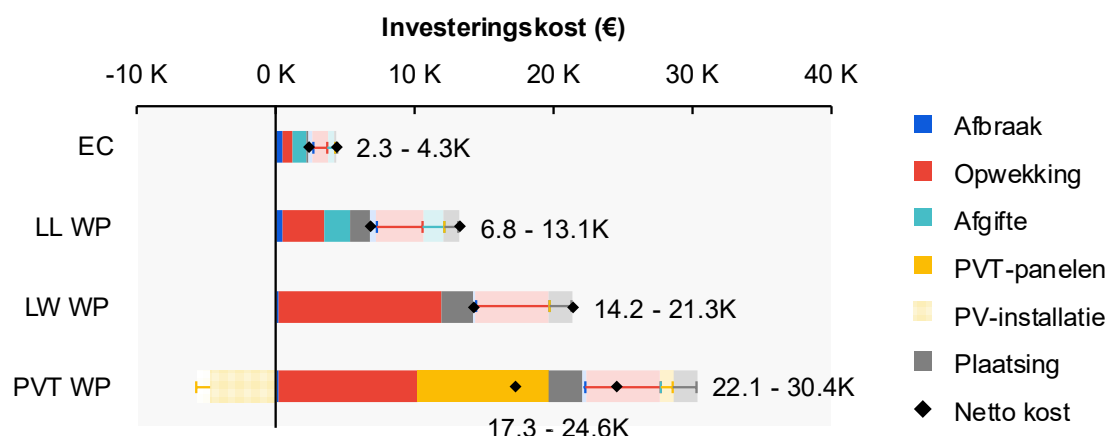
Figuur 12 Warmtevraag, energiegebruik en SCOP voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase waar ramen en daken conform de huidige energienorm zijn. (RV = ruimteverwarming; SWW = sanitair warm water)

4.1.3 Investeringskost

Vervolgens toont Figuur 13 de investeringskost van de vier installatiescenario's (inclusief 6% btw). Deze kost omvat de afbraak van bestaande installatiecomponenten (zoals de gasketel en eventueel radiatoren), de aankoop van de opwekker, afgiftesysteem, en PVT-panelen, en de plaatsingskost.

Het goedkoopste scenario is de eenvoudige installatie met elektrische convectoren, met een kost tussen €2.300 en €4.300. De LL WP volgt met een investeringskost van €6.800 tot €13.100. De LW WP is aanzienlijk duurder met een kost tussen €14.200 tot €21.300. De PVT WP heeft tot slot de hoogste investeringskost, namelijk €22.100 tot €30.400. Deze hoge kost is zowel gerelateerd aan de warmtepomp als de PVT-panelen. Om echter een eerlijke vergelijking met de andere systemen te maken, wordt bij dit scenario een negatieve kost ter waarde van een PV-installatie ingerekend, aangezien deze studie geen rekening houdt met de opwekking van elektriciteit bij de PVT WP. Deze negatieve kost komt overeen met de installatie van 6 PV-panelen, een omvormer van 3–4 kW en bijhorende componenten. Hierdoor daalt de netto investeringskost van het PVT-systeem naar €17.300–

24.600. Hoewel dit de kloof met de LW WP verkleint, blijft de PVT WP het duurste scenario wat betreft investeringskost.

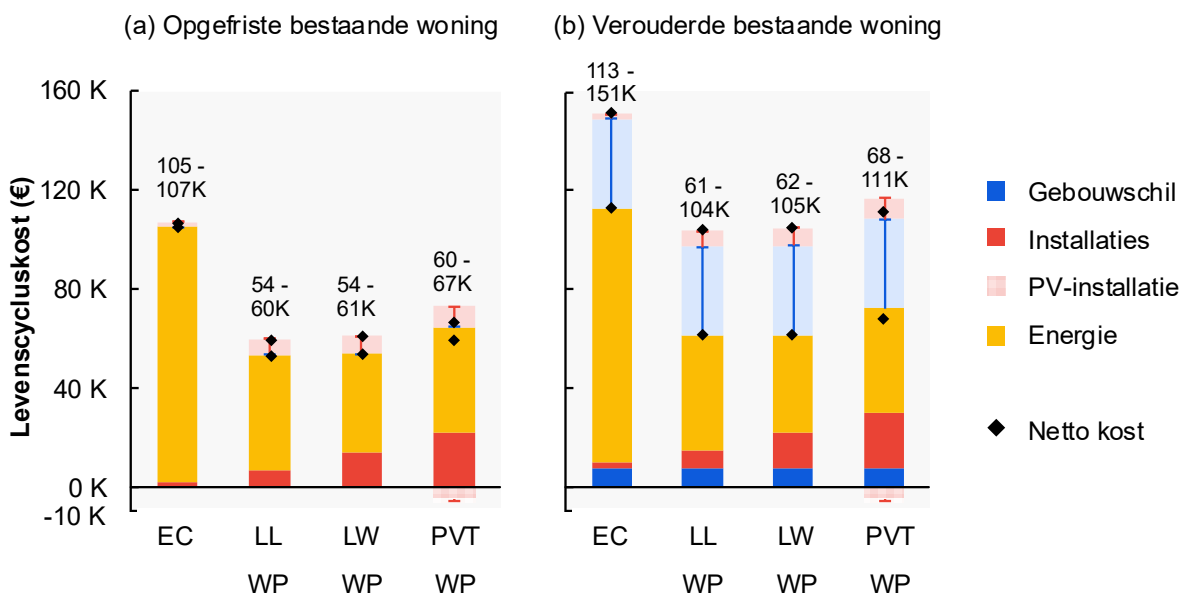


Figuur 13 Investeringskost inclusief 6% btw voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase waar ramen en daken conform de huidige energienorm zijn.

4.1.4 Levenscycluskost

De keuze van een systeem mag niet enkel gebaseerd zijn op de investeringskost, want zoals besproken resulteert het goedkoopste scenario met elektrische convectoren in het hoogste elektriciteitsgebruik. Daarom wordt in dit onderdeel de levenscycluskost over 30 jaar voor de vier installatiescenario's geanalyseerd.

In een eerste analyse wordt enkel de investeringskost afgezet tegen de energiekost, zonder vervangingen tijdens de studieperiode in te rekenen. Hierbij worden wel twee startpunten onderscheiden: een opgefriste en verouderde bestaande woning. In het eerste geval zijn recent oprisingswerken uitgevoerd, waardoor in jaar 0 geen vervanging van behouden materialen nodig is. In het tweede geval worden in jaar 0 alle afwerkingslagen van gebouwelementen die nog niet conform de energienorm zijn vervangen.

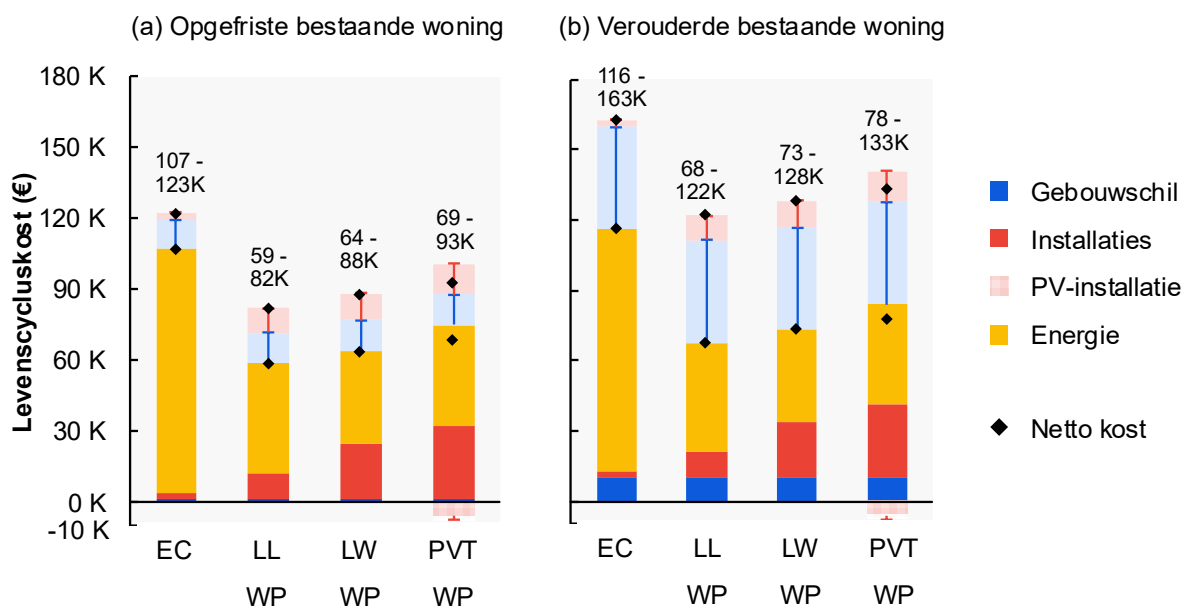


Figuur 14 Levenscycluskost over 30 jaar (inclusief btw en exclusief vervangingen tijdens de studieperiode) voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase voor twee startpunten: (a) opgefriste bestaande woning en (b) verouderde bestaande woning.

Figuur 14a toont dat, wanneer er geen opfrissingwerken aan de gebouwschil nodig zijn, de levenscycluskost voor de vier scenario's varieert tussen €54.000 en €107.000. Terwijl het scenario met elektrische convectoren de laagste investeringskost vertoonde, resulteert deze in een beduidend hogere levenscycluskost door het significant hogere elektriciteitsgebruik. De levenscycluskosten van de drie warmtepompscenario's liggen dicht bij elkaar. De LL WP en LW WP hebben een quasi-gelijke levenscycluskost: de hogere investeringskost van de LW WP wordt gecompenseerd door de 15% lagere energiekost. De PVT WP heeft de hoogste levenscycluskost van de drie door de hogere investeringskost.

Wanneer er wel opfrissingwerken aan de gebouwschil nodig zijn (Figuur 14b), stijgt de levenscycluskost naar €61.000 tot €151.000. Deze stijging, variërend tussen €7.800 en €43.800, is gerelateerd aan het vervangen van de binnen- en buitenafwerking van de buitenmuur en de vloerafwerking. Aangezien deze meerkost bij alle scenario's gelijk is, verandert het absolute verschil in levenscycluskost tussen de scenario's niet.

Naast de investerings- en energiekost worden in een tweede analyse ook vervangingen tijdens de studieperiode ingerekend van nieuwe schil- en installatiecomponenten of behouden afwerkingslagen met een levensduur korter dan 30 jaar. Opnieuw wordt rekening houdend met de twee startpunten van de bestaande woning, zoals weergegeven in respectievelijk Figuur 15a en b.



Figuur 15 Levenscycluskost over 30 jaar (inclusief btw en vervangingen tijdens de studieperiode) voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase voor twee startpunten: (a) opgefriste bestaande woning en (b) verouderde bestaande woning.

Wanneer vervangingen tijdens de levenscyclus wel worden meegerekend, stijgt de totale levenscycluskost. De energiekost blijft gelijk, maar de investeringskost voor de gebouwschil en installaties neemt toe met €1.800 tot €27.300. De stijging in de investeringskost voor de gebouwschil is opnieuw identiek voor de vier scenario's, dus de variatie in stijging tussen de scenario's is gerelateerd aan de installaties. De hoogste stijging in investeringskost van de installaties treedt op bij de LW WP. Deze stijging is hoger dan bij de PVT WP, omdat zowel de binnen- als buitenunit vervangen worden, terwijl bij de PVT WP enkel de binnenuit en omvormer vervangen worden. Hierdoor neemt het verschil tussen beiden af met ongeveer €1.200. De laagste stijging hoort bij de EC, door de lage investeringskost van de convectoren. Dit verkleint het verschil tussen de EC en de drie warmtepompscenario's met €3.400–11.900. Tot slot neemt het verschil tussen de LL WP en de twee andere warmtepompscenario's toe met ongeveer €4.000, waardoor de LL WP de laagste levenscycluskost heeft.

4.1.4.1 Gevoeligheidsanalyse: elektriciteitsprijs

In dit onderdeel wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de elektriciteitsprijs. In de basisanalyse werd uitgegaan van een vaste elektriciteitsprijs van 0,36 €/kWh. Deze prijs is echter onderhevig aan fluctuaties en onzekerheid door variaties in marktprijzen, beleidsmaatregelen en toekomstige energieontwikkelingen. Om de invloed hiervan op de levenscycluskost en de rangschikking van de vier installatiescenario's te onderzoeken, wordt de elektriciteitsprijs gevarieerd tussen 0,00 en 0,60 €/kWh.

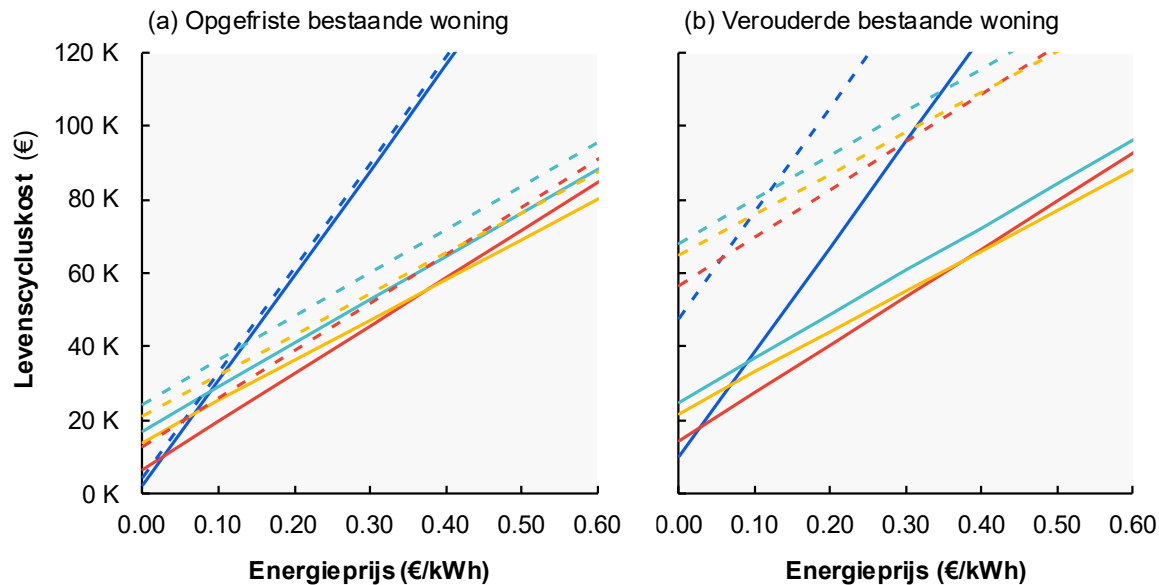
In Figuur 16 wordt de levenscycluskost van de vier installatiescenario's uitgezet in functie van de elektriciteitsprijs, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen een al opgefriste bestaande woning (a) en een verouderde bestaande woning (b), en tussen berekeningen exclusief (boven) en inclusief (onder) vervangingskosten. Voor elk scenario wordt ook de minimum (volle lijn) en maximum (stippellijn) levenscycluskost weergegeven.

De gevoeligheid van de levenscycluskost voor de elektriciteitsprijs verschilt sterk tussen de scenario's. EC vertoont de grootste gevoeligheid, wat blijkt uit de steile helling van de lijn. Dit is te verklaren door het hoge elektriciteitsgebruik van dit scenario. LW WP heeft daarentegen de minst steile lijn, gevolgd door PVT WP, door hun lage elektriciteitsgebruik.

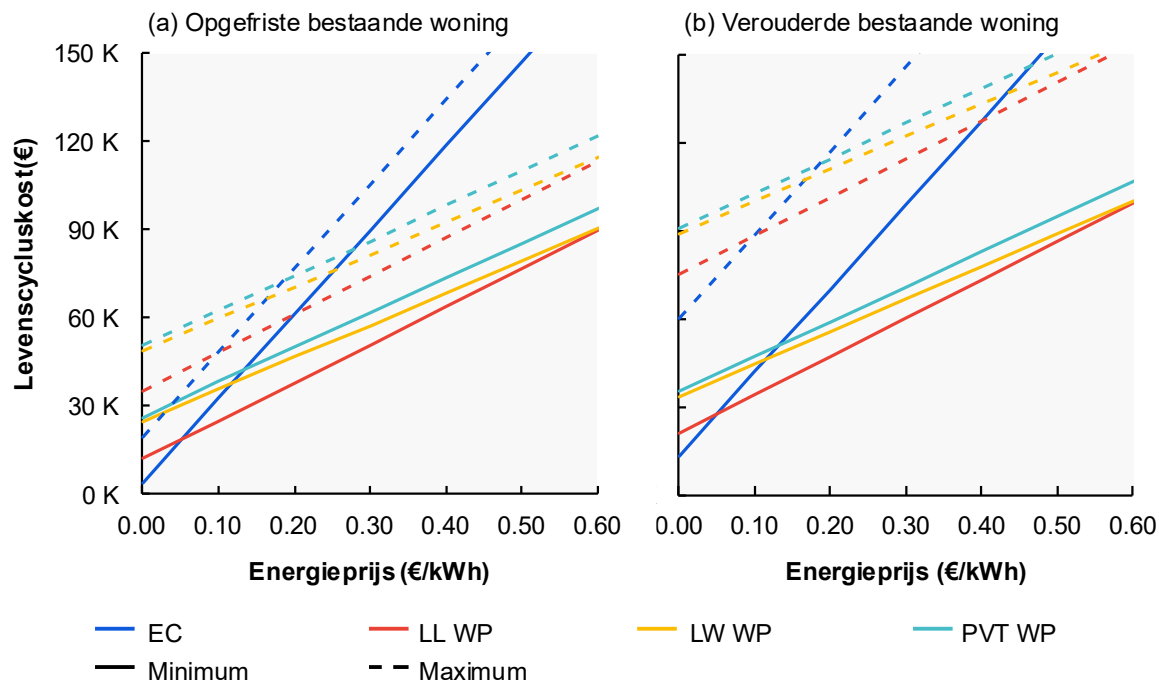
Bij een lage elektriciteitsprijs weegt de investeringskost zwaarder door, wat in het voordeel is van scenario's met een lage initiële kost (zoals EC). Bij hoge elektriciteitsprijzen domineert de energiekost, waardoor scenario's met een laag energiegebruik (zoals PVT WP en LW WP) relatief gunstiger worden. Bijgevolg kunnen kantelpunten optreden waarbij de voorkeur tussen de scenario's verschuift. In de basisanalyse had EC de hoogste levenscycluskost, gevolgd door PVT WP, terwijl LW WP en LL WP de laagste levenscycluskost hadden. Bij zeer lage elektriciteitsprijzen kan EC echter de laagste levenscycluskost vertonen. Afhankelijk van de randvoorwaarden van de analyse varieert het kantelpunt tussen EC en LL WP tussen 0,03 en 0,10 €/kWh. Bij LW WP en PVT WP ligt dit kantelpunt hoger door hun hogere investeringskost, namelijk respectievelijk op 0,07–0,16 €/kWh en 0,09–0,18 €/kWh.

Wanneer de levenscycluskosten van de drie warmtepompscenario's vergeleken worden, verschuift de voorkeur tussen LL WP en LW WP afhankelijk van de elektriciteitsprijs. Bij lage elektriciteitsprijzen gaat de voorkeur naar LL WP, maar bij prijzen tussen 0,38 en 0,69 €/kWh verschuift deze naar de LW WP. PVT WP behoudt de hoogste levenscycluskost voor de beschouwde prijsvork (0,00–0,60 €/kWh). Wel komen de levenscycluskosten van PVT WP en LL WP bij hogere elektriciteitsprijzen dicht bij elkaar, maar een kantelpunt treedt pas op bij elektriciteitsprijzen boven 0,60 €/kWh.

LEVENSICYCLUSKOST EXCL. VERVANGINGSKOST



LEVENSICYCLUSKOST INCL. VERVANGINGSKOST

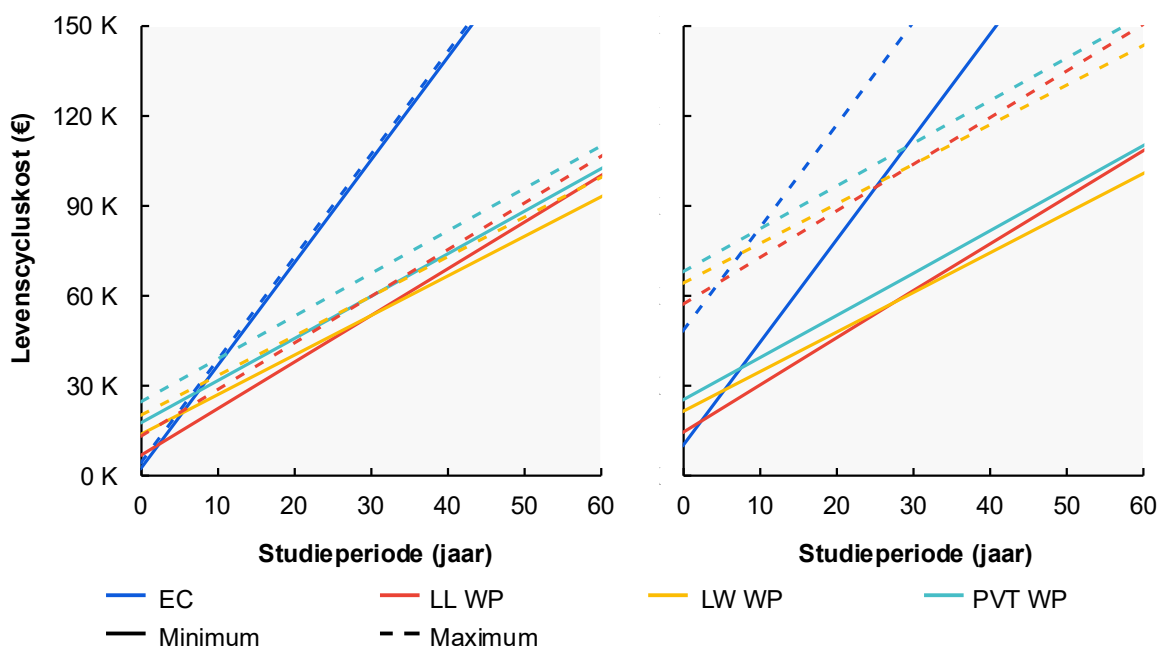


Figuur 16 Invloed van elektriciteitsprijs op de levenscycluskost over 30 jaar (incl. btw) voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase voor twee startpunten: (a) opgefriste bestaande woning en (b) verouderde bestaande woning.

4.1.4.2 Gevoeligheidsanalyse: studieperiode

De studieperiode kan eveneens invloed hebben op de verhouding van de vier installatiescenario's. Hoe langer de studieperiode, hoe sterker de energiekost zal doorwegen in het voordeel LW WP en PVT WP. Daarom wordt in een volgende gevoeligheidsanalyse de studieperiode gevarieerd om na te gaan vanaf wanneer een bepaald installatiescenario de voorkeur krijgt boven een andere. De elektriciteitsprijs wordt opnieuw vastgelegd op 0.36 €/kWh. Deze analyse houdt enkel rekening met de investeringskost en energiekost voor zowel een opgefriste als verouderde woning. Vervangingskosten worden dus niet ingerekend.

De invloed van de studieperiode op de levenscycluskost van de vier installatiescenario's is weergegeven in Figuur 17. EC heeft het hoogste energiegebruik en wordt daardoor het sterkst beïnvloed door de lengte van de studieperiode. Na 3 tot 10 jaar heeft EC de hoogste levenscycluskost, wanneer minima en maxima onderling worden vergeleken met de WP-scenario's. LL WP behoudt gedurende een periode van 31 tot 35 jaar de laagste levenscycluskost. Dan wordt LW WP voordeliger. De PVT WP bereikt pas een lagere levenscycluskost dan LL WP na 60 jaar, namelijk 76–83 jaar, maar blijft een hogere kost hebben dan LW WP. Het startpunt van de woning (opgefrist of verouderd) beïnvloedt enkel de totale levenscycluskost, maar niet de kantelpunten.



Figuur 17 Invloed van studieperiode op de levenscycluskost (incl. btw en excl. vervangingen) voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase voor twee startpunten: (a) opgefriste bestaande woning en (b) verouderde bestaande woning.

4.1.4.3 Gevoeligheidsanalyse: afgiftesysteem

In de basisanalyse werd aangenomen dat er een centraal verwarmingssysteem aanwezig is en dat de huidige radiatoren volstaan om de warmtevraag per ruimte te dekken (A0). Aangezien er in de woningen veel variatie is in het vermogen van de bestaande radiatoren, wordt enerzijds nagegaan wat de impact is als deze niet volstaan. In dat geval worden de vijf bestaande radiatoren vervangen door drie ventilo-convectoren van 2,5 kW en twee van 2,0 kW (A1). Anderzijds wordt verondersteld dat er nog geen centrale verwarming aanwezig is in de woning (A2). In deze situatie worden naast de installatie van ventilo-convectoren ook bijkomend leidingen getrokken. Voor deze gevoeligheidsanalyse worden geen bijkomende gebouwsimulaties gedaan. Er wordt verondersteld dat het energiegebruik identiek blijft aan dat van de basisanalyse.

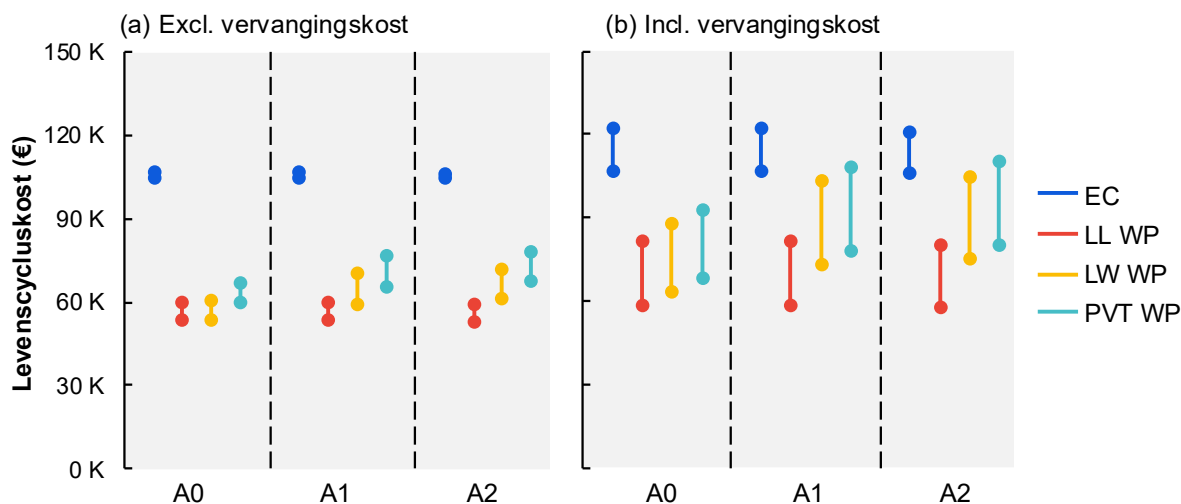
De vervanging van radiatoren door ventilo-convectoren (A1) heeft enkel invloed op de scenario's met watergedragen afgiftesystemen, namelijk LW WP en PVT WP. De investeringskost stijgt in deze scenario's met €5.600–9.300, wat resulteert in een totale investeringskost van €19.800–30.600 voor LW WP en €27.700–39.600 voor PVT WP. Hierdoor neemt het verschil in investeringskost met EC en LL WP aanzienlijk toe, zoals blijkt uit Tabel 15. Als er nog geen centrale verwarming is (A2), valt de afbraakkost van de gasketel en radiatoren (€480–900) weg bij alle scenario's, maar wordt een bijkomende investeringskost voor leidingen ingerekend van €530 per afgifte-element, of €2.650 voor de vijf ventilo-convectoren, bij de watergedragen systemen. Dit versterkt verder het verschil in investeringskost tussen de LW WP/PVT WP en EC/LW WP.

Tabel 15 Investeringskost in € (incl. btw) voor de vier installatiescenario's met variatie in afgiftesysteem.

Afgiftesysteem	EC	LL WP	LW WP	PVT WP
A0: Behoud radiatoren	2,3K–4,3K	6,8K–13,1K	14,2K–21,3K	22,1K–30,4K (17,3K–24,6K)
A1: Nieuwe ventilo-convectoren	2,3K–4,3K	6,8K–13,1K	19,8K–30,6K	27,7K–39,6K (22,9K–33,9K)
A2: Nieuwe centrale verwarming	1,8K–3,4K	6,3K–12,2K	21,9K–32,4K	29,9K–41,4K (25,0K–35,6K)

(XK – YK) = netto kost met aftrek van PV-installatie

Vervolgens toont Figuur 18 de levenscycluskost van de vier scenario's voor de drie situaties (A0, A1, A2), exclusief (a) en inclusief (b) vervangingskosten tijdens de studieperiode. Door de hogere investeringskost van LW WP en PVT WP neemt hun levenscycluskost toe in A1 en nog meer in A2. Daardoor vergroot het verschil met LL WP aanzienlijk, in het voordeel van LL WP. Het verschil met EC daarentegen verkleint. Ondanks de verschuivingen blijft de voorkeur tussen de scenario's in alle situaties gelijk.



Figuur 18 Invloed van afgiftesysteem (A0 = behoud radiatoren; A1 = nieuwe ventilo-convectoren; A2 = geen centrale verwarming) op de levenscycluskost over 30 jaar (incl. btw) voor de vier installatiescenario's toegepast op de basiscase met als startpunt een opgefriste bestaande woning, (a) excl. of (b) incl. vervangingskost.

4.2 Invloed isolatiegraad

In het vorige onderdeel werd de basiscase geanalyseerd, waarin daken en ramen al conform de huidige EPB-regelgeving geïsoleerd zijn. In dit onderdeel wordt onderzocht hoe variaties in de huidige isolatiegraad en renovatiegraad de resultaten beïnvloeden. Voor de technische installaties wordt uitgegaan van een LW WP aangesloten op de huidige radiatoren en met een geïntegreerde SWW-boiler.

Zoals toegelicht in onderdeel 2.1.2, varieert de huidige isolatiegraad van de woningen in de wijk. Daarom worden enerzijds lagere isolatiegraden dan de basiscase onderzocht, namelijk startscenario's 'S1: niets' en 'S2: dak'. Daarnaast worden ook twee diepgaandere renovatiescenario's toegepast op elk startscenario: 'R1: alles excl. vloer' en 'R2: alles', zoals toegelicht in onderdeel 3.2.1. De invloed van deze variabelen op de dimensionering van de technieken, het energiegebruik van de woning en de investerings- en levenscycluskost wordt in de volgende paragrafen afzonderlijk besproken.

4.2.1 Dimensionering

Op basis van de warmteverliesberekening onder normcondities wordt voor de vijf isolatiegraden het totale vermogen van de LW WP en het benodigde vermogen per ruimte bepaald. Het benodigde opwekkingsvermogen varieert naargelang de isolatiegraad: 12 kW bij 'S1: niets', 11 kW bij 'S2: daken', 10 of 11 kW bij respectievelijk 'S3 of R0: dak en raam', 7 kW bij 'R1: alles excl. vloer' en 5 kW bij 'R2: alles'.

In alle scenario's, behalve R2, wordt aangenomen dat de huidige radiatoren behouden blijven. Het temperatuurregime wordt gekozen zodat het geleverde vermogen overeenstemt met de warmteverliesberekening. Bij de meest ingrijpende renovatie (R2) worden de bestaande radiatoren verwijderd en vervangen door vloerverwarming op het gelijkvloers, ventilo-convectoren in de slaapkamers en een elektrische convector in de badkamer. De componenten van de LW WP per isolatiegraad zijn opgelijst in Tabel 16.

Hieruit blijkt dat de drie startscenario's relatief hoge vermogens en temperatuurregimes vereisen. Als vuistregel wordt aangenomen dat een warmtepomp met een thermisch vermogen boven 10kW en/of een aanvoertemperatuur hoger dan 55°C te vermijden is. Dit om een verzwaring van de elektrische aansluiting te voorkomen, de geluidsvermogens van de buitenunit te beperken en de warmtepomp aan een voldoende hoge COP te laten werken. Scenario's S1 en S2 voldoen niet aan deze randvoorwaarden en worden bijgevolg als te vermijden beschouwd. Voor de volledigheid zijn ze wel opgenomen in de energetische analyse. S3 wordt wel nog als haalbaar geacht, aangezien het benodigde vermogen net 10kW bedraagt en het temperatuurregime ook voldoet aan de bovengrens van 55°C.

Tabel 16 Componenten van de LW WP voor de basisgeometrie met verschillende isolatiegraden.

S1: niets	S2: daken	S3 of R0: dak en raam	R1: alles excl. vloer	R2: alles
Buiten- en binnenunit: 12-14 kW Behoud radiatoren	Buiten- en binnenunit: 10-12 kW Behoud radiatoren	Buiten- en binnenunit: 10-12 kW Behoud radiatoren	Buiten- en binnenunit: 7-9 kW Behoud radiatoren	Buiten- en binnenunit: 5-7 kW Vloerverwarming (GV): 52 m ² Ventilo (VD): 2x1-2 kW El. convector (BK): 1,5 kW
Regime 60/50°C	Regime 60/50°C	Regime 55/45°C	Regime 50/40°C	Regime 35/30°C
Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l

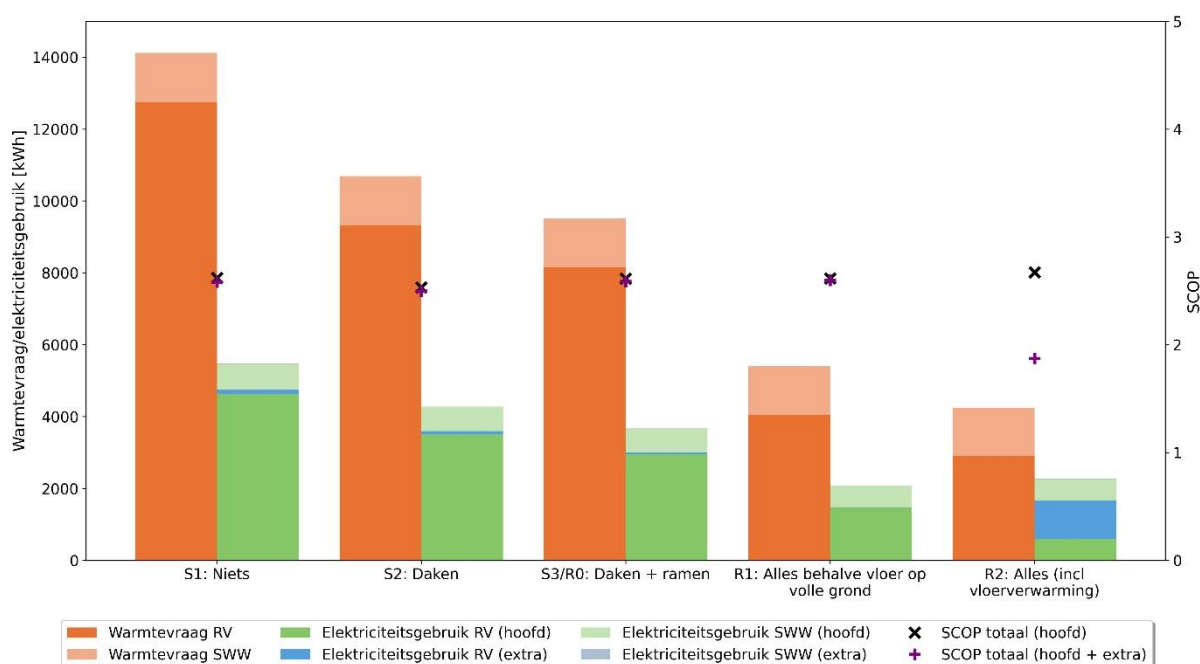
GV = gelijkvloers; VD = verdieping; BK = badkamer

4.2.2 Warmtevraag, energiegebruik en efficiëntie

Figuur 19 toont de warmtevraag, het elektriciteitsgebruik en de SCOP voor de verschillende isolatiegraden. Uitgaande van eenzelfde gebruikersprofiel daalt de warmtevraag voor RV van 12,7

MWh voor S1 tot 2,9 MWh voor R2. De totale warmtevraag (inclusief SWW) neemt af van 14,1 MWh tot 4,3 MWh. Het elektriciteitsgebruik van de configuratie met LW WP daalt van 5,5 MWh tot 2,1 MWh bij R1. Bij R2 is er echter een lichte stijging naar 2,3 MWh ten gevolge van het gebruik van een elektrische badkamerconvectoren. Dit zorgt echter wel voor een stijging in comfort, zoals in Bijlage C te zien is. Bovendien biedt deze configuratie met vloerverwarming en ventilo-convectoren ook het potentieel om te koelen, wat naar de toekomst toe steeds belangrijker wordt.

De SCOP van de warmtepomp varieert beperkt tussen de scenario's. Bij de drie startscenario's (S1-3) moet de elektrische weerstand vaker bijspringen, waardoor de SCOP van de volledige warmteopwekking lager ligt dan die van enkel de warmtepomp, maar dit effect is miniem. Bij scenario R2 is er echter wel een groot verschil tussen de SCOP van de warmtepomp zelf (2,7) en die van het systeem (1,9). Dit is ten gevolge van het gebruik van de elektrische badkamerconvectoren, die zich bovendien in de uitbouw bevindt waarvan de muren niet geïsoleerd zijn conform de regelgeving (zie 3.2.1). Daarnaast beïnvloeden ook andere factoren de efficiëntie. Zo is de SCOP hoger in het tussenseizoen, maar het aandeel warmtevraag in het tussenseizoen neemt af met stijgende isolatiegraad, wat de SCOP van de beter geïsoleerde cases nadelig beïnvloedt. Ook weegt het aandeel voor SWW relatief meer door als de isolatiegraad van de woning stijgt door de dalende warmtevraag voor verwarming. Aangezien SWW een lagere SCOP heeft door de hogere benodigde aanvoertemperaturen, beïnvloedt dit de totale SCOP negatief voor de beter geïsoleerde cases. Daartegenover daalt het temperatuurregime voor RV als de isolatiegraad stijgt, wat dan weer een positieve impact heeft op de SCOP bij de beter geïsoleerde cases.

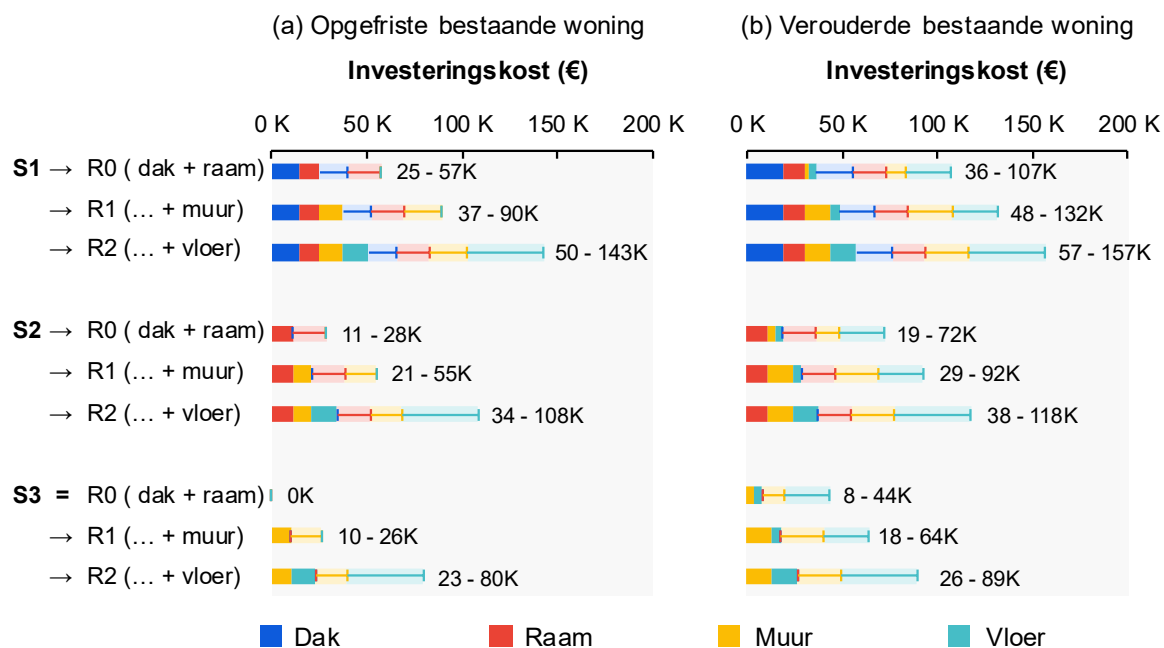


Figuur 19 Warmtevraag, energiegebruik en SCOP bij de verschillende isolatiegraden van de gebouwschil gecombineerd met een LW WP.

4.2.3 Investeringskost

4.2.3.1 Gebouwschil

Figuur 20 toont de investeringskost voor de gebouwschil van de verschillende renovatiegraden (R0, R1, R2) voor de drie startscenario's (S1, S2, S3) toegepast op de basisgeometrie. De analyse gebeurt voor twee situaties: (a) een al opgefriste woning waarbij geen vervanging van behouden materialen nodig is en (b) een verouderde bestaande woning waarbij bestaande afwerkingslagen vervangen worden indien de huidige opbouwen nog niet conform de energie-eisen zijn.



Figuur 20 Investeringskost inclusief 6% btw voor het renoveren van de gebouwschil (R0, R1, R2) van de basisgeometrie met verschillende huidige isolatiegraden (S1, S2, S3).

Om eenzelfde isolatiegraad te bereiken, vergt S1—waarin nog geen schildelen conform de huidige energienorm zijn—de hoogste investeringskost. De eerste stap van S1 naar R0, het renoveren van daken en ramen, veroorzaakt de grootste kost. Bij een opgefriste woning (a) resulteren beide gebouwelementen in een gelijkaardige kost, met ramen en buitendeur iets goedkoper door hun relatief kleiner oppervlak. Meer specifiek gaat dit om €14.100–28.900 voor het plat en hellend dak inclusief dakvensters en dakkoepels, tegenover €11.100–28.100 voor de ramen en buitendeur. Bij S2 is enkel de investeringskost voor het vervangen van ramen en buitendeur nodig. Naarmate de renovatiegraad stijgt, neemt de investeringskost toe. Het renoveren van de muren (stap naar R1 voor alle drie de startscenario's) vraagt een investering van €9.800 tot €32.200, terwijl het renoveren van de vloer op volle grond (stap naar R2) een extra investering van €13.300–53.500 vergt. Een totaalrenovatie van de gebouwschil resulteert bij een opgefriste woning in een totale investeringskost van €50.500–143.000 voor S1, €34.200–108.100 voor S2 en €23.100–79.700 voor S3.

Bij een verouderde bestaande woning (b) is het verschil in investeringskost tussen de opeenvolgende renovatiegraden kleiner. Dit komt doordat bepaalde materiaallagen sowieso vervangen moeten worden, waardoor de meerkost voor bijkomende isolatie beperkter is. Dit effect is vooral zichtbaar bij de stap van R1 naar R2: als de vloerafwerking toch vervangen moet worden, bedraagt de meerkost voor het renoveren van de vloer slechts €8.900–25.400, tegenover €13.300–53.500 bij een reeds opgefriste woning waar de vloer in principe behouden kan blijven. Met andere woorden, wanneer oprisingswerken noodzakelijk zijn, is het isoleren relatief goedkoper dan wanneer materialen nog in goede staat zijn.

Gevoeligheidsanalyse: renovatieopties gebouwschil

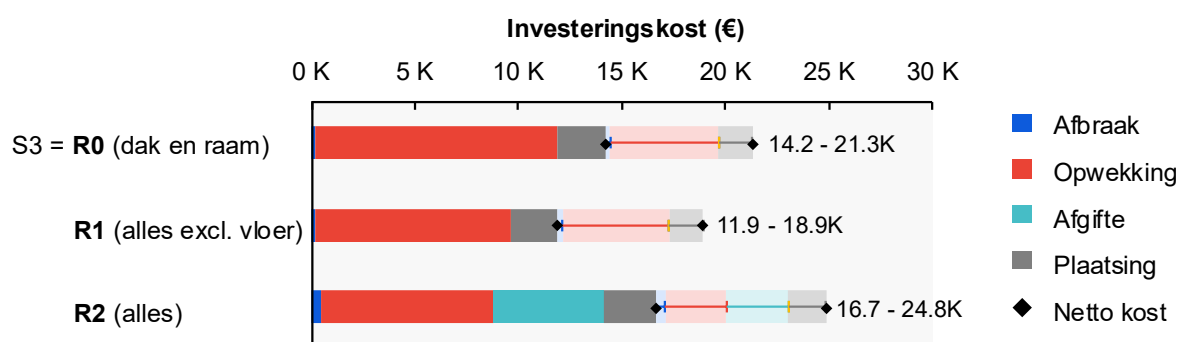
In bovenstaande analyse werd aangenomen dat de renovatie van ramen gepaard gaat met de vervanging van het volledige venster, inclusief glas en kader. Een alternatief om de investeringskost te beperken is het vervangen van enkel de bestaande beglazing door performante dubbele beglazing met een U-waarde van 1,10 W/(m²·K) of lager. Deze ingreep wordt geschat op ca. €190 per m² (inclusief btw), wat aanzienlijk lager is dan de €720–1.800 per m² die vereist is voor het vervangen van vensters. Op gebouwniveau resulteert dit in een reductie van de investeringskost met ongeveer €7.000–20.900 voor startscenario's S1 en S2.

Daarnaast zou ook binnenisolatie van de buitenmuur een mogelijke strategie kunnen zijn om de investeringskost te drukken. Gezien de beperkte oppervlakte van de woningen wordt deze optie als minder wenselijk beschouwd en daarom niet verder uitgewerkt.

4.2.3.2 Technische installaties

Vervolgens toont Figuur 21 de investeringskost voor de installatie van een lucht-water WP in de woning voor de drie verschillende renovatiegraden. Deze kost omvat de afbraak van de huidige gasketel (en eventueel radiatoren), de aankoop van de warmtepomp, het afgiftesysteem en plaatsingskosten. Er wordt aangenomen dat de huidige radiatoren behouden kunnen blijven in startscenario S3/renovatiescenario R0 en renovatiescenario R1. In renovatiescenario R2, de totaalrenovatie, wordt verondersteld dat bij het renoveren van de vloer vloerverwarming wordt voorzien op het gelijkvloers, aangevuld met ventilo-convectoren in de slaapkamers en een elektrische convector in de badkamer.

Naarmate de renovatiegraad stijgt, daalt het benodigde vermogen van de warmtepomp, waardoor de investeringskost van de opwekker afneemt. Voor R1 bedraagt deze reductie €2.300–2.400 en voor R2 €3.400–5.800 ten opzichte van R0. Hierdoor ligt de totale investeringskost van R1 lager is dan die van R0. De investeringskost van R2 is daarentegen het hoogst. Ondanks de lagere kost voor de warmtepomp zelf, zorgt het nieuwe afgiftesysteem voor een bijkomende investering van €5.300–8.300, wat resulteert in een totale investeringskost van €16.700–24.800. Als geen nieuw afgiftesysteem zou worden geplaatst, zou R2 de laagste investeringskost opleveren.

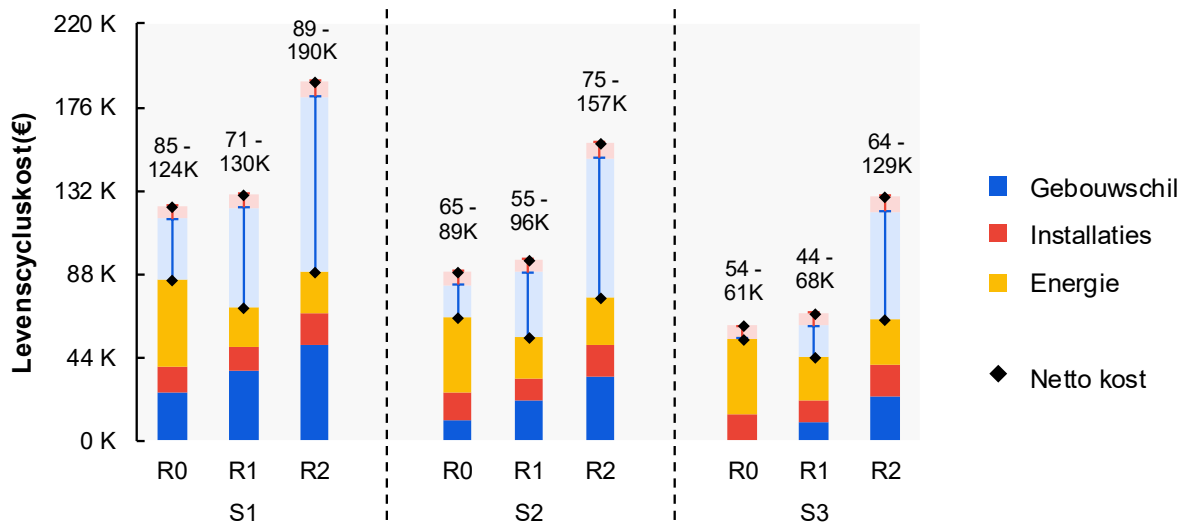


Figuur 21 Investeringskost inclusief 6% btw voor de installatie van een lucht-water WP per renovatiegraad (R0, R1, R2) toegepast op de basisgeometrie.

4.2.4 Levenscycluskost

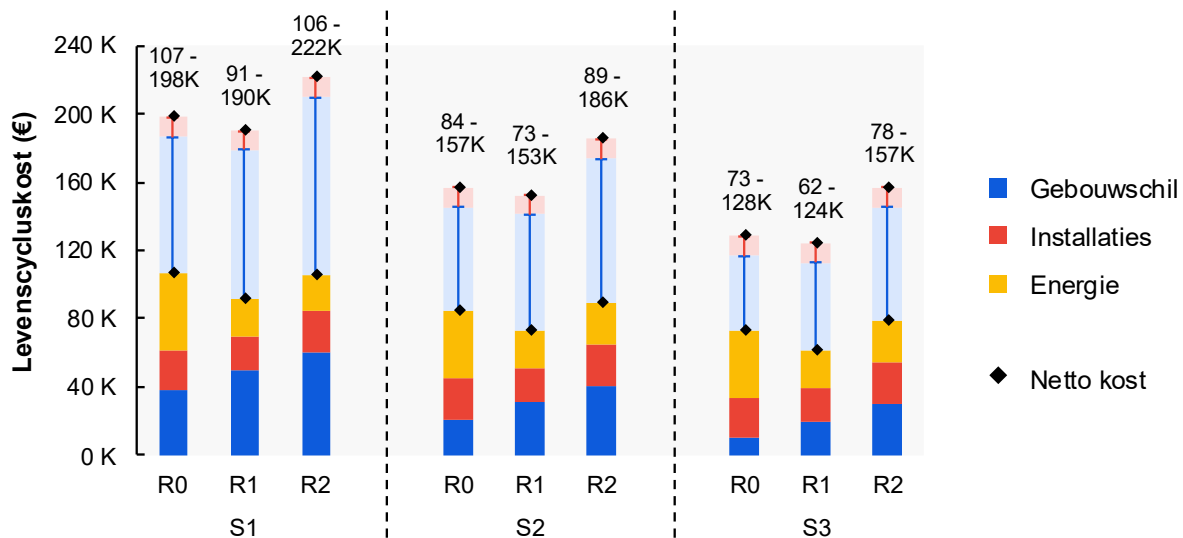
Figuur 22 geeft de levenscycluskost weer over een periode van 30 jaar voor de drie renovatiegraden (R0, R1, R2) toegepast op de drie startscenario's (S1, S2, S3). De analyse omvat enkel de investeringskost en energiekost, zonder rekening te houden met vervangingen tijdens de studieperiode. Er wordt uitgegaan van een reeds opgefriste woning. De levenscycluskost varieert tussen €44.000 en €190.000, afhankelijk van het startscenario en de renovatiegraad. Zo vertoont de renovatie van S1 de hoogste levenscycluskosten (€71.000–190.000), terwijl de renovatie van S3 de laagste kosten oplevert (€44.000–129.000).

De resultaten tonen duidelijk dat een hogere renovatiegraad leidt tot een stijging van de investeringskost, maar tegelijk tot een daling van de energiekost. Bij vergelijking van de minima en maxima blijkt dat R2 in alle scenario's de hoogste levenscycluskost heeft, namelijk 5–11% hoger dan R0 en 26–91% hoger dan R1. De extra investeringskost van R2 wordt dus niet gecompenseerd door de energiebesparing van R2 ten opzichte van R0 binnen de beschouwde periode. De minimumkost van R1 is daarentegen steeds lager dan die van R0 (15–18%), maar de maximumkost van R1 is 5–11% hoger dan die van R0.



Figuur 22 Levenscycluskost over 30 jaar (inclusief btw en exclusief vervangingen tijdens de studieperiode) voor drie renovatiegraden (R0, R1, R2) toegepast op de drie startscenario's (S1, S2, S3) voor een opgefriste bestaande woning.

De levenscycluskosten stijgen wanneer wordt uitgegaan van een verouderde woning en vervangingen tijdens de studieperiode worden ingerekend, zoals weergegeven in Figuur 23. Deze stijging is het grootst bij de laagste renovatiegraad (R0), waardoor het verschil met R1 en R2 aanzienlijk vermindert. De minimumkost van R2 is nu zelfs gelijkaardig aan die van R0 (-1% tot +7%). De maximumkost blijft wel hoger, zij het veel beperkter (12–22% tegenover de eerdere 53–111%). Verder blijkt dat zowel de minimum- als maximumkosten van R1 steeds lager zijn dan die van R0 (3–16%). R2 blijft een hogere kost hebben dan R1, maar het verschil is beperkt tot 16–27% tegenover 26–91% in de vorige analyse.



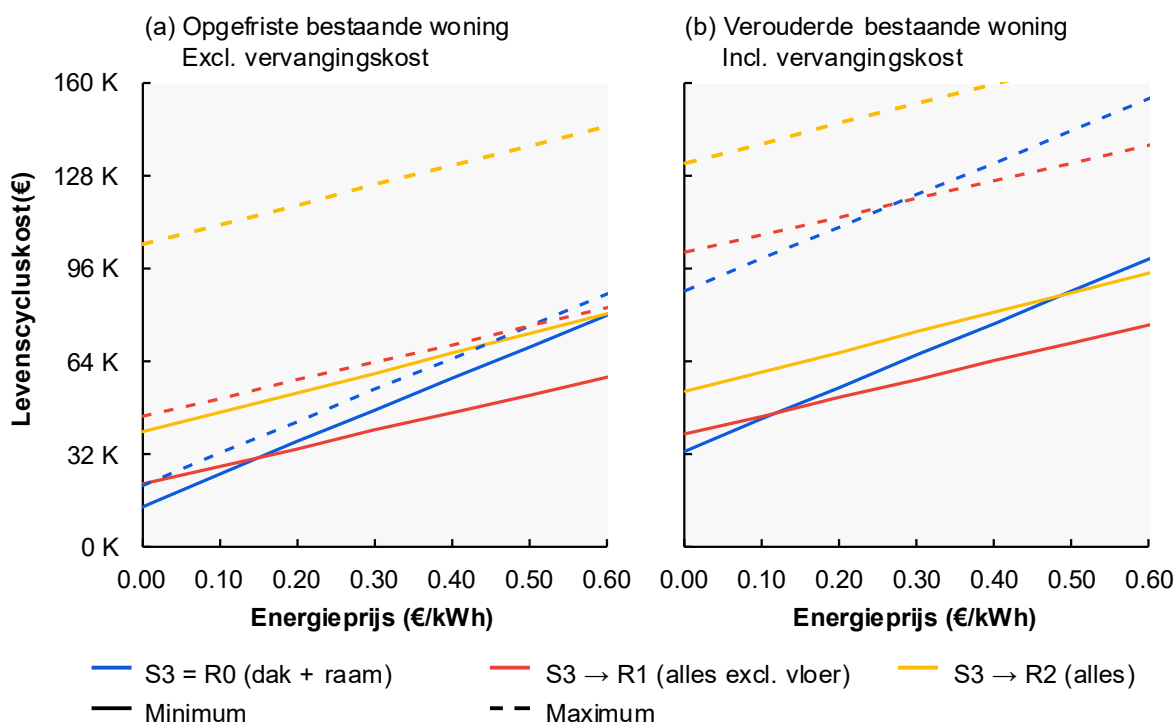
Figuur 23 Levenscycluskost over 30 jaar (inclusief btw en inclusief vervangingen tijdens de studieperiode) voor drie renovatiegraden (R0, R1, R2) toegepast op de drie startscenario's (S1, S2, S3) voor een verouderde bestaande woning.

4.2.4.1 Gevoeligheidsanalyse: elektriciteitsprijs

Ook op deze analyse zal de elektriciteitsprijs een invloed hebben, omdat de operationele energiekost bij R0 hoger ligt dan bij R1 en R2. Een lagere elektriciteitsprijs zal in het voordeel zijn van R0, terwijl een hogere elektriciteitsprijs gunstiger is voor R1 en R2. Daarom wordt in deze gevoeligheidsanalyse de originele vaste elektriciteitsprijs van 0,36 €/kWh opnieuw gevarieerd tussen 0,00 en 0,60 €/kWh om na te gaan bij welke elektriciteitsprijzen er eventueel verschuivingen in voorkeur plaatsvinden.

In Figuur 24 wordt de levenscycluskost van de drie renovatiegraden toegepast op startscenario S3 uitgezet in functie van de elektriciteitsprijs, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen volgende twee randvoorwaarden: (a) een al opgefriste bestaande woning en zonder vervangingskosten tijdens de studieperiode en (b) een verouderde bestaande woning en met vervangingskosten. De volle lijn stelt steeds de minimum levenscycluskost voor en de stippellijn de maximum levenscycluskost.

De helling van de lijnen weerspiegelt de gevoeligheid voor elektriciteitsprijs: R0 vertoont de grootste gevoeligheid door het relatief hoge elektriciteitsgebruik, wat duidelijk zichtbaar is in de steilere helling van de lijn. Bij lage elektriciteitsprijzen domineert de investeringskost, wat R0 relatief voordelig maakt. Bij hoge elektriciteitsprijzen domineert de energiekost, waardoor R1 en R2 gunstiger worden. Hierdoor ontstaan kantelpunten waarbij de voorkeur tussen renovatiegraden verschuift. Deze kantelpunten zijn afhankelijk van of er naar de minimum- of maximumkost gekeken wordt en de randvoorwaarden van de analyse. Voor de reeds opgefriste woning (Figuur 24a) heeft renovatiegraad R1 een lagere minimale levenscycluskost dan het startscenario S3 bij een elektriciteitsprijs vanaf 0.16 €/kWh. Bij de maximale levenscycluskost komt dit kantelpunt pas voor vanaf 0.50 €/kWh. Voor een totaalrenovatie (R2) verschuift het kantelpunt naar hogere waarden, namelijk respectievelijk 0.61 en 1.97 €/kWh door de hogere investeringskost. Er is geen verschuiving in voorkeur tussen R2 en R1, aangezien zowel de investeringskost als het elektriciteitsgebruik van R2 hoger ligt.



Figuur 24 Invloed van elektriciteitsprijs op de levenscycluskost over 30 jaar (incl. btw) voor de drie renovatiegraden (R0, R1, R2) toegepast op startscenario S3 voor: (a) een opgefriste of (b) verouderde bestaande woning en een berekening (a) excl. of (b) incl. vervangingskost.

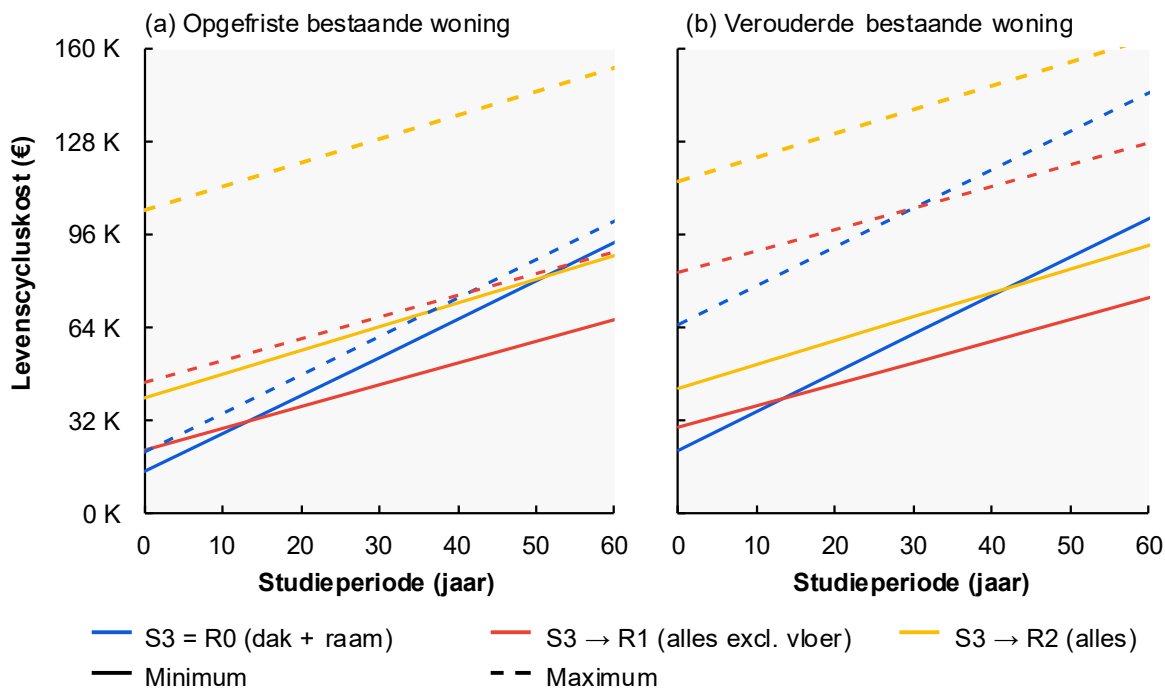
Voor de verouderde woning (Figuur 24b) treden de kantelpunten al op bij lagere waarden. R1 heeft een lagere levenscycluskost dan S3 bij een elektriciteitsprijs vanaf 0.12 €/kWh en 0.27 €/kWh. Voor R2 liggen de waarden op 0.48 en 1.04 €/kWh. De resultaten van de andere startscenario's liggen in dezelfde grootteorde.

4.2.4.2 Gevoeligheidsanalyse: studieperiode

Ook de studieperiode kan de verhouding tussen de drie renovatiegraden beïnvloeden. Hoe langer de studieperiode, hoe meer de energiebesparing zal doorwegen, wat in het voordeel speelt van R1 en R2. In Figuur 25 wordt de studieperiode gevarieerd om te bepalen vanaf wanneer een bepaalde renovatiegraad de voorkeur krijgt boven een andere. De elektriciteitsprijs is opnieuw 0.36 €/kWh. Deze

analyse houdt enkel rekening met de investerings- en energiekost. Enkel startscenario S3 wordt bestudeerd, aangezien de resultaten van de andere startscenario's in dezelfde grootteorde liggen.

Startscenario S3 zelf is het meest gevoelig voor variatie in de studieperiode, omdat dit scenario het hoogste energiegebruik kent. Voor de opgefriste woning (Figuur 25a) heeft renovatiegraad R1 een lagere minimale en maximale levenscycluskost dan S3 vanaf respectievelijk 13 en 41 jaar. Voor de totaalrenovatie (R2) liggen de kantelpunten bij hogere studieperiodes, namelijk 50 en 164 jaar. R2 is nooit gunstiger dan R1, aangezien zowel de investeringskost als energiekost hoger liggen. Wanneer uitgegaan wordt van een verouderde woning (Figuur 25b), verschuiven de kantelpunten naar korte studieperiodes. S3 heeft de hoogste levenscycluskost vanaf 13–31 jaar ten opzichte van R1 en 42–97 jaar ten opzichte van R2.



Figuur 25 Invloed van studieperiode op de levenscycluskost (incl. btw en excl. vervangingskost) voor de drie renovatiegraden (R0, R1, R2) toegepast op startscenario S3 voor: (a) een opgefriste of (b) verouderde bestaande woning.

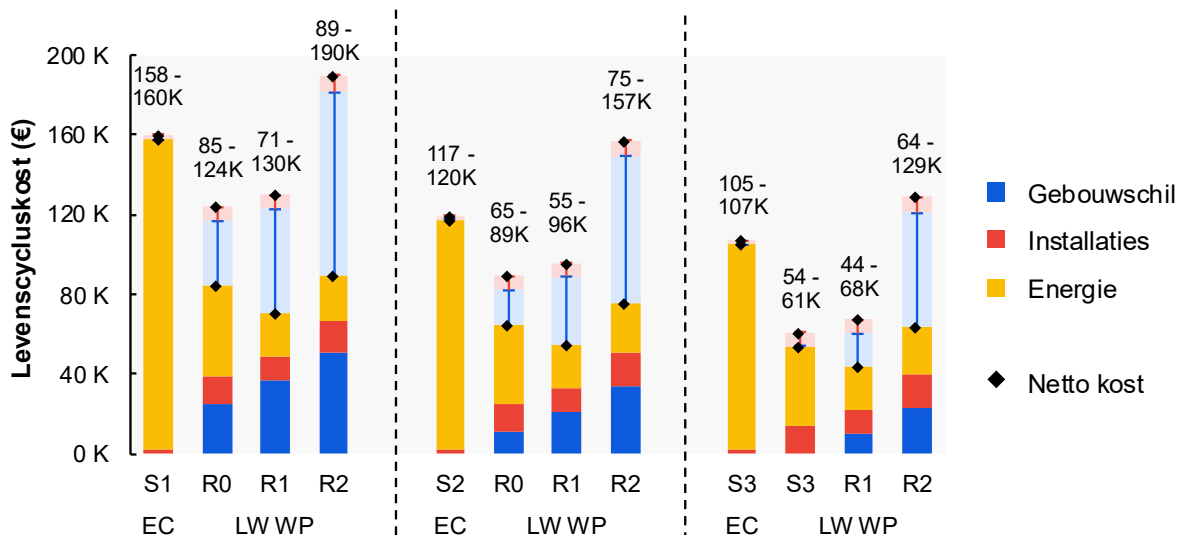
4.2.4.3 Bijkomende analyse: startscenario's met elektrische convectoren

Deze aanvullende analyse onderzoekt of het beter is om een gebouwschilrenovatie uit te voeren—met minimaal de renovatie van daken en ramen—en vervolgens een lucht-water WP te installeren, vergeleken met geen renovatie van de gebouwschil maar waar verwarming wordt voorzien via elektrische convectoren. Zonder enige renovatie van de gebouwschil bij startscenario's S1 en S2 ligt het vereiste totaal verwarmingsvermogen (respectievelijk 12,5 kW en 11 kW) en de vereiste temperatuurregimes relatief hoog. Om die reden wordt in deze scenario's geen lucht-water WP beschouwd. De componenten die nodig zijn voor de drie startscenario's met elektrische convectoren worden weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17 Componenten voor de drie startscenario's met elektrische convectoren.

S1: niets	S2: dak	S3: dak en raam
El. convectoren: 4x2,0 kW + 4x1,5 kW	El. convectoren: 2x2,5 kW + 3x2,0 kW + 1x1,5 kW	El. convectoren: 3x2,5 kW + 2x2,0 kW
El. boiler: 200 l	El. boiler: 200 l	El. boiler: 200 l

Figuur 26 geeft de levenscycluskost weer voor de drie startscenario's (S1, S2, S3) met elektrische convectoren (EC), evenals de drie renovatiegraden (R0, R1, R2) waarin telkens een lucht-water WP (LW WP) wordt toegepast. De analyse omvat de investeringskost voor de gebouwschil en installaties en de energiekost. Vervangingskosten worden in deze analyse niet meegenomen en er wordt uitgegaan van een reeds opgefriste woning.



Figuur 26 Levenscycluskost over 30 jaar (inclusief btw en exclusief vervangingen tijdens de studieperiode) voor drie renovatiegraden (R0, R1, R2) met een lucht-water WP en de drie startscenario's (S1, S2, S3) met elektrische convectoren voor een opgefriste bestaande woning.

Bij een lage isolatiegraad in combinatie met elektrische convectoren ligt het elektriciteitsgebruik beduidend hoger dan in de scenario's met een hogere isolatiegraad en een lucht-water WP. De investeringskost van de EC-scenario's is daarentegen aanzienlijk lager. Wanneer echter naar de levenscycluskost wordt gekeken, scoren de startscenario's met elektrische convectoren systematisch slechter dan de renovatiegraden R0 en R1 met een lucht-water WP. De hogere investeringskost van deze renovatiescenario's wordt dus volledig gecompenseerd door de lagere energiekost, waardoor zowel de minimale als de maximale levenscycluskost respectievelijk 45–58% en 18–42% lager uitvalt.

R2 met een lucht-water WP resulteert enkel in een lagere levenscycluskost dan de startscenario's met elektrische convectoren wanneer naar de minimale kost wordt gekeken, met een verschil van 36–44%. Door de grote spreiding in de investeringskost van de R2-scenario's (vooral voor de gebouwschil) ligt de maximale levenscycluskost echter 20–34% hoger.

4.3 Invloed alternatieve dimensionering

In dit onderdeel wordt onderzocht wat de invloed is van een alternatieve dimensionering op de resultaten. In tegenstelling tot een gasketel, heeft een correcte dimensionering van een warmtepomp namelijk een relatief grote invloed op de efficiëntie en kostprijs. Lagere warmtepompvermogens kunnen ook voordelen bieden qua implementatie en geluidshinder. Twee alternatieve dimensioneringswijzen met bijhorend verwarmingsprofiel worden bekeken voor een LW WP: enerzijds het weglaten van de setbacktemperatuur en anderzijds een onderdimensionering, zoals toegelicht in onderdelen 3.3.2 en 3.4.2.

4.3.1 Normdimensionering: invloed setbacktemperatuur

4.3.1.1 Dimensionering

Zoals in paragraaf 3.3.1 beschreven werd, kan er al dan niet een opwarmvermogen ingerekend worden in de warmteverliesberekening. In de basisanalyse is het opwarmvermogen ingerekend, waarbij het gebruikersprofiel gebruik maakt van een setbacktemperatuur. In deze paragraaf wordt de invloed onderzocht van het weglaten van het opwarmvermogen en bijhorend ook de setbacktemperatuur, zoals beschreven in 3.4.2. Het niet inrekenen van een opwarmvermogen reduceert de benodigde warmtepompvermogens met ca. 1–2 kW (zie Tabel 18).

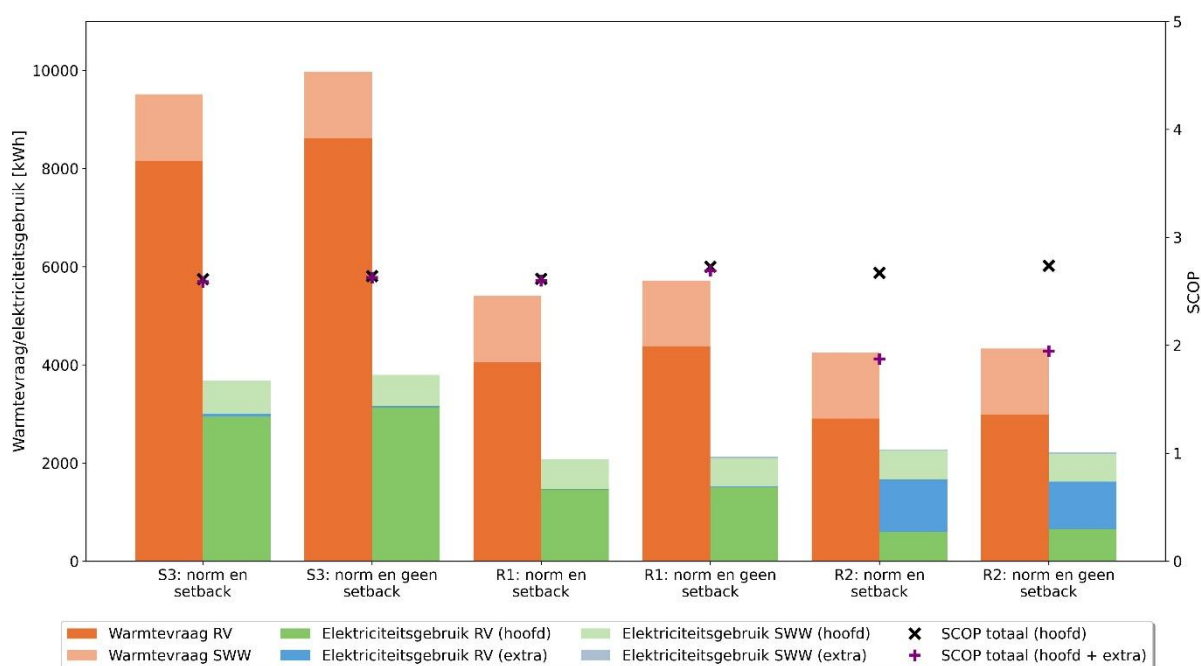
Tabel 18 Componenten van de LW WP voor de basisgeometrie met verschillende isolatiegraden, gedimensioneerd met of zonder setback.

Setback	S3: dak en raam	R1: alles excl. vloer	R2: alles
Algemeen	Behoud radiatoren Regime 55/45°C Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Behoud radiatoren Regime 50/40°C Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Vloerverwarming (GV): 52 m ² Ventilo (VD): 2x1-2kW El. convector (BK): 1,5 kW Regime 35/30°C Geïntegreerde boiler: 180-230 l
Met	Buiten- en binnenunit: 10-12 kW	Buiten- en binnenunit: 7-9 kW	Buiten- en binnenunit: 5-7 kW
Zonder	Buiten- en binnenunit: 8-10 kW	Buiten- en binnenunit: 6-8 kW	Buiten- en binnenunit: 4-6 kW

4.3.1.2 Warmtevraag, energiegebruik en efficiëntie

De invloed van het al dan niet hanteren van een setbacktemperatuur op de energetische resultaten wordt weergegeven in Figuur 27 voor startscenario S3 en de twee renovatiegraden R1 en R2. Wanneer er geen setbacktemperatuur wordt toegepast, stijgen de warmtevraag en het elektriciteitsgebruik. Hoe beter de woning geïsoleerd is, hoe kleiner het verschil tussen het wel of niet laten afkoelen van de woning bij afwezigheid van de bewoners, gaande van een stijging voor de warmtevraag van RV van 6% bij S3 tot 3% bij R2. Dit is een gevolg van de lagere warmteverliezen in beter geïsoleerde woningen: hoe minder de woning afkoelt, hoe minder energie er nodig zal zijn om deze nadien opnieuw op te warmen. Daarnaast is het elektriciteitsgebruik bij R1 en R2 zelfs ongeveer gelijk met of zonder setbacktemperatuur. Dit is enerzijds een gevolg van de efficiëntere werking van de warmtepomp als er geen opwarmvermogen ingerekend wordt. [4] Anderzijds is dit bij R2 ook een gevolg van de hogere luchttemperatuur in de slaapkamers, waaruit er lucht doorstroomt naar de badkamer. Zo moet de minder efficiënte badkamerconvactor minder warmte leveren.

Uit deze energetische analyse blijkt dus dat het weglaten van het opwarmvermogen, zoals ook aangeraden wordt door Buildwise bij de installatie van een warmtepomp [4], een valabele optie is.



Figuur 27 Warmtevraag, energiegebruik en SCOP voor de verschillende renovatiescenario's waarbij al dan niet een setbacktemperatuur gehanteerd wordt bij een LW WP.

4.3.1.3 Investeringskost

Door geen setbacktemperatuur in te rekenen, daalt het vermogen van de lucht-water WP, waardoor ook de investeringskost reduceert (Tabel 21). De reductie in investeringskost is het grootst bij startscenario S3 met een reductie van €700–2.300 of 3–16%. De reductie in investeringskost bij renovatiegraad R2 is dan weer het laagst, slechts €400–500 of 1–3%.

Tabel 19 Investeringskost voor de installatie van een lucht-water WP per renovatiegraad (R0, R1, R2), gedimensioneerd met of zonder setbacktemperatuur.

Setback	S3 = R0: dak en raam	R1: alles excl. vloer	R2: alles
Met	14,2–21,3K	11,9–18,9K	16,7–24,9K
Zonder	11,9–20,6K	10,7–18,4K	16,1–24,5K

4.3.1.4 Levenscycluskost

Het niet toepassen van een setbacktemperatuur leidt tot hogere elektriciteitsgebruiken, maar ook tot lagere investeringskosten. Wanneer beide aspecten worden meegenomen in de levenscycluskost, blijkt dat deze tegengestelde trends elkaar grotendeels compenseren. Hierdoor blijft de totale levenscycluskost nagenoeg gelijk, met afwijkingen tussen -2% en +1%. Dit bevestigt de bevinding uit de energetische analyse dat het dimensioneren van de warmtepomp zonder opwarmvermogen een waardevolle optie is om te overwegen.

4.3.2 Invloed onderdimensionering warmtepomp

4.3.2.1 Dimensionering

In deze analyse wordt de warmtepomp gedimensioneerd op 70% of 40% van het benodigd vermogen volgens de warmteverliesberekening, om zo de warmtepomp gemiddeld aan een hogere deellastratio te laten werken, wat kan leiden tot een hogere (S)COP, zoals beschreven in 3.3.2.2. Voor de vergelijking van de scenario's waarbij de warmtepomp ondergedimensioneerd wordt, is er geen opwarmvermogen ingerekend. Dit ondanks dat er in het huidige gebruik van de woningen wel een setbacktemperatuur gehanteerd wordt. Bij een ondergedimensioneerde warmtepomp is het echter wenselijk om geen gebruik te maken van een setbacktemperatuur om te vermijden dat de comforttemperatuur niet meer behaald kan worden na een periode van afkoeling. Zoals eerder vermeld,

is dit vooral belangrijk tijdens de koudste dagen van het jaar, maar voor de volledigheid is dit in de simulaties permanent meegenomen.

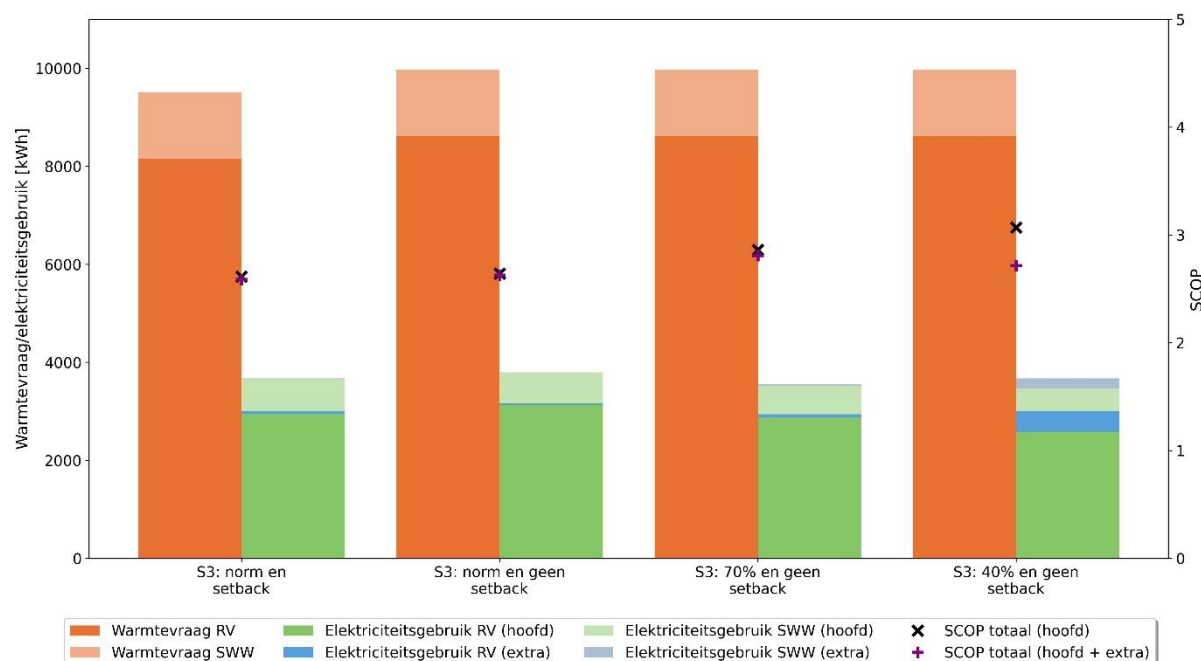
De bijhorende componenten van de LW WP gerelateerd aan de verschillende (onder)dimensioneringswijzen uitgaande van startscenario S3 zijn weergegeven in Tabel 20. Ter referentie wordt ook het scenario met setbacktemperatuur hierin opgenomen.

Tabel 20 Componenten van de LW WP voor de basiscase, gedimensioneerd met of zonder setbacktemperatuur en bij onderdimensionering van de warmtepomp.

S3: met setback en dimensionering 100%	S3: zonder setback en dimensionering 100%	S3: zonder setback en dimensionering 70%	S3: zonder setback en dimensionering 40%
Buiten- en binnenunit: 10-12 kW	Buiten- en binnenunit: 8-10 kW	Buiten- en binnenunit: 4-6 kW	Buiten- en binnenunit: 2-4 kW
Behoud radiatoren Regime: 55/45°C	Behoud radiatoren Regime: 55/45°C	Behoud radiatoren Regime: 55/45°C	Behoud radiatoren Regime: 55/45°C
Geïntegreerde boiler: 180-230l	Geïntegreerde boiler: 180-230l	Geïntegreerde boiler: 180-230l	Geïntegreerde boiler: 180-230l

4.3.2.2 Warmtevraag, energiegebruik en efficiëntie

De energetische resultaten voor de onderdimensionering van de warmtepomp worden weergegeven in Figuur 28. Deze tonen aan dat het onderdimensioneren van de warmtepomp een haalbare en interessante keuze kan zijn voor de onderzochte typologie. Aangezien de isolatiegraad hetzelfde blijft, blijft de warmtevraag ook gelijk. Een kleiner gedimensioneerde warmtepomp werkt minder frequent aan een lage deellast, waardoor de SCOP van de warmtepomp hoger ligt. Bij de warmtepomp die op 70% gedimensioneerd is, moet de elektrische weerstand amper bijspringen en haalt deze de totale SCOP ook niet sterk naar beneden. Bijgevolg ligt het energiegebruik net iets lager dan bij een warmtepomp die op 100% gedimensioneerd is. Bij de warmtepomp die op 40% gedimensioneerd is, wordt het aandeel van de elektrische weerstand duidelijk groter, wat de totale SCOP van het systeem sterk laat dalen. Desalniettemin is het totale elektriciteitsgebruik nog steeds ongeveer gelijk aan een op 100% gedimensioneerde warmtepomp, doordat de SCOP van de warmtepomp zelf aanzienlijk hoger ligt. Energetisch is het dus zeker een te overwegen optie om de warmtepomp kleiner te dimensioneren, wat daarnaast ook een positieve impact kan hebben op de kostprijs en het geluidsvermogen van het systeem.



Figuur 28 Warmtevraag, energiegebruik en SCOP bij het onderdimensioneren van een LW WP.

4.3.2.3 Investeringskost

Ook het onderdimensioneren van de installatie leidt tot een reductie van de investeringskost, zoals zichtbaar in Tabel 21. Ten opzichte van de normberekening resulteert het dimensioneren van de warmtepomp op 70% in een kostreductie van €3.000–3.400, wat overeenkomt met een relatieve reductie van 14–24%. Wanneer de warmtepomp op slechts 40% wordt gedimensioneerd, loopt de totale reductie op tot €4.000–6.100, ofwel 28–29%.

Tabel 21 Investeringskost voor de installatie van een lucht-water WP in de basiscase, gedimensioneerd volgens de norm met of zonder setback en op 70% of 40% zonder setback.

Norm en setback	Norm zonder setback	70% zonder setback	40% zonder setback
14,2–21,3K	11,9–20,6K	10,7–18,4K	10,2–15,2K

4.3.2.4 Levenscycluskost

In het geval van onderdimensionering dalen zowel het elektriciteitsgebruik als de investeringskost, wat resulteert in een lagere totale levenscycluskost. Waar het niet toepassen van setbacktemperatuur bij de normberekening resulteerde in een 2% lagere tot 1% hogere levenscycluskost, zorgt het dimensioneren van de warmtepomp op respectievelijk 70% en 40% voor een duidelijke reductie van de levenscycluskost met 7–9% en 8–10%.

4.4 Invloed suffiënt comfort

Naast het onderdimensioneren van de warmtepomp, is ook onderzocht wat de invloed is van het ontwerpen van het verwarmingssysteem naar een suffiënt gebruik van de woning, waarbij enkel de leefruimte en badkamers verwarmd worden tot 20°C en er in de rest van de woning geen (centrale) verwarming wordt voorzien (zie 3.3.2.3).

4.4.1 Dimensionering

Aangezien bij een suffiënt gebruik typisch ook een setbacktemperatuur ingesteld wordt (aangenomen op 15°C in de leefruimte en 18°C in de badkamer voor dit onderzoek), is bij deze dimensionering het opwarmvermogen wel ingerekend, zoals beschreven in 3.4.2.3. De dimensionering van de componenten bijhorend bij een LW WP voor de verschillende comfortniveaus zijn opgenomen in Tabel 22.

Tabel 22 Componenten van de LW WP voor de basiscase voor verschillende comfortsituaties.

C0 - S3: Alles met WP	C1 - S3: GV met WP, BK met EC	C2 - S3: GV met WP + VD met EC
Buiten- en binnenunit: 10-12 kW Behoud radiatoren Regime 55/45°C	Buiten- en binnenunit: 5-7 kW Behoud radiatoren (GV) Regime 55/45°C El. convector (BK): 2,0 kW	Buiten- en binnenunit: 5-7 kW Behoud radiatoren (GV) Regime 55/45°C El. convector (VD): 2x2,0 kW + 1x2,5 kW
Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l	Geïntegreerde boiler: 180-230 l

GV = gelijkvloers; VD = verdieping; BK = badkamer

4.4.2 Warmtevraag, energiegebruik en efficiëntie

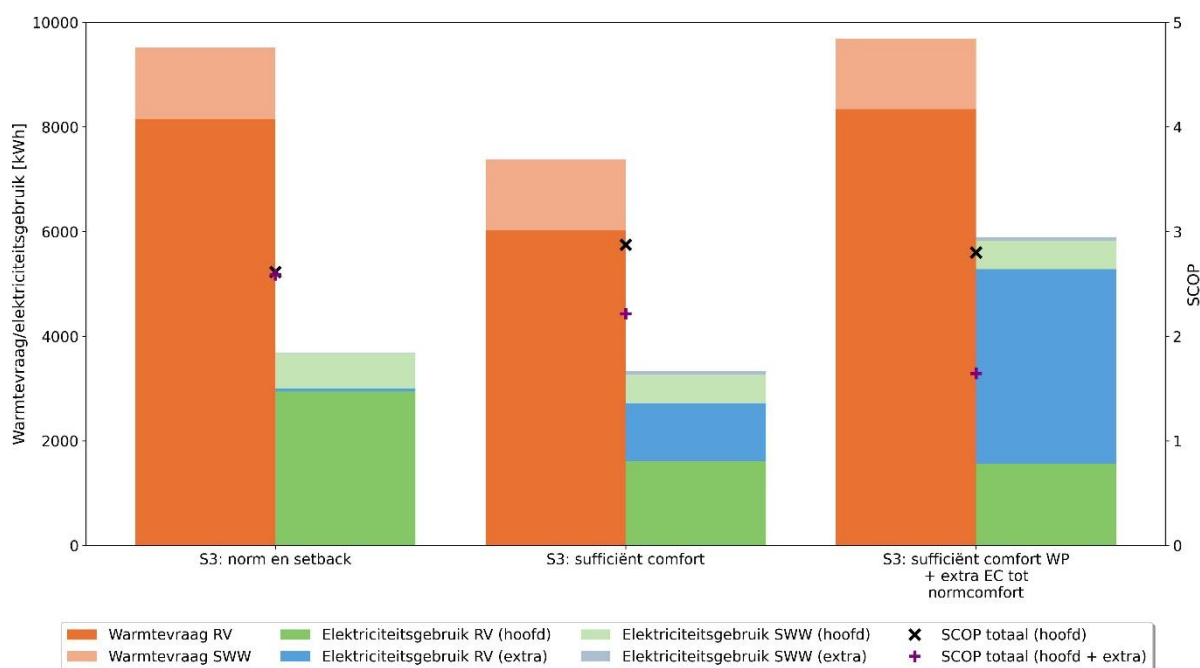
Figuur 29 toont de resultaten voor een suffiënt verwarmingsprofiel, inclusief setbacktemperatuur. De warmtevraag ligt 26% lager dan wanneer de volledige woning verwarmd wordt. De daling is niet verwaarloosbaar, maar mogelijks minder groot dan verwacht. Dit komt deels omdat de ruimtes enkel verwarmd worden bij aanwezigheid. Enerzijds zijn de bewoners overdag vooral in de leefruimte aanwezig in het gehanteerde gebruikersprofiel en wordt er vooral daar verwarmd. Anderzijds zorgt de badkamer omwille van de hoge comforttemperaturen ook voor een relatief groot aandeel van de warmtevraag. Daarnaast zijn de leefruimte en de slaapkamers met elkaar verbonden via een open trapgat. Dit zorgt voor grote warmteverliezen naar de bovenliggende ruimtes vanuit de leefruimte, wat

ook deels compenseert voor het niet verwarmen van de slaapkamers. Het aandeel aan warmtevraag dat wegvalt door het niet verwarmen van de slaapkamers is bijgevolg relatief klein.

Opmerkelijk is dat het totale elektriciteitsgebruik van het scenario met suffiënt comfort maar 10% lager ligt dan in het scenario met normcomfort. Dit is een gevolg van de configuratie van het verwarmingssysteem bij het suffiënt comfort. Hier is namelijk gekozen om de badkamer te verwarmen met een EC, hoewel deze tot een comforttemperatuur van 20°C verwarmd wordt bij gebruik, inclusief een uur opwarmtijd voor gebruik. Bovendien is dit decentraal systeem niet afhankelijk van de thermostaatwerking in de leefruimte, waardoor er altijd aan de warmtevraag voldaan kan worden, in tegenstelling tot de thermostaatwerking die wordt toegepast wanneer de volledige woning tot normcomfort verwarmd wordt. Dit zorgt voor een groot aandeel elektriciteitsgebruik van de EC (zie blauwe staaf in Figuur 29). In combinatie met de één-op-één efficiëntie van deze EC, haalt dit de totale SCOP van het systeem zeer sterk naar beneden.

Wanneer de LW WP gedimensioneerd zou zijn op deze wijze, maar er in de toekomst toch bijverwarmd zou worden tot het normcomfort met EC's in de badkamer en slaapkamers, stijgt het energiegebruik aanzienlijk ten opzichte van het normcomfort (+60%) en daalt de SCOP van het totale systeem sterk (-36%).

Bijgevolg is het vanuit een energetisch oogpunt eerder af te raden om de warmtepomp enkel aan te sluiten op de afgiftesystemen in de leefruimte, in deze typologie en isolatiegraad. De één-op-één efficiëntie van de EC's in de badkamer, en bij verhoogde comfortvraag in de toekomst ook in de slaapkamers, laten de systeemefficiëntie sterk dalen. Indien men wil opteren voor een kleiner gedimensioneerde warmtepomp is het dus beter om deze minstens ook aan te sluiten op de badkamer, of ineens op de volledige woning indien men de verwarmingsinstallatie toekomstgericht wil voorzien. Daarnaast kan er alsnog geopteerd worden voor een kleiner gedimensioneerde warmtepomp, zoals aangetoond in 4.3.2.



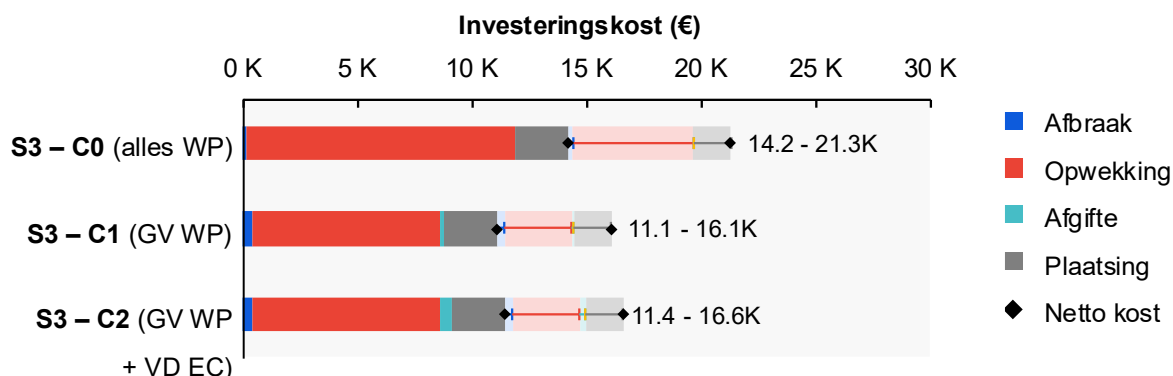
Figuur 29 Warmtevraag, energiegebruik en SCOP voor LW WP gedimensioneerd gebaseerd op een suffiënt verwarmingsprofiel.

4.4.3 Investeringskost

Figuur 30 toont de investeringskost voor de installatie van een lucht-water WP in de basiscase voor de drie comfortsituaties: C0 (volledige woning verwarmd met WP tot normcomfort = basissituatie), C1 (enkel gelijkvloers met WP en badkamer met EC tot suffiënt comfort), en C2 (enkel gelijkvloers met

WP en verdiepingen met EC tot normcomfort). De kost omvat de afbraak van de huidige gasketel (en eventueel radiatoren), de aankoop van de warmtepomp, het afgiftesysteem en plaatsingskosten. Er wordt aangenomen dat de huidige radiatoren (enkel op het gelijkvloers in het geval van C1 en C2) behouden blijven.

Door slechts een deel van de woning te verwarmen met de warmtepomp (C1 en C2) daalt de investeringskost aanzienlijk. Wanneer de slaapkamers helemaal niet verwarmd worden (C1) is een reductie van €3.100–5.200, ofwel 22–25%, mogelijk. De totale investeringskost ligt daarbij tussen €11.100 en €16.100. Wanneer de slaapkamers toch verwarmd worden maar met elektrische convectoren (C2), stijgt de investeringskost beperkt, met slechts €340–520, ten opzichte van de situatie waarin de slaapkamers niet verwarmd worden.

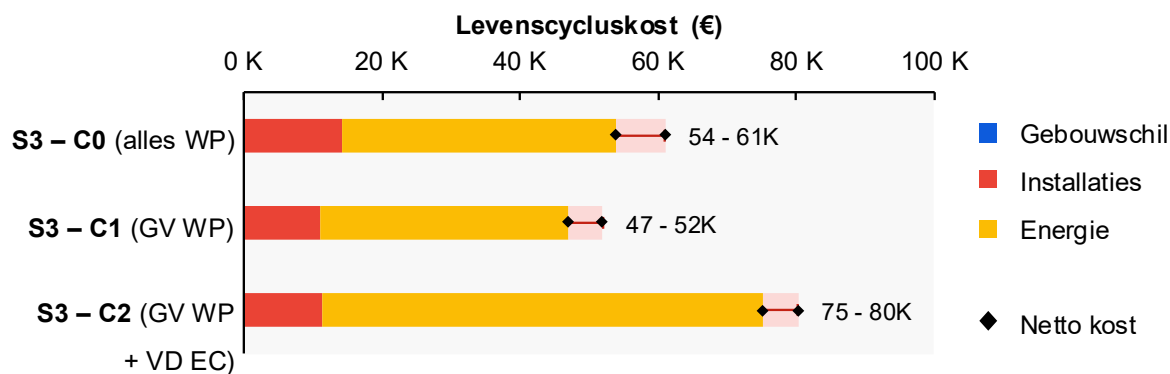


Figuur 30 Investeringskost inclusief 6% btw voor de installatie van een lucht-water WP in de basiscase volgens verschillende comfortsituaties (C1, C2, C3).

4.4.4 Levenscycluskost

Figuur 31 toont de invloed van de drie comfortsituaties op de levenscycluskost voor de basiscase met een lucht-water WP. De analyse omvat uitsluitend de investeringskost en energiekost, waarbij geen rekening gehouden wordt met vervangingen tijdens de studieperiode. Er wordt uitgegaan van een reeds opgefriste woning.

Het verwarmen van enkel het gelijkvloers met de warmtepomp en de badkamer met een EC (C1) resulteert in een duidelijke reductie van de levenscycluskost ten opzichte van de basissituatie (C0), waarin de volledige woning met de warmtepomp wordt verwarmd. Zowel de investeringskost als de energiekost nemen af, wat leidt tot een totale reductie van 13–15%. Wanneer in de slaapkamers aanvullend elektrische convectoren worden voorzien (C2), blijft de investeringskost lager dan de basissituatie (C0). Door de aanzienlijke stijging van de energiekost als gevolg van het aanvullend gebruik van elektrische convectoren ligt de totale levenscycluskost echter 31–39% hoger. Op lange termijn blijkt het daarom gunstiger om de volledige woning met de warmtepomp te verwarmen dan om enkel het gelijkvloers met de warmtepomp te verwarmen, aangevuld met elektrische convectoren in de slaapkamers en badkamer. Deze conclusie is echter sterk afhankelijk van het effectieve gebruik van de elektrische convectoren.



Figuur 31 Levenscycluskost over 30 jaar (inclusief btw en exclusief vervangingen tijdens de studieperiode) voor drie comfortsituaties (C0, C1, C2) toegepast op de basiscase, uitgaande van een opgefriste bestaande woning.

4.5 Implementatie

De praktische implementatie van de technische installaties wordt aftoetst aan de realiteit, met aandacht voor regelgeving, benodigde ruimte (binnen en buiten), akoestiek, leidingverloop, aansluiting op nieuwe of bestaande afgiftesystemen en eventuele aanpassingen aan de elektrische installatie. Het doel van dit onderdeel is om de belangrijkste implementatiecriteria te formuleren en een ruwe inschatting te maken van de implementatiemogelijkheid van de verschillende installatietypes in de concrete context van de wijk. Iedere woning is immers verschillend op vlak van inrichting, afwerkingsgraad, oriëntatie en beschaduwing, beschikbaar dakoppervlakte, etc. en de uiteindelijke implementatiemogelijkheden moeten dus geval per geval bestudeerd worden bij een renovatieproject.

Eerst wordt op wijkniveau een analyse gemaakt van de beschikbare buitenruimte en de gevolgen daarvan voor de plaatsing van een buitenunit of PVT-panelen. Vervolgens worden de belangrijkste richtlijnen voor de installaties binnenshuis besproken. Deze richtlijnen worden daarna concreet toegepast op twee bezochte woningen in de wijk met doorsnedetype D1Aa en D2Aa (cf. Figuur 3). De voorgestelde implementatie van de energiesystemen voor deze woningen is opgenomen in Bijlage D.

4.5.1 Plaatsing technische installatie in de buitenruimte

In deze sectie wordt de mogelijkheid onderzocht om een buitenunit of PVT-panelen te plaatsen voor twee isolatiegraden (S3 en R2) toegepast op de vier verschillende woningtypes (D0, D1, D2, D3), waarbij de resultaten worden geëxtrapoléerd naar wijkniveau. Eerst wordt de warmtevraag per isolatiegraad en woningtype berekend aan de hand van een warmteverliesberekening (cf. onderdeel 3.3.1) om een inschatting te maken van het benodigde thermisch vermogen van de installaties. Met deze informatie wordt in sectie 4.5.1.1 de mogelijkheid tot plaatsing van een buitenunit geanalyseerd aan de hand van een akoestische evaluatie, rekening houdend met geldende regelgeving en randvoorwaarden zoals de aanwezigheid van een plat dak of buitenruimte. Parallel wordt in sectie 4.5.1.2 het potentieel voor PVT-panelen onderzocht op basis van beschikbaar dakoppervlak en oriëntatie. De bevindingen per isolatiegraad en woningtype worden steeds opgeschaald naar wijkniveau via de typologische analyse van een deel van wijk (cf. onderdeel 2.1.1), bestaande uit 169 woningen die elk tot één van de vier woningtypes behoren. Ten slotte worden de bevindingen uit beide analyses geïntegreerd tot een globaal overzicht in sectie 4.5.1.3 voor een groter deel van de wijk, bestaande uit 266 woningen, waarbij voor elke woning de mogelijke warmtepompsenario's worden geïdentificeerd. Dit uitgebreidere studiegebied omvat woningen die niet exact overeenkomen met de beschouwde woningtypes, maar die toch worden benaderd via deze woningtypes.

4.5.1.1 Buitenunit luchtgebaseerde warmtepomp – regelgeving en akoestiek

In Gent moeten voor de installatie van de buitenunit van een lucht-lucht of lucht-water warmtepomp volgende meldingen gemaakt of vergunningen aangevraagd worden [24]:

- **Omgevingsvergunning Milieu:** er is geen melding of vergunning nodig bij een compressorvermogen < 5 kW; er is een melding maar geen vergunning nodig bij een compressorvermogen tussen 5 en 200 kW.
- **Omgevingsvergunning Bouwen:** er is een vergunning nodig wanneer de buitenunit in de voortuin, in de zijtuin, in de achtertuin, tegen de zijgevel of tegen de achtergevel op minder dan 2 meter van de perceelgrens staat.
- **Vergunning Inname Openbaar Domein:** deze vergunning is nodig wanneer de warmtepomp over de rooilijn staat.

De beschouwde woningtypes in deze studie hebben een beperkte gevelbreedte van 4 meter, wat impliceert dat er steeds een omgevingsvergunning 'Bouwen' aangevraagd moet worden en de warmtepomp moet voldoen aan de richtlijnen uit de 'Code van goede praktijk. Geluid van buitenunits van residentiële lucht-lucht (airco) en lucht-water warmtepompen' [3].

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.2 zijn er twee eisen die gelden voor de akoestiek van warmtepompen volgens de Vlaamse Code van Goede Praktijk, namelijk één voor 's nachts (geluidsdruk 40dB op de perceelsgrens) en één voor overdag (geluidsdruk 45dB op de perceelsgrens). Via de Silent Heat Pump tool van Buildwise [2] is onderzocht welke geluidsvermogens voor warmtepompen toelaatbaar zijn om aan de opgelegde eisen te voldoen. Dit wordt weergegeven in Tabel 5. In deze analyse wordt het toegelaten geluidsvermogen 's nachts afgetoetst met de geluidsvermogens in geluidsgereduceerde werking; het toegelaten geluidsvermogen overdag wordt afgetoetst met de maximale geluidsvermogens.

Figuur 32 tot 34 (links) toont de mogelijkheid voor de plaatsing van de buitenunit voor de 169 woningen in de wijk op basis van de akoestische eisen en randcondities van de woningen (aanwezigheid plat dak en buitenruimte) voor drie verschillende scenario's. In Figuur 32 en 33 worden de resultaten weergegeven uitgaande van de isolatiegraad 'S3: dak en ramen' voor alle woningen, respectievelijk voor een dimensionering op 100% inclusief opwarmvermogen en een dimensionering op 70% exclusief opwarmvermogen (zie sectie 4.3.2). Afhankelijk van het woningtype is de warmtevraag respectievelijk 10,0 tot 11,0 kW en 5,8 tot 6,9 kW.

De resultaten voor beide scenario's zijn gelijkaardig: het plaatsen van de warmtepomp (zonder akoestische maatregelen) op een plat dak is geen optie voor de verschillende woningtypes bij isolatiegraad 'S3: dak en ramen'. Indien echter een voldoende performante akoestische omkasting of andere akoestische maatregelen worden voorzien, kan de warmtepomp eventueel wel op het plat dak geplaatst worden. Hierbij is het wel van belang om extra aandachtig te zijn bij de plaatsing. De Vlaamse Code van Goede Praktijk raadt bijvoorbeeld af om de buitenunit op lichte daken/constructies te plaatsen omwille van geluidshinder naar de binnenomgeving door trillingen [3]. Als dit onvermijdelijk is, dienen er andere maatregelen genomen te worden, zoals een zware ondersokkel, om het contactgeluid te beperken.

Een open plaatsing van de buitenunit in een ommuurde koer/tuin (indien aanwezig) is daarentegen wel mogelijk voor 55 woningen volgens de tool. De tool houdt echter geen rekening met weerkaatsingen van het geluid door de muren rondom de koer, maar enkel met grondreflectie. Hierdoor kan de effectieve geluidsdruk op de perceelsgrens in realiteit echter hoger liggen, alsook de geluidshinder voor de bewoners zelf.

In Figuur 34 worden de resultaten voor de wijk weergegeven ervan uitgaande dat alle woningen de hoogste isolatiegraad 'R2: alles' hebben en waarbij de opwekker gedimensioneerd wordt op 70% exclusief opwarmvermogen. Afhankelijk van het woningtype varieert de warmtevraag tussen 3,4 en 4,2 kW. Voor de drie kleinste woningtypes (D0, D1 en D2) is het nu wel mogelijk de warmtepomp op het

plat dak of in de ommuurde koer/tuin te plaatsen zonder de nood aan akoestische maatregelen. Voor het grootste woningtype (D3) zijn de geluidsvermogens van de warmtepompen met een voldoende hoog thermisch vermogen net te hoog (bij de stilste modellen 1dB te hoog), waardoor akoestische maatregelen nodig zijn.

Voor woningen zonder plat dak of koer wordt de installatie van een buitenunit onmogelijk beschouwd, vermits de woningen nagenoeg op de rooilijn gebouwd zijn.

4.5.1.2 PVT-panelen – beschikbaar dakoppervlak

Voor de plaatsing van PVT-panelen als warmtebron voor een water-water warmtepomp is een geschikte oriëntatie en voldoende oppervlakte van het dak nodig om in de nodige lage-temperatuur warmte te voorzien. Het beschikbare dakoppervlak van het beschouwde typologieën wordt bepaald aan de hand van de Zonnekaart van VEKA [25]. Hierbij wordt aangenomen dat de beschikbare oppervlakte die in de Zonnekaart als 'Ideaal' wordt aangeduid en die deel uitmaakt van het hoofdgebouw of de aanbouw op de tweede verdieping, geschikt is voor de plaatsing van PVT-panelen. Het dakoppervlak van een aanbouw op het gelijkvloers of de eerste verdieping wordt hier niet in rekening gebracht, omwille van de afstand tot het dak van het hoofdgebouw, de mogelijke schaduw van omliggende gebouwen en de onbekende draagkracht van de dakconstructie. Er wordt in de bepaling van het beschikbare dakoppervlak voor PVT-panelen echter geen rekening gehouden met de aanwezigheid van dakramen en de inpassing van de panelen.

De warmtevraag per woningtype en beschouwde isolatiegraad wordt op dezelfde manier berekend als in paragraaf 4.5.1.1, met het verschil dat voor de dimensionering van PVT-panelen een buitentemperatuur van -10°C gebruikt wordt. Voor het nodige dakoppervlak wordt de ontwerprichtlijn van Triple Solar gebruikt van 3 m^2 paneel per kW warmtevraag bij -10°C [6].

Op basis van de beschikbare dakoppervlakte en de warmtevraag wordt het potentieel van PVT-panelen visueel weergegeven op wijkniveau in Figuur 32 tot 34 (rechts). In Figuur 32 wordt weergegeven waar PVT mogelijk is bij woningen met isolatiegraad 'S3: dak en ramen' en bij een dimensionering aan 100 % van de warmteverliesberekening. Hierbij worden de woningen met voldoende geschikt dakoppervlak groen weergegeven, terwijl woningen zonder voldoende dakoppervlak rood worden aangeduid. Het warmteverlies bedraagt hier tussen 10 en 12 kW (afhankelijk van het woningtype), wat overeenkomt met een nodig dakoppervlak van 30 tot 36 m^2 , ofwel 15 tot 18 panelen van 2 m^2 . Dit limiteert de toepassing van PVT-panelen tot 7 woningen. Bovendien resulteert dit in hoge investeringskosten in vergelijking met het aantal panelen besproken in 4.1.4, en een grote elektriciteitsproductie voor een eengezinswoning.

In tegenstelling tot de akoestische analyse, zorgt een onderdimensionering op 70 % exclusief opwarmvermogen wel voor een bredere toepasbaarheid van PVT-panelen. De warmtevraag bedraagt tussen 6 en $7,5\text{ kW}$, wat overeenkomt met een nodig dakoppervlak van 18 tot $22,5\text{ m}^2$, ofwel 9 tot 12 panelen van 2 m^2 . Hierdoor wordt het gebruik van PVT-panelen als lage temperatuurbron mogelijk voor 35 woningen ten opzichte van de 7 woningen bij de normdimensionering.

Finaal wordt ook het scenario bekeken waarbij alle woningen geïsoleerd worden tot de hoogste isolatiegraad 'R2: alles' en de warmtepomp en PVT-panelen gedimensioneerd worden op 70 % van de warmteverliesberekening bij -10°C zonder opwarmvermogen. Dit resulteert in een warmtevraag tussen $3,5$ en $4,5\text{ kW}$, wat een dakoppervlakte vereist van $10,5$ tot $13,5\text{ m}^2$, ofwel 6 tot 7 panelen van 2 m^2 . In dit geval beschikken 114 woningen over het nodige dakoppervlak om aan hun warmtevraag te voldoen, zoals weergegeven in Figuur 34. De overgebleven woningen in het rood zijn niet geschikt voor het gebruik van PVT-panelen, omwille van een klein dakoppervlak, een ongunstige oriëntatie of schaduw van een naburig gebouw.

4.5.1.3 Mogelijke warmtepompscenario's op wijkniveau

Op basis van de analyse in secties 4.5.1.1 en 4.5.1.2 wordt een overzicht gemaakt voor de volledige wijk, een totaal van 266 woningen. Hierbij worden niet alleen de woningen uit het typologisch onderzoek beschouwd, maar ook de resterende woningen. Eerst worden de woningen geselecteerd waarbij een warmtepompoplossing – hetzij met buitenunit, hetzij met PVT-panelen - mogelijk is bij isolatiegraad 'S3: dak en ramen' en bij een onderdimensionering van het warmtepompvermogen van 70 % (6-7,5 kW), gerekend bij een buitentemperatuur van -10°C, exclusief opwarmvermogen. Voor de woningen die geen deel uitmaken van de analyse in sectie 4.5.1.2, wordt verondersteld dat er ten minste 22,5 m² aan dakoppervlak beschikbaar moet zijn om de installatie van PVT-panelen mogelijk te maken. Daarnaast blijkt uit voorgaande analyse dat bij de warmtepompvermogens bij een isolatiegraad van 'S3: dak en ramen' steeds een akoestische omkasting nodig is bij plaatsing op het plat dak om te voldoen aan de Code van Goede Praktijk. In de buitenruimte is dit niet nodig volgens de Code van Goede Praktijk, maar wordt er voor dit overzicht wel verondersteld dat deze alsnog geïnstalleerd moet worden om de overlast voor de bewoner zelf te beperken. Ervan uitgaande dat akoestische maatregelen genomen worden om het geluidsniveau voldoende te reduceren, is het enige bijkomende criteria of de woning beschikt over een plat dak of koer om de buitenunit te plaatsen. De controle omtrent de aanwezigheid van een plat dak of koer gebeurt op basis van satellietbeelden op Google Maps.

Op basis van deze criteria blijkt dat 46 woningen voldoende dakoppervlak met een gunstige oriëntatie hebben voor de installatie van PVT-panelen bij een isolatiegraad van 'S3: dak en ramen', weergegeven in het paars in Figuur 35. Al deze woningen beschikken ook over een buitenruimte of plat dak voor een buitenunit met omkasting.

Daarnaast beschikken 195 woningen niet over voldoende dakoppervlak voor PVT-panelen, maar wel over buitenruimte voor de installatie van een buitenunit met omkasting, weergegeven in het geel. Een lucht-water of lucht-lucht warmtepomp behoort hier dus tot de mogelijkheden voor de elektrificatie van de warmtevraag, mits er maatregelen genomen worden om de geluidsniveaus te limiteren.

Verder zijn er 9 woningen zonder buitenruimte, maar met gunstig georiënteerd dakoppervlak. Hierbij is een PVT WP mogelijk wanneer gerenoveerd wordt tot de isolatiegraad 'R2: alles'. Deze woningen worden weergegeven in het blauw. Ondanks het gebrek aan buitenruimte is een warmtepompoplossing hier dus toch mogelijk na het verlagen van de warmtevraag. Deze woningen bevinden zich meestal op of nabij de hoek van de straat, deels georiënteerd naar het zuiden.

Tenslotte beschikken 16 woningen noch over buitenruimte, noch over voldoende dakoppervlak met geschikte oriëntatie, weergegeven in het oranje. Hierbij is het mogelijk de warmtevraag te elektrificeren met behulp van elektrische convectoren, idealiter bij een lage warmtevraag om een verzwaring van de elektrisch installatie te vermijden en de druk op het elektriciteitsnet en de energiefactuur te verlichten. Ook deze woningen bevinden zich op de hoek van de straat, maar zonder gunstige oriëntatie of voldoende lichtinval door schaduw van buren.

Het is belangrijk op te merken dat deze analyse slechts een ruwe inschatting is op basis beschikbare buitenruimte en ingeschatte warmtevraag. Voor een werkelijke implementatie is het noodzakelijk de mogelijkheden voor elke woning afzonderlijk te bepalen. Ook de voorkeur van bewoners, gebruik van de buitenruimte voor andere doeleinden, draagkracht van het dak, esthetiek en dergelijke werden niet meegenomen in de analyse.



Figuur 32 Mogelijkheid plaatsing buitenunit (links) en PVT-panelen (rechts) bij isolatiegraad 'S3: dak en ramen' en gedimensioneerd bij 100 % van de warmteverliesberekening met opwarmvermogen.



Figuur 33 Mogelijkheid plaatsing buitenunit (links) en PVT-panelen (rechts) bij isolatiegraad 'S3: dak en ramen' en gedimensioneerd op 70 % van de warmteverliesberekening zonder opwarmvermogen.



Figuur 34 Mogelijkheid plaatsing buitenunit (links) en PVT-panelen (rechts) bij isolatiegraad 'R2: alles' en gedimensioneerd op 70 % van de warmteverliesberekening zonder opwarmvermogen.



Figuur 35 Overzicht mogelijkheid warmtepompoplossing op basis van de beschikbare buitenruimte voor de volledige wijk.

4.5.2 Plaatsing technische installatie binnenshuis

Bij de vervanging van een gasketel met doorstroomer door een warmtepomp is er extra ruimte nodig voor een sanitair warmwatertank, een binnenunit en extra koel- of waterleidingen. Hoe meer de plaatsing van een warmtepomp kan geïntegreerd worden in een totaalrenovatie waarbij ruimte voorzien wordt in vals plafond, berging of kastruimte, hoe kleiner de impact op de esthetiek van de woning. Een kast van 60x60cm van vloer tot plafond is voldoende om de extra componenten van het systeem te monteren. Hoe dichter deze ruimte voorzien wordt bij de bestaande installatie, hoe minder ingrijpend de aanpassingswerken zijn.

4.5.2.1 Leidingen en kabels

Bij split-systemen (lucht-water en lucht-lucht) worden binnen- en buitenunit verbonden via koelleidingen. Deze hebben een kleinere diameter dan waterleidingen en zijn daardoor eenvoudiger weg te werken. De installatie vereist wel een erkend koeltechniker. Bij monoblock lucht-water warmtepompen gebeurt de warmteproductie in de buitenunit en verloopt de verbinding via waterleidingen. Deze hebben een grotere diameter en vragen meer aandacht bij plaatsing, onder meer om luchtinsluiting te vermijden. Het voordeel is dat hiervoor geen koeltechnische certificatie van de installateur vereist is. Bij een PVT-installatie is er zowel een elektrische als thermische connectie tussen de panelen en de installatie binnenshuis nodig. De panelen worden aangesloten op de binnenunit van de water-water warmtepomp via een gesloten hydraulisch circuit en worden elektrisch verbonden met de omvormer. Bij lucht-water warmtepompen moet een voedingskabel naar de buitenunit voorzien worden. Bij lucht-lucht systemen hangt dit af van het type toestel: de voeding kan zowel bij de binnen- als buitenunit aangesloten worden. Tussen beide units wordt steeds een sturingskabel voorzien. Algemeen geldt dat het aanleggen van de benodigde leidingen en kabels mogelijk is, maar dat de kostprijs afhangt van de beoogde esthetiek en de voorziene ruimte.

4.5.2.2 Binnenunit en sanitair warm water buffer

De woningen in de wijk zijn veelal uitgerust met centrale verwarming op gas en collectoren vanwaar leidingen vertrekken naar de radiatoren en het sanitair. Bij de installatie van een lucht-water of water-water warmtepomp wordt de binnenunit daarom best op dezelfde plaats als de gasketel geïnstalleerd. Het is mogelijk een binnenunit met ingebouwde of aparte warm watertank te kiezen, afhankelijk van de beschikbare ruimte (Figuur 36 respectievelijk links en midden). Naast een watertank voor sanitair warm water, is het in kleinere hydraulische systemen meestal nodig is om een extra buffervat van 40 à 80 liter op het verwarmingssysteem te voorzien om de nodige minimale waterinhoud voor lucht-water of water-water warmtepompen te garanderen (Figuur 36 rechts). Dit vermijdt pendelgedrag en is nodig om de levensduur te garanderen. Bij een lucht-lucht warmtepomp of elektrische convectoren is er geen technische ruimte nodig voor het deel ruimteverwarming. Voor de productie van sanitair warm water dient er ruimte voor een aparte elektrische boiler of dergelijke voorzien te worden.



Figuur 36 Binnenunit met geïntegreerd sanitair warm water vat (links), binnenunit en apart sanitair warm water vat (midden) en extra buffervat voor minimale waterinhoud (rechts).

4.5.2.3 Afgiftesystemen

Afhankelijk van de gekozen technische installatie worden de afgiftesystemen (selectief) vervangen. Bij lucht-water en water-water warmtepompen kan overwogen worden de bestaande radiatoren te

behouden. In elk van de woningen zal nagegaan moeten worden welke radiatoren behouden kunnen blijven of welke ingrepen nodig zijn om de warmteoverdracht bij lage watertemperaturen te verhogen. De mogelijkheden zijn als volgt:

- Boosterventilatoren: de bestaande radiatoren worden voorzien van kleine ventilatoren om hun vermogen te verhogen bij het gebruik van lagere watertemperaturen. Een elektrische voeding moet aanwezig zijn of voorzien worden bij de radiator.
- Ventilator-convectoren: bestaande radiatoren worden vervangen door ventilator-convectoren met ingebouwde ventilator. Een elektrische voeding moet aanwezig zijn of voorzien worden.
- Aluminium radiatoren: de bestaande stalen radiatoren worden vervangen door aluminium radiatoren voor een betere warmtegeleiding.
- Grotere radiatoren of vloerverwarming: de bestaande radiatoren worden vervangen door afgiftesystemen met een groter warmte-uitwisselingsoppervlak zoals groter gedimensioneerde radiatoren, radiatoren met extra lamellen en/of vinnen, of vloerverwarming.

Daarnaast kan het nodig zijn de diameters van het bestaande leidingensysteem te controleren en bepaalde secties selectief te vervangen omwille van het lagere temperatuurverschil tussen aanvoeren en retourleiding, waardoor grotere debieten nodig zijn.

Bij lucht-lucht warmtepompen worden de radiatoren vervangen door wand- of vloergemonteerde binneneenheden. Vanaf elke binneneenheid gaan er twee geïsoleerde koelmiddelleidingen naar buiten. Deze leidingen kunnen zowel in opbouw als in een kabelgoot geplaatst worden of kunnen volledig in de muur of in een vals plafond weggewerkt worden. Een aandachtspunt van lucht-lucht warmtepompen is de luchtbeweging, een lagere comfortperceptie door gebruik aan stralingswarmte en het geluidsniveau binnenshuis. Door een vakkundige inplanting kan het nadeel van de luchtbeweging weggewerkt worden. Het geluidsniveau is vooral merk, type en vermogen gebonden en dient zeker in acht genomen te worden bij het kiezen van het systeem.

Wanneer een warmtepompoplossing niet mogelijk is, kan de ruimteverwarming geëlektrificeerd worden met elektrische convectoren. Een voordeel hierbij is dat de convectoren eventueel door de bewoners zelf geplaatst kunnen worden. Bij het gebruik van elektrische convectoren als hoofdverwarming is het noodzakelijk dat er in de te verwarmen ruimte een elektrische voeding aanwezig is op een afzonderlijke kring. Hiervoor wordt best advies ingewonnen bij een elektricien.

4.5.2.4 Aanpassing elektrische installatie

Bij de installatie van een warmtepomp of van elektrische convectoren is het belangrijk het beschikbare vermogen van de hoofdzekering te controleren. Algemeen wordt aangenomen dat een elektrisch vermogen van 3.5 tot 5 kVA vereist is om te voorzien in basisbehoeften zoals verlichting, keukenapparatuur, multi-media-toestellen, etc. [4]. Het vermogen van de hoofdzekering bedraagt typisch 9.2 kVA (monofasig, 40A, 230V), 15.9 kVA (driefasig, 40 A, 230V) of 17.3 kVA (driefasig, 25A, 400V) [26]. Op basis van het vermogen van de hoofdzekering kan het resterende beschikbaar vermogen voor een warmtepomp of elektrische convectoren bepaald worden. Afhankelijk van het type warmtepomp is een één-fasige of drie-fasige aansluiting vereist. Voor een uitgebreide discussie in verband met de te controleren aspecten van de elektrische installatie en enkele uitgewerkte voorbeelden, wordt verwezen naar de publicatie van Buildwise 'De uitdaging van warmtepompen bij renovatie' [4]. Indien de hoofdzekering versterkt moet worden, voert Fluvius deze werken uit. De prijs voor het verzwaren van het elektrisch vermogen varieert tussen €300 en €900 afhankelijk van het vermogen [27]. Elke wijziging aan het elektrisch bord vereist een herkeuring, evenals een aanpassing van het eendraads- en situatieschema.

4.5.2.5 Toepassing op woningen in de wijk

Op basis van de besproken aandachtspunten bij de plaatsing van de technische installatie binnenshuis, wordt een voorstel tot implementatie gegeven voor twee bezochte woningen. De bespreking en bijhorende figuren bevinden zich in Bijlage D.

5 BEPERKINGEN VAN DE STUDIE

Deze studie onderzocht de mogelijkheden om over te schakelen naar koolstofarme verwarmings- en warmwateroplossingen voor rijwoningen in een dense stedelijke context. De studie focust op de haalbaarheid van individuele oplossingen en beschouwt de renovatie van zowel de gebouwschil als de technische installaties.

De oplossingen werden beoordeeld vanuit meerdere perspectieven: implementatie in de woning en akoestiek, energiegebruik, comfort, investerings- en levenscycluskost. De beoordeling en vergelijking van hun **milieu-impact** via levenscyclusanalyse (LCA) werd gestaakt bij gebrek aan actuele en voldoende gedifferentieerde data voor de verschillende warmtepompsystemen. Technische installaties worden in LCA-studies vandaag slechts beperkt of helemaal niet in rekening gebracht, hoewel hun ingebedde milieu-impact uit productie, transport, installatie, onderhoud, vervanging en eindelevensduurverwerking substantieel kan zijn [28], [29]. Om tot een meer holistische afweging te komen van de verschillende systeemconfiguraties is ook inzicht in hun volledige levenscyclusimpact essentieel.

De **financiële beoordeling** gaat gepaard met enkele belangrijke onzekerheden. De invloed van de elektriciteitsprijs en de gekozen studieperiode op de levenscycluskost werd onderzocht: hoe hoger de elektriciteitsprijs of hoe langer de studieperiode, hoe minder doorslaggevend de investeringskost wordt, en hoe gunstiger de meer energie-efficiënte systeemconfiguraties met warmtepompen worden. Merk op dat in de kostenberekening uitsluitend rekening werd gehouden met het totaal elektriciteitsgebruik. Het capaciteitstarief werd dus niet meegenomen. Aangezien de scenario's met elektrische convectoren doorgaans hogere piekvermogens genereren dan de warmtepompscenario's, zal het meenemen van het capaciteitstarief in het nadeel zijn van de scenario's met elektrische convectoren, waardoor er een grotere onderschatting is van hun levenscycluskost. Ook de gehanteerde discontovoet en groeivoeten voor materiaal-, loon- en energiekosten kunnen de resultaten merkbaar beïnvloeden, maar dit werd niet onderzocht. Bovendien werd in de kostenanalyse de onderhoudskost niet meegenomen, hoewel deze een belangrijke kostenpost kan zijn en bovendien kan verschillen tussen de onderzochte systemen. Ook potentiële randkosten die bij een renovatie kunnen optreden, zoals rioleringswerken, elektriciteitswerken, opstartkosten, algemene werfinrichting, keuringen en heraanleg van de buitenruimte, werden niet in de analyse meegenomen. Tot slot is er ook een grote onzekerheid op de investeringskosten voor de renovatie van de gebouwschil en technische installaties, aangezien deze sterk afhangen van locatie, complexiteit, aannemer, gebruikerskeuzes en andere projectspecifieke factoren. Om met deze variabiliteit om te gaan, werd in dit onderzoek bewust gebruikgemaakt van prijsvorken in plaats van gemiddelde of mediane waarden. Deze prijsvorken bleken echter breed, wat leidde tot een aanzienlijke overlap tussen de investerings- en levenscycluskosten van de verschillende systeemconfiguraties. Dit levert een genuanceerd beeld op, maar bemoeilijkt een eenduidige interpretatie van de resultaten. Een projectspecifieke raming zal daarom uiteindelijk altijd noodzakelijk blijven om de financiële kost in een specifiek geval accuraat in te schatten.

Bij het onderzoeken van de verschillende renovatiescenario's werden een aantal aannames gemaakt, die de resultaten in meer of mindere mate kunnen beïnvloeden. Een belangrijk voorbeeld hiervan is het **gebruikersgedrag**, dat een aanzienlijke invloed heeft op de efficiëntie en het energiegebruik van de systemen, en bijgevolg ook op de operationele kosten. De ingestelde setpunttemperaturen, het raamopeningsgedrag en de aanwezigheidsprofielen van de bewoners, met bijhorende interne warmtewinsten, eventuele setbacktemperaturen bij afwezigheid en warmwaterbehoefte, kunnen de resultaten dan ook sterk beïnvloeden. In deze studie werden twee gebruikersprofielen onderzocht: een normcomfortprofiel en een suffiënt comfortprofiel, telkens uitgaande van een gezin met 3 bewoners met hetzelfde aanwezigheidsprofiel, en bijhorende interne warmtewinsten, in de woning. In realiteit zijn uiteraard veel meer variaties mogelijk.

De **comfortbeoordeling** gebeurt ruimte per ruimte op basis van de gemiddelde gevoelstemperatuur in de ruimte. Het lokale comfort op een specifieke plaats in de ruimte is echter ook afhankelijk van het type en de plaatsing van het afgiftesysteem, waarbij bijvoorbeeld de binnenunits van lucht-lucht warmtepompen hoofdzakelijk warmte via convectie verspreiden, met meer risico op tochtgevoel, dan radiatoren of vloerverwarming waar stralingswarmte een grote rol speelt.

Wat betreft de **akoestische impact van de warmtepompen** lag de focus in deze studie op mogelijke geluidshinder naar de burens ten gevolge van de plaatsing van de buitenunit van luchtgebaseerde warmtepompen. Zoals ook in de bespreking in de studie werd opgemerkt, kunnen deze buitenunits uiteraard ook geluidshinder veroorzaken voor de bewoners zelf (bv. wanneer (verluchtingsroosters in) de ramen openstaan of de buitenunit zich op de koer bevindt). Daarnaast zijn er ook akoestische risico's binnenin de woning, vb. bij plaatsing van de buitenunit op een lichte dakconstructie kunnen de trillingen van het toestel storend zijn, en bij lucht-lucht systemen kan ook de binnenunit 'airco'-geluid met zich meebrengen ten gevolge van de ingebouwde ventilator. Het eerste kan verholpen worden door middel van een aangepaste plaatsingswijze met akoestische demping, zoals een zware ondersokkel.

Wat betreft de inschatting van akoestische impact in de buitenomgeving voor de luchtgebaseerde warmtepompen, werden de drempelwaarden uit de code van goede praktijk [3] gehanteerd waaraan akoestische data van buitenunits op de lokale markt werden getoetst. De auteurs merken echter op dat de data die door warmtepompfabrikanten beschikbaar gesteld worden, ontoereikend zijn voor een grondige analyse. Zo geven verschillende fabrikanten enkel nominale geluidsvermogens op, terwijl de maximale geluidsvermogens aanzienlijk hoger kunnen liggen. Doordat bovendien de info die beschikbaar gesteld wordt omtrent de thermische vermogens vaak ontoereikend is (zo wordt bijvoorbeeld vaak enkel het vermogen voor een 7/35°C regime en eventueel een -7/35°C regime opgegeven, maar niet voor een -7/55°C regime), is het niet altijd duidelijk welke warmtepomp voldoet aan de warmtevraag, en voor welke warmtepomp de geluidsvermogens bijgevolg afgetoetst moeten worden. Verder is het ook onduidelijk bij welk thermisch vermogen de gerapporteerde geluidsvermogens geldig zijn.

Op basis van de beschikbare data is het bovendien niet mogelijk om het verloop van het geluidsvermogen doorheen de tijd in te schatten, en of hoge geluidsvermogens vaak voorkomen, gebonden zijn aan bepaalde werkingsregimes en seizoenen, of daarentegen eerder occasioneel voorkomen. Daarnaast is geen informatie beschikbaar over de directionaliteit van het geluid en specifieke geluidskenmerken (zoals tonaliteit), die kunnen toelaten om mogelijke geluidshinder eigen aan deze systemen beter te karakteriseren en de code van goede praktijk eventueel te verfijnen.

De resultaten van deze studie tonen aan dat de akoestische impact van de buitenunits in deze rijwoningen in dense stedelijke context niet te verwaarlozen zijn, waarbij er maar weinig gevallen zijn waar een dergelijke unit zou kunnen geplaatst worden zonder bijkomende akoestische en/of isolatie-ingrepen en de bijhorende meerkosten (afgaande op beschikbare data en richtlijnen). Daarbij werd ook nog geen rekening gehouden met het cumulatieve effect van de geluidsvermogens van warmtepompen op de verschillende naburige woningen. Bovendien kijkt de studie enkel naar kwalitatieve producten op de Belgische markt. Goedkopere modellen hebben mogelijk een hoger geluidsvermogen en/of lagere energie-efficiëntie. Daarom identificeren de auteurs een verder onderzoek naar de akoestische impact van luchtgebaseerde warmtepompen, op basis van meer uitgebreide productgegevens en in situ metingen, als een belangrijk vervolgonderzoek, dat zou toelaten de resultaten van deze studie te verfijnen.

Tot slot werden de **ruimtelijke implementatiemogelijkheden** van de oplossingen onderzocht. De analyse van de beschikbare buitenruimte voor de plaatsing van PVT-panelen of de buitenunit van luchtgebaseerde warmtepompen geeft een eerste indicatie van de mogelijkheden, maar houdt geen rekening met de locatie en grootte van ramen en dakkapellen, de inpassing van PVT-panelen op het dakoppervlak, de staat, opbouw en draagkracht van de dakconstructie, de aanwezigheid van koepels op platte daken, ramen aan de achtergevel, gebruik van de koer of plat dak voor andere doeleinden,

etc. In de praktijk is het nodig om voor elke woning specifiek te bepalen of en waar PVT-panelen of een buitenunit geïnstalleerd kunnen worden. De analyse van de implementatie binnenshuis en de twee besproken woningen, toont dat afhankelijk van de plaats van de originele verwarmingsinstallatie en de inrichting van de woning een vervanging kan variëren van makkelijk tot ingrijpend. De invloed hiervan op de investeringskost kan enkel voor elke woning individueel bepaald worden, maar wordt deels weergegeven door de gehanteerde prijsvorken.



6 CONCLUSIE EN DISCUSSIE

In deze studie werden individuele renovatie-oplossingen onderzocht waarbij wordt overgeschakeld naar koolstofarme verwarming en warmwaterproductie voor rijwoningen in een dense stedelijke context. Daarbij werd een veel voorkomende woningtypologie in de Gentse wijk Muide-Meulestede geselecteerd, met name een rijwoning met gevelbreedte van 4 meter en een aanbouw op het gelijkvloers en de eerste verdieping. Drie warmtepompconfiguraties werden bestudeerd: een lucht-lucht warmtepomp gecombineerd met een elektrische boiler voor sanitair warm water, en een lucht-water warmtepomp en PVT-warmtepomp beiden met een geïntegreerde sanitair warmwaterboiler. Deze warmtepompconfiguraties werden afgewogen ten opzichte van een basisscenario met elektrische convectoren voor verwarming en een elektrische boiler voor sanitair warm water. Daarnaast werden ook verschillende isolatiegraden geanalyseerd. Deze scenario's werden vanuit verschillende perspectieven beoordeeld: energiegebruik, thermisch comfort, investerings- en levenscycluskost, akoestiek en ruimtelijke implementatie van de installaties.

Vergelijking van de koolstofarme verwarmingssystemen

De vier systeemconfiguraties werden toegepast op de woningtypologie voor een isolatiescenario waarbij de daken en ramen conform de huidige energieprestatieregelgeving geïsoleerd zijn. Hieruit blijkt dat de drie warmtepompscenario's een vergelijkbaar energiegebruik hebben, dat minder dan de helft bedraagt dan het scenario met elektrische convectoren (zie Figuur 12). Hoewel de lucht-lucht en PVT-warmtepomp een hogere energie-efficiëntie (uitgedrukt door de SCOP) dan de lucht-water warmtepomp hebben, zorgt de combinatie met een elektrische boiler, elektrische weerstandsverwarming en/of elektrische convector in de badkamer ervoor dat de totale systeemefficiëntie (SCOP) en bijgevolg het energiegebruik dicht bij elkaar liggen, waarbij de lucht-water warmtepomp uiteindelijk het best scoort op energetisch vlak.

Vanuit financieel oogpunt heeft het scenario met elektrische convectoren de laagste investeringskost, maar door de aanzienlijk hogere energiekost resulteert dit scenario al na 3 tot 10 jaar in de hoogste levenscycluskost. In het geval dat het dak en de ramen onvoldoende geïsoleerd zijn, wordt deze levenscycluskost nog groter. Bovendien zijn deze scenario's met matige tot lage isolatiegraad en elektrische convectoren het meest gevoelig voor fluctuaties in energieprijzen. Dit benadrukt de nood aan ondersteunende mechanismes die bewoners helpen de initiële investeringskost te overbruggen, zodat zij kunnen kiezen voor oplossingen met een lagere levenscycluskost en die meer bestand zijn tegen schommelingen in de energiemarkt. Van de drie warmtepompscenario's heeft de PVT-warmtepomp de hoogste investeringskost en de lucht-luchtwarmtepomp de laagste (zie Figuur 13). De verschillen in levenscycluskost zijn daarentegen eerder beperkt. Gemiddeld komt de lucht-luchtwarmtepomp financieel het meest voordelig naar voren, zeker in een situatie waarin de huidige radiatoren onvoldoende zijn om de warmtevraag te dekken en bij de lucht-water- en PVT-warmtepompscenario's nieuwe ventilo-convectoren of grotere radiatoren geplaatst moeten worden. Bij hogere energieprijzen kan de financiële voorkeur dan weer verschuiven naar een lucht-water warmtepomp.

Isolatiegraad van de woning

Wanneer de huidige isolatiegraad van de woning laag is (dak en/of ramen voldoen niet aan huidige energieprestatie-eisen), blijken de vereiste warmtepompvermogens en aanvoertemperaturen hoog. Daarom is het aangewezen om minstens daken en ramen te renoveren vooraleer een warmtepomp te installeren. Zowel vanuit een energetisch als financieel oogpunt blijkt het echter doorgaans niet ongunstig om ook de muren te isoleren (zie Figuur 19, 22 en 23). Hierdoor daalt het benodigd vermogen van de warmtepomp en dus ook de investeringskost van de installatie. Deze renovatiegraad vraagt wel een hogere totale investeringskost door de bijkomende schilrenovaties, maar in totaliteit wordt de investeringskost volledig of toch grotendeels gecompenseerd door de lagere energiekost. Zeker wanneer een woning toch al opfrissingswerken nodig heeft (zoals het vervangen van binnen- of

buitenafwerkingen), blijkt het isoleren van de muren kosteneffectief. Dan wordt de meerkost voor bijkomende isolatie immers beduidend kleiner, en wordt deze optie relatief voordeliger. Het installeren van een warmtepomp in combinatie met minstens dak- en raamrenovatie, en eventueel ook muurisolatie, resulteert in de laagste levenscycluskost en in een grotere robuustheid voor energieprijsfluctuaties (t.o.v. verwarming met elektrische convectoren). Een totaalrenovatie waarbij ook de vloer wordt aangepakt en nieuwe afgiftesystemen (vloerverwarming en ventilo-convectoren) worden geplaatst, heeft de hoogste investeringskost. Door de grote spreiding in deze investeringskost kan de levenscycluskost van een totaalrenovatie in het beste geval in de grootteorde liggen van de financieel optimale renovaties (de scenario's met dak- en raam- en/of muurisolatie) maar in het slechtste geval ongunstiger uitvallen dan niet-renoveren met elektrische convectoren. Deze grote spreiding in investeringskost wordt hoofdzakelijk bepaald door de gebouwschil, waarbij de vloerafwerking de grootste spreiding vertoont. Merk ook op dat dit totaalrenovatiescenario uiteraard ook esthetische verbeteringen van de woning omvat (vb. nieuwe vloerafwerking), een hoger thermisch comfort biedt en eventueel de mogelijkheid tot (vloer)koeling, en robuuster is bij stijgende energieprijzen.

Dimensionering van de warmtepomp

Verder werden drie varianten op de dimensionering en regeling van de warmtepomp onderzocht. Een eerste variant bekijkt de impact van het al dan niet verlagen van de insteltemperatuur van de verwarming bij afwezigheid (wel of geen setbacktemperatuur). De invloed hiervan blijkt relatief klein. Geen setbacktemperatuur meenemen zorgt voor een beperkte stijging van het energiegebruik, die het grootst is bij de minder goed geïsoleerde woningen (dak en ramen conform de energieprestatieregelgeving). Tegelijk daalt het benodigde warmtepompvermogen met 14% tot 17%, afhankelijk van de isolatiegraad, en daardoor ook het geluidsvermogen en de investeringskost. De daling in investeringskost wordt over een periode van 30 jaar echter gecompenseerd door de hogere energiekost, waardoor de levenscycluskost nagenoeg gelijk blijft.

In een tweede variant wordt de warmtepomp ondergedimensioneerd, hetgeen een erg valabele optie blijkt. Zowel bij een dimensionering op 70% als op 40% daalt het energiegebruik licht. Dit komt doordat de warmtepomp een groter deel van de tijd in hogere deellast werkt, hetgeen gepaard gaat met een hogere energie-efficiëntie en dus betere SCOP. De ingebouwde elektrische weerstand, die bijspringt wanneer het vermogen van de warmtepomp ontoereikend wordt, moet bijna nooit inspringen bij de warmtepomp op 70%. Bij een 40% dimensionering gebeurt dit al vaker, maar dit wordt alsnog gecompenseerd door de verhoogde SCOP van de warmtepomp gedurende de rest van de tijd. Bovendien leidt de onderdimensionering in beide gevallen tot een aanzienlijke daling in de investeringskost van 14–29%, waardoor ook de levenscycluskost afneemt met 7–10%.

In een derde variant met suffiënt comfort worden enkel het gelijkvloers en de badkamer verwarmd, waarbij het gelijkvloers verwarmd wordt via een lucht-water warmtepomp en de badkamer met een elektrische convector. Het sanitair warm water wordt voorzien door een geïntegreerde boiler in de warmtepomp. Dit leidt tot een lager energiegebruik en een lagere investeringskost (kleinere warmtepomp) en levenscycluskost dan wanneer de volledige woning met een warmtepomp verwarmd wordt tot normcomfort. In deze woningtypologie is het verschil in energiegebruik bij het toepassen van suffiënt comfort in vergelijking met het volledig verwarmen van de woning tot normcomfort echter beperkt (10%). Dit is enerzijds het gevolg van de gekozen systeemconfiguratie waarbij enkel de leefruimte met de warmtepomp verwarmd wordt en de badkamer met een elektrische convector met een één-op-één efficiëntie, en anderzijds doordat in deze woningtypologie het trapgat in de leefruimte open is, en er dus grote warmteverliezen zijn naar de bovenliggende slaapkamers vanuit de verwarmde leefruimte. Mochten er toch bijkomend elektrische convectoren geplaatst worden om bij aanwezigheid de verdiepingen te verwarmen tot normcomfort, dan wordt de lagere investeringskost volledig tenietgedaan door een hogere energiekost, wat resulteert in een hogere levenscycluskost. Deze resultaten tonen aan dat het in deze typologie interessanter is om centrale verwarming met een ondergedimensioneerde warmtepomp te voorzien voor de volledige woning, waarbij alsnog een suffiënt verwarmingsprofiel kan toegepast worden indien gewenst om de energiekosten te drukken.

Deze studie bevestigt dus dat een goed (onder)gedimensioneerde warmtepomp voordelig is op vlak van energiegebruik en investeringskost, maar ook op vlak van implementatie: een kleinere warmtepomp neemt immers minder ruimte in beslag en zal in principe ook met lagere geluidsvermogens gepaard gaan. In het bijzonder in deze kleine woningen in dense omgeving kan een onderdimensionering het verschil maken tussen het wel of niet kunnen plaatsen van een warmtepomp op het perceel, zonder te moeten investeren in akoestische maatregelen in het geval van een luchtgebaseerde warmtepomp. Dit staat echter in contrast met de werkelijke installatiepraktijk, waarbij courant overgedimensioneerde warmtepompen geplaatst worden en het uitvoeren van een degelijke warmteverliesberekening nog geen standaard praktijk is. Het is daarom ook een belangrijke aanbeveling om de bewustwording en opleiding van installateurs hierrond te vergroten, en hen te ondersteunen met goede ontwerpmethodes en/of -tools.

Koolstofarme verwarming in een dense stedelijke context

Tot slot werd op basis van de bevindingen uit de analyse van de woningtypologie een schets gemaakt van mogelijke koolstofarme renovatiescenario's voor een deel van de wijk Muide-Meulestede waar deze en verwante typologieën frequent voorkomen (Figuur 32-Figuur 35). Door de typologie terug te plaatsen in de context van de wijk, konden concrete randvoorwaarden zoals de oriëntatie, aanwezigheid van private buitenruimte, etc. meegenomen worden om de haalbaarheid van de renovatiescenario's na te gaan op wijkniveau. Merk uiteraard op dat dit een indicatieve schets is, en dat reële mogelijkheden project-per-project dienen geëvalueerd te worden.

Gezien de aanbeveling om minstens de ramen en het dak conform hedendaagse energieprestatieregelgeving te renoveren alvorens over te schakelen naar een koolstofarme oplossing, werd vertrokken van deze isolatiegraad en bijhorende inschattingen van de benodigde opwekkingsvermogens. De wijkanalyse toont aan dat in dat geval in geen enkele woning een luchtgebaseerde warmtepomp kan worden geplaatst zonder bijkomende akoestische maatregelen. Enerzijds om overlast naar de burens te vermijden bij een plaatsing op het plat dak (volgens de richtlijnen in de code van goede praktijk [3]), anderzijds om overlast naar de bewoner zelf te vermijden bij een plaatsing op de koer. Dit terwijl een groot aantal woningen wel beschikt over een plat dak of een koer, wat de plaatsing van een buitenunit in principe mogelijk maakt.

Wanneer de woning volledig geïsoleerd wordt en de warmtepomp ondergedimensioneerd op 70%, dan wordt het voor alle typologieën in de wijk (behalve de 5 woningen van de typologie met een aanbouw op alle verdiepingen) wel mogelijk om een warmtepomp op het plat dak te plaatsen zonder bijkomende akoestische maatregelen. Dit onderstreept het belang van de akoestische dimensie. Zoals aangegeven in hoofdstuk 5 is weinig gedetailleerde informatie voorhanden over de geluidskarakteristieken van warmtepompbuitenunits. Verder onderzoek naar de akoestische impact van luchtgebaseerde warmtepompen, op basis van meer uitgebreide productgegevens en in situ metingen is belangrijk om de resultaten van deze studie te verfijnen.

Voor een beperkt aantal woningen kan een warmtepomp gekoppeld aan PVT-panelen een oplossing bieden voor het akoestische probleem, al is dit sterk afhankelijk van het beschikbare dakoppervlak en de dakoriëntatie. Onderdimensionering van de warmtepomp en/of een hogere isolatiegraad van de woning vergroot het toepassingspotentieel van PVT-panelen, maar zelfs in het meest gunstige scenario beschikt niet elke woning over voldoende en gunstig georiënteerd dakoppervlak. Wel kunnen PVT-panelen in specifieke gevallen, bijvoorbeeld bij woningen zonder buitenruimte voor een buitenunit, maar met een gunstige dakoriëntatie, een alternatief bieden om toch een warmtepompsysteem toe te passen. De investeringskost van deze oplossing is hoger (ca. 3.000–3.500 euro, mits aftrek investering PV-panelen) dan een lucht-water warmtepomp, maar rekening houdend met een bijkomende akoestische omkasting voor de lucht-waterwarmtepomp, kunnen beide oplossingen in dezelfde kostenrange terecht komen.

Tot slot zijn er in de wijk een klein aantal woningen waar geen van de beschouwde warmtepompoplossingen haalbaar lijkt. Dit zijn woningen zonder koer, plat dak of geschikt georiënteerd

dak (bv. hoekwoningen). In deze woningen kan eventueel teruggevallen worden op elektrische verwarming met convectoren, mits er wordt ingezet op een doorgedreven isolatie van de woning om de energiefactuur te beperken.

Het wordt niet aanbevolen om het basisscenario met volledige elektrische verwarming met elektrische convectoren op grote schaal uit te rollen. De investeringskosten lijken dan wel aantrekkelijk, maar een eventuele verzwaaring van de elektriciteitsinstallatie is niet ingerekend, de energiekosten zijn hoog en de impact van schommelingen in de elektriciteitsprijs is bijgevolg ook hoog. Bovendien is de impact van dergelijke oplossingen op het elektriciteitsnet groot, daar het leidt tot veel hogere piekvermogens dan de warmtepompoplossingen. Het inschatten van de impact van deze koolstofarme oplossingen op het lokale elektriciteitsnet maakte geen deel uit van deze studie, maar lijkt een interessant vervolgonderzoek.

Ook in de gevallen waar enkel dak en ramen geïsoleerd zijn, blijft het ook op wijkniveau aan te bevelen om de isolatiegraad verder te verbeteren door de muren te isoleren, en eventueel ook de vloer (in combinatie met vloerverwarming/koeling). Dit reduceert niet alleen de energievraag, maar laat ook toe om de warmtepompvermogens te reduceren, hetgeen bovendien de geluidsvermogens van buitenunits, het aantal benodigde PVT-panelen en de investeringskost van de installatie reduceert, alsook de piekvermogens voor het elektriciteitsnet. Scenario's waarbij een sterk ondergedimensioneerde warmtepomp (bv. 40-50%) reeds geplaatst wordt na isoleren van de ramen en het dak, waarbij later bijkomende isolatiewerken uitgevoerd worden, zijn denkbaar.

Individueel of collectief?

Individuele luchtgebaseerde warmtepompsystemen zijn doorgaans een zeer evidente oplossing voor koolstofarme verwarming van woningen, met een relatief lage investeringskost ten opzichte van andere koolstofarme systemen, voor een vrij goede energie-efficiëntie en gemakkelijke plaatsing. In deze dense stedelijke wijk met (te renoveren) rijwoningen op kleine perceelsbreedtes en met weinig buitenruimte, lijkt deze oplossing op haar grenzen te botsen. Met name de mogelijkheid om de buitenunit te plaatsen zonder risico op geluidshinder, blijkt, op basis van de informatie die voorhanden is, geen evidentie. Een combinatie van optimalisaties dringt zich op: een akoestische omkasting en/of diepgaande renovatie met onderdimensionering van het systeem. Indien het dak geschikt is (oriëntatie, vrij oppervlak) kan een PVT-warmtepomp een interessant alternatief zijn. Echter, geen van deze scenario's komt zonder meerkost. Voor enkelingen zijn geen van de onderzochte warmtepompoplossingen voor het bestaande gebouw op eigen perceel mogelijk (of moeten alternatieven geval per geval nader bekeken worden).

Deze studie focuste op oplossingen die binnen het perceel kunnen gerealiseerd worden. Collectieve oplossingen zoals het voorzien van geothermische boringen in de straat, het aansluiten op een warmtenet of het clusteren van energiesystemen van kleine groepen woningen, kunnen ook een valabele optie vormen, maar dienen verder onderzocht en afgewogen te worden. Uit deze studie kan wel meegenomen worden dat wanneer de afweging gemaakt wordt tussen individuele of collectieve oplossingen in dit type wijk, men ook voor de individuele systemen rekening dient te houden met meerkosten en/of andere impacten ten gevolge van de dichte bebouwing.

REFERENTIES

- [1] Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, “EPB-eisentabellen per aanvraagjaar, U-waarden (huidig)”. Geraadpleegd: 10 april 2026. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.vlaanderen.be/epb-pedia/epb-plichtig-toepassing-en-eisen/epb-eisentabellen-per-aanvraagjaar/u-waarden-huidig>
- [2] *Silent Heat Pump*. (20 oktober 2025). Buildwise. [Online]. Beschikbaar op: <https://silentheatpump.buildwise.be/>
- [3] Digitaal Vlaanderen, “Code van goede praktijk. Geluid van buitenunits van residentiële lucht-lucht (airco) en lucht-water warmtepompen”, Vlaanderen.be. Geraadpleegd: 30 december 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.vlaanderen.be/publicaties/code-van-goede-praktijk-geluid-van-buitenunits-van-residentiele-lucht-lucht-airco-en-lucht-water-warmtepompen>
- [4] A. Dijckmans, J. Van der Veken, S. Cailou, en X. Kuborn, “De uitdaging van warmtepompen bij renovatie”. Buildwise, 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.buildwise.be/nl/publicaties/innovation-papers/53/>
- [5] I. T’Jollyn, A. Degelin, Z. Ahmed, S. Lecompte, en M. De Paepe, “A comparative study of residential building energy performance in Belgium utilizing three different solar panel configurations”, gepresenteerd bij 2025 Building Simulation Conference, 2025. doi: 10.26868/25222708.2025.1829.
- [6] Triple Solar, “Triple Solar Rekentool”. 2025.
- [7] NBN, *NBN D 50-001: Ventilatievoorzieningen in woongebouwen*, D 50-001, 1991.
- [8] NBN, *NBN EN 12831-1 ANB:2020: Energieprestatie van gebouwen - Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting - Deel 1: Warmtebelasting voor ruimteverwarming - Nationale bijlage*, 2020.
- [9] T. De Mets en A. Tilmans, “Binnenisolatie van gevels: waarom een grondig vooronderzoek cruciaal is”, 2025.
- [10] NBN, *NBN EN 12831-1:2017: Energieprestatie van gebouwen - Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting - Deel 1: Warmtebelasting voor ruimteverwarming*, 23 augustus 2017.
- [11] “Rapport nr. 14: ontwerp en dimensionering van centrale-verwarmingsinstallaties met warm water”, 2013.
- [12] *Dymola*. Dassault Systèmes. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.3ds.com/products/catia/dymola>
- [13] R. Baetens, R. De Coninck, F. Jorissen, D. Picard, L. Helsen, en D. Saelens, “OpenIDEAS – An Open Framework for integrated District Energy Simulations”, gepresenteerd bij 2015 Building Simulation Conference, 2015. doi: 10.26868/25222708.2015.2243.
- [14] L. Maier e.a., “AixLib: an open-source Modelica library for compound building energy systems from component to district level with automated quality management”, *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 17, nr. 2, pp. 196-219, 2024, doi: 10.1080/19401493.2023.2250521.
- [15] K. De Jonge, F. Jorissen, L. Helsen, en J. Laverge, “Wind-driven air flow modelling in Modelica: verification and implementation in the IDEAS library”, gepresenteerd bij Building Simulation 2021, in *Building Simulation*, vol. 17. IBPSA, 2021, pp. 1099-1106. doi: 10.26868/25222708.2021.30165.
- [16] S. Verbruggen, “Window use habits as an example of habitual occupant behaviour in residential buildings”, Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Gent, België, 2021.
- [17] S. Van de Putte, “Optimal energy performance of apartment buildings from a life cycle perspective [Nog niet gepubliceerd]”, Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Gent, België, 2026.
- [18] A. Machard e.a., “IEA EBC Annex 80 ‘Typical and extreme weather datasets for studying the resilience of buildings to climate change’ (Version 1.0)”. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ, 26 februari 2024. doi: 10.26050/WDCC/WDTF_Annex80_build_v1.0.
- [19] K. Allacker, D. Trigaux, E. Verellen, N. Verstappen, J. Declercq, en A. Vander Donckt, “Kostenstudie TOTEM: Financiële analyse van milieu-impact optimalisaties van gebouwen”, OVAM, 2025.
- [20] ASPEN, *ASPEN INDEX Regio Vlaanderen: Ombouw*. Antwerpen, België, 2024.
- [21] UPA-BUA, *Borderel van eenheidsprijzen*. Brussel, België, 2024.

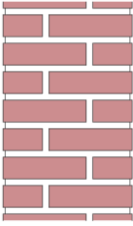
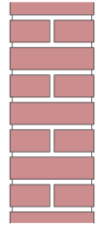
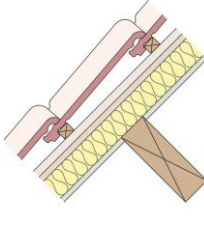


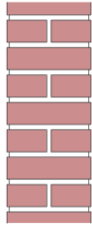
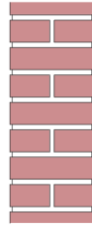
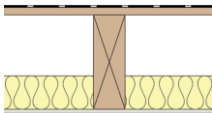


- [22] Y. Decorte, “Three Pathways towards a Sustainable Transition of Flemish Dwellings : What Are the Shifts in the Environmental Trade-Off?”, Doctoraatsthesis, Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Gent, België, 2024.
- [23] Vlaamse Nutsregulator, “Afnameprijzen elektriciteit - Terugblik”. Geraadpleegd: 1 september 2025. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.vlaamsenutsregulator.be/afnameprijzen-elektriciteit-terugblik-dashboard>
- [24] Stad Gent, “Is een warmtepomp iets voor mij?” [Online]. Beschikbaar op: <https://stad.gent/nl/de-energiecentrale/renoveren/verwarming/warmtepomp/een-warmtepomp-iets-voor-mij>
- [25] Vlaams Energie- en Klimaatagentschap, *Zonnekaart*. Geraadpleegd: 8 april 2026. [Online]. Beschikbaar op: https://apps.energiesparen.be/modules/contrib/vea_solar_map/app/index.html
- [26] Fluvius, “Welke elektriciteits, gas of rioleringsaansluiting heb ik nodig?” Geraadpleegd: 14 april 2026. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.fluvius.be/nl/aansluitingen/standaardaansluiting>
- [27] “Tarieven elektriciteit | Fluvius”. Geraadpleegd: 8 april 2026. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.fluvius.be/nl/aansluitingen/tarieven-elektriciteit>
- [28] E. Hoxha, D. Maierhofer, M. R. M. Saade, en A. Passer, “Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings: case of a laboratory and research building”, *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 26, nr. 5, pp. 852-863, 2021, doi: 10.1007/s11367-021-01919-9.
- [29] Y. Decorte, N. Van Den Bossche, en M. Steeman, “Importance of technical installations in whole-building LCA: Single-family case study in Flanders”, *Build. Environ.*, vol. 250, p. 111209, 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111209.
- [30] F. Van Riet, “Hydronic design of hybrid thermal production systems in buildings”, Doctoraatsthesis, Universiteit Antwerpen, Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen, Antwerpen, België, 2019.

BIJLAGEN

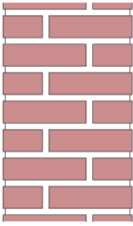
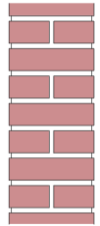
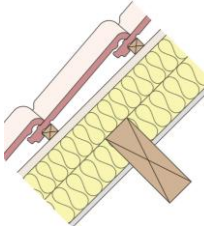


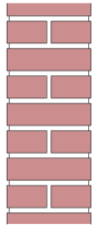
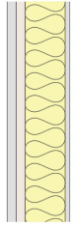
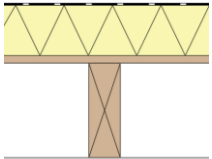


Bijlage A

Startscenario's

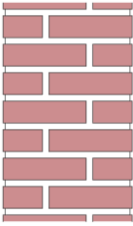
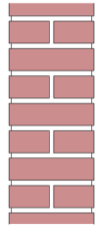
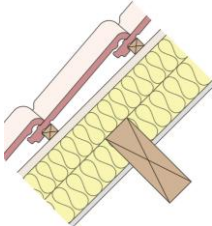

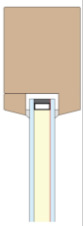
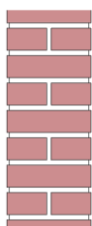
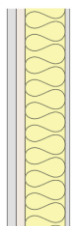
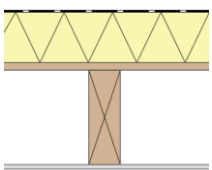
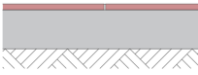
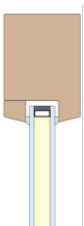
Tabel A.1 Opbouw, constructie- of renovatiejaar en U-waarde per schielelement van het hoofgebouw en de aanbouw voor startscenario 1.

STARTSCENARIO 1: NIETS					
Hoofgebouw					
Muur +0	Muur +1/+2	Dak	Vloer	Raam	
					
U = 2.3 W/m ² .K	U = 2.9 W/m ² .K	U = 0.7 W/m ² .K	U = 0.8 W/m ² .K	U = 3.3 W/m ² .K	
Aanbouw					
Muur +0	Muur +1/+2	Dak	Vloer	Raam	
					
U = 2.9 W/m ² .K	U = 2.9 W/m ² .K	U = 0.6 W/m ² .K	U = 0.8 W/m ² .K	U = 3.3 W/m ² .K	

Tabel A.2 Opbouw, constructie- of renovatiejaar en U-waarde per schielelement van het hoofgebouw en de aanbouw voor startscenario 2.

STARTSCENARIO 2: DAK					
Hoofgebouw					
Muur +0	Muur +1/+2	Dak	Vloer	Raam	
					
U = 2.3 W/m ² .K	U = 2.9 W/m ² .K	U = 0.24 W/m ² .K	U = 0.8 W/m ² .K	U = 3.3 W/m ² .K	
Aanbouw					
Muur +0	Muur +1/+2	Dak	Vloer	Raam	
					
U = 2.9 W/m ² .K	U = 0.6 W/m ² .K	U = 0.24 W/m ² .K	U = 0.8 W/m ² .K	U = 3.3 W/m ² .K	

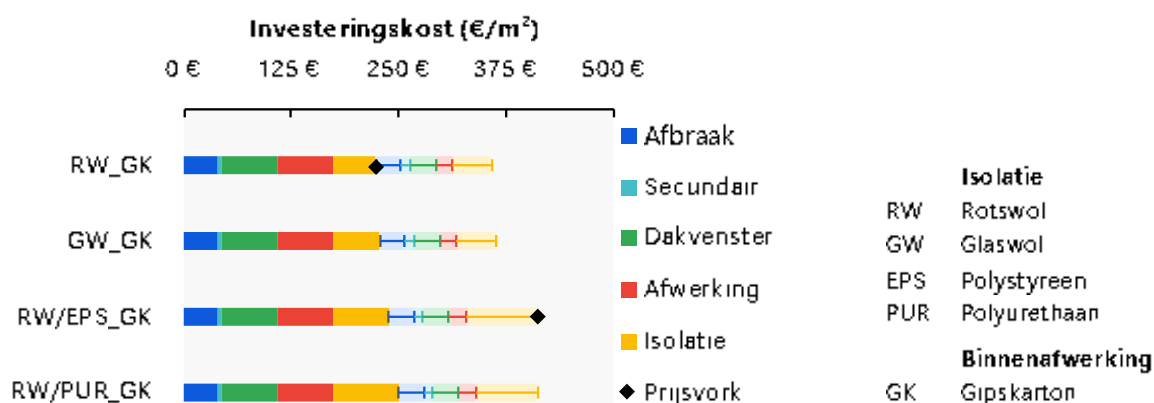
Tabel A.3 Opbouw, constructie- of renovatiejaar en U-waarde per schielelement van het hoofdgebouw en de aanbouw voor startscenario 3.

STARTSCENARIO 3: DAK EN RAAM				
Hoofdgebouw				
Muur +0	Muur +1/+2	Dak	Vloer	Raam
				
U = 2.3 W/m ² .K	U = 2.9 W/m ² .K	U = 0.24 W/m ² .K	U = 0.8 W/m ² .K	U = 1.5 W/m ² .K
Aanbouw				
Muur +0	Muur +1/+2	Dak	Vloer	Raam
				
U = 2.9 W/m ² .K	U = 0.6 W/m ² .K	U = 0.24 W/m ² .K	U = 0.8 W/m ² .K	U = 1.5 W/m ² .K

Bijlage B

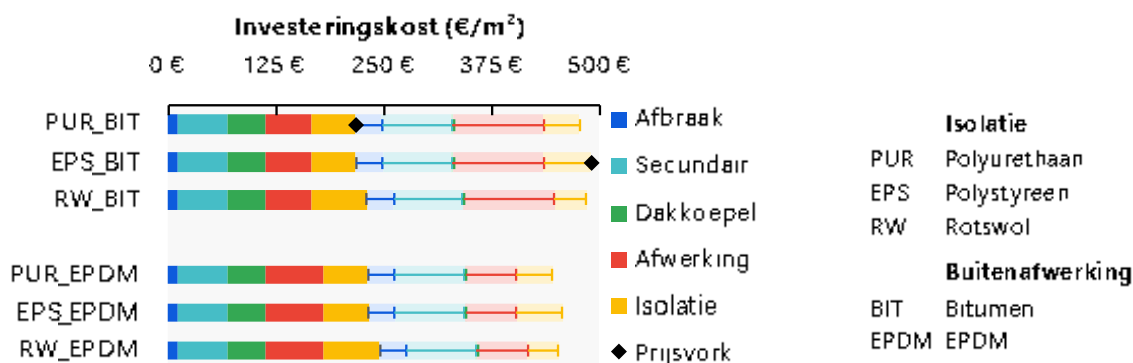
Investeringskost per renovatiestrategie

Hellend dak incl. nieuw dakvenster



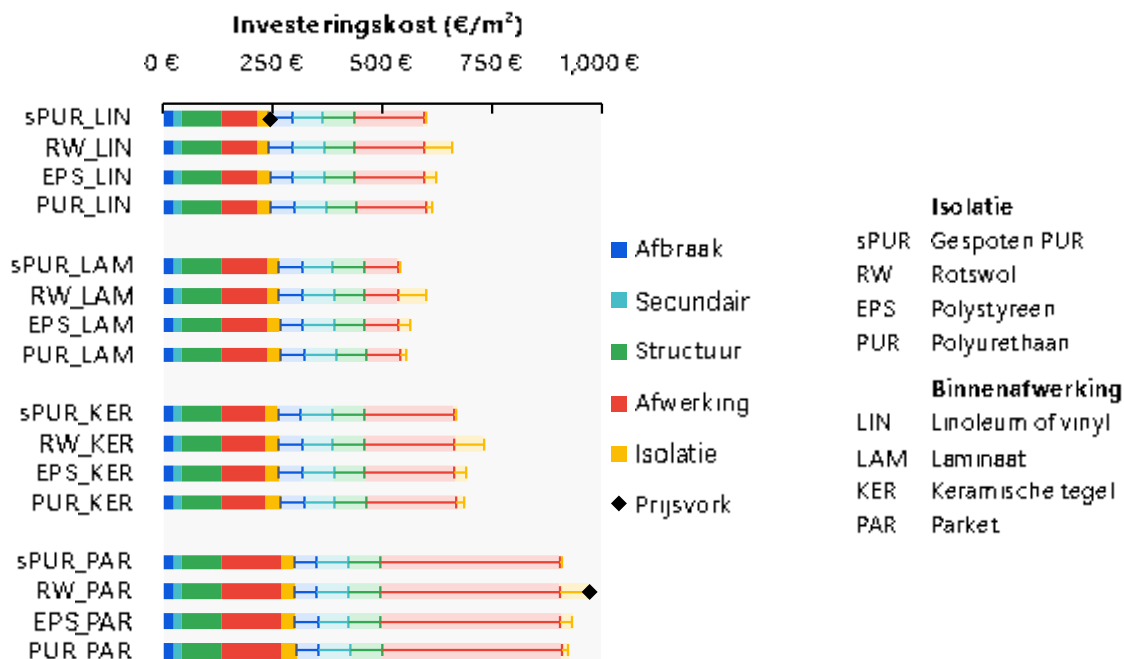
Figuur B.1 Investeringskost (excl. btw) van de binnenisolatiestrategieën voor het hellend dak en vervanging van dakvenster met indicatie van de totale prijsvork.

Plat dak incl. dakkoepel



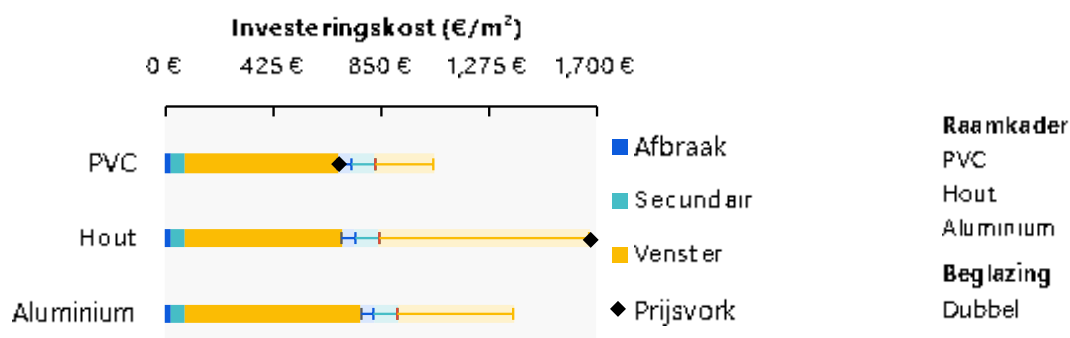
Figuur B.2 Investeringskost (excl. btw) van de buitenisolatiestrategieën voor het plat dak en vervanging van dakkoepel met indicatie van de totale prijsvork.

Vloer op volle grond



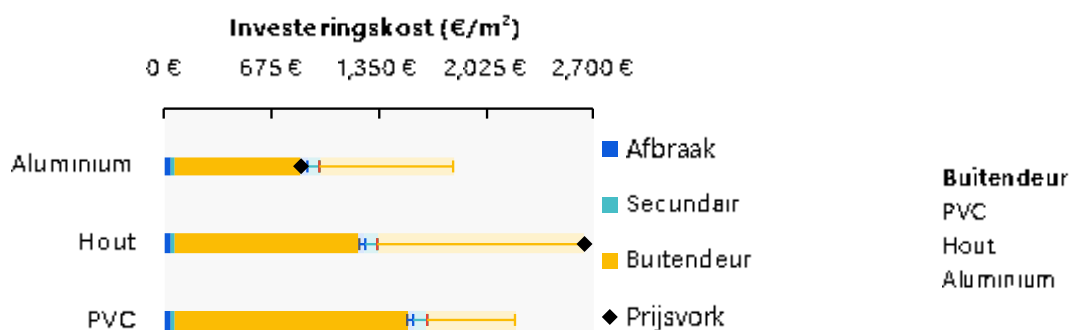
Figuur B.3 Investeringskost (excl. btw) voor het storten van een nieuwe betonplaat en isoleren van de vloer op volle grond met indicatie van de totale prijsvork.

Ramen



Figuur B.4 Investeringskost (excl. btw) voor het vernieuwen van vensters (raamkader en beglazing) met indicatie van de totale prijsvork.

Buitendeur



Figuur B.5 Investeringskost (excl. btw) voor het vernieuwen van de buitendeur met indicatie van de totale prijsvork.

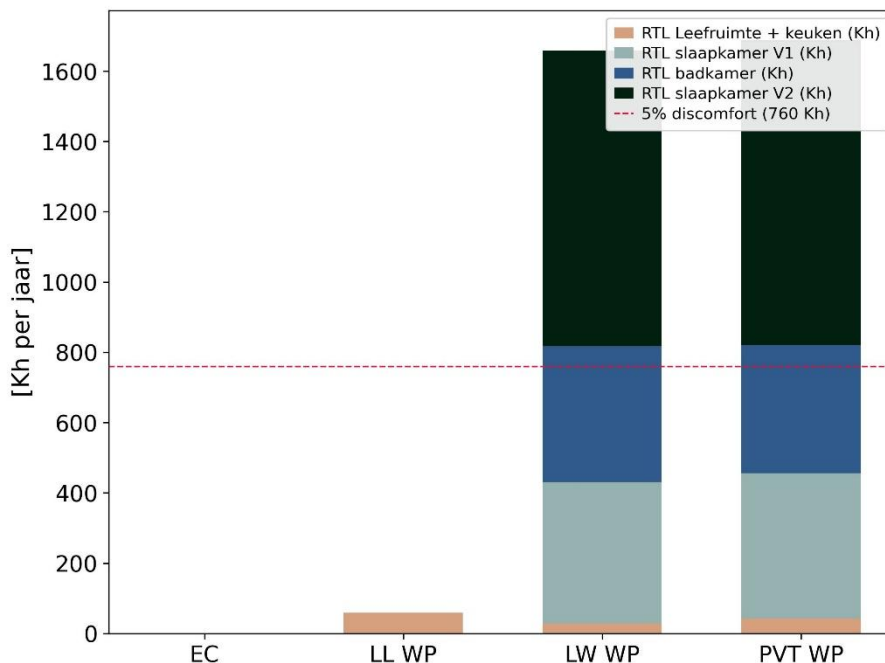
Bijlage C

Inschatting comfort a.d.h.v. KelvinUren (Kh)

Het comfort van de verschillende onderzochte scenario's werd ingeschat op basis van KelvinUren (Kh). Aangezien er met specifieke setpoints gewerkt werd, en er enkel moet worden ingeschat of deze gevraagde temperaturen behaald zijn tijdens de periodes van bezetting, zijn er geen algemene comfortstandaarden gebruikt (Fanger, PMV model...) om het comfort in te schatten. Ter vervanging van deze comfortmodellen is de Room Lack Temperature (RTL) [30] methode gebruikt. De negatieve temperatuurafwijking ($> 1^{\circ}\text{C}$) van de gevraagde setpointtemperatuur wordt vermenigvuldigd met de tijd dat het setpoint niet bereikt is wanneer de ruimte in gebruik is. Er wordt aangenomen dat de RTL-waarde lager moet zijn dan het equivalent van 1K afwijking voor 5% van de bezette tijd, wat overeenkomt met 760Kh voor het gebruikte bezettingsprofiel.

Basisanalyse

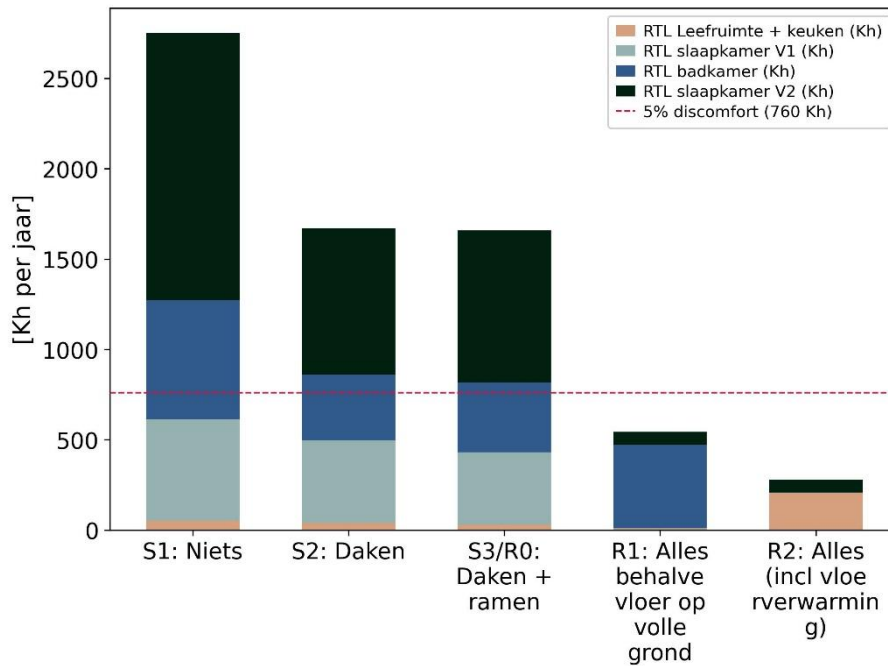
Bij de analyse van de vier verschillende configuraties van technische installaties (Figuur C.1), valt op dat de EC's en LLWP significant beter scoren dan de LW WP en PVT WP op vlak van comfort. Dit is voornamelijk te wijten aan de thermostaatregeling van de LW WP en PVT WP waarbij er enkel verwarmd wordt als er warmtevraag is in de leefruimte. Het comfort in de leefruimte kan met deze regeling quasi altijd gewaarborgd worden, maar in de andere ruimtes niet. Voor de badkamer heeft deze regeling vooral in het tussenseizoen een impact: op de momenten dat er (bijna) geen verwarming meer nodig is om de comforttemperatuur van 20°C in de leefruimte te behalen, kan de badkamer wel verwarming nodig hebben om 24°C te halen, terwijl ze dus niet verwarmd kan worden. Daarnaast speelt ook de traagheid van het radiatorsysteem een rol.



Figuur C.1 Inschatting van het comfort voor de vier verschillende configuraties met technische installaties.

Invloed isolatiegraad

Figuur C.2 toont aan dat het comfort sterk verbetert als de isolatiegraad stijgt, ondanks het hogere opwarmvermogen dat is ingerekend bij de minder goed geïsoleerde cases. Daarnaast zorgt de elektrische badkamerconvector in R2 ervoor dat er geen discomfort meer voorkomt in de badkamer, aangezien deze niet afhankelijk is van de thermostaatwerking in de leefruimte.



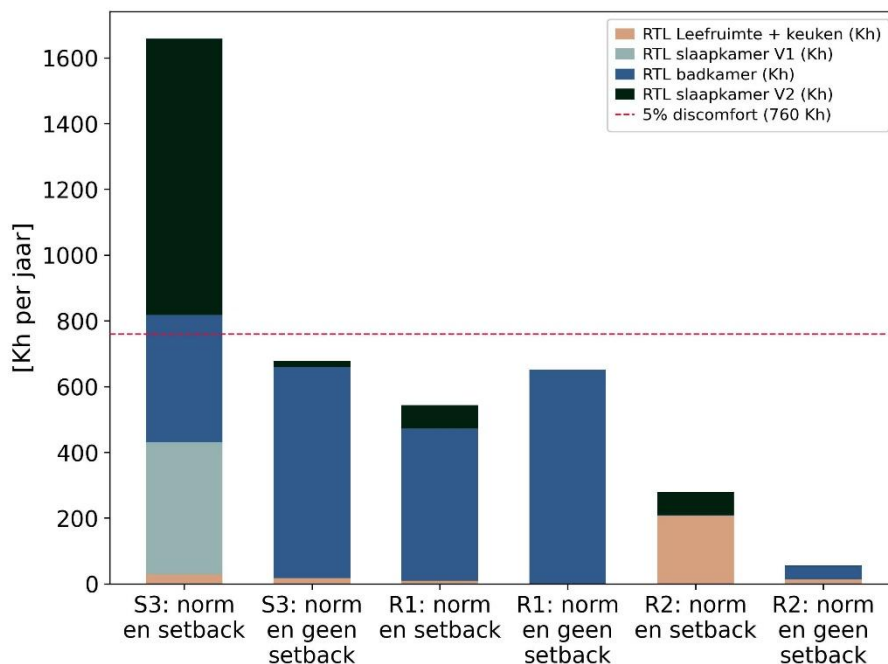
Figuur C.2 Inschatting van het comfort voor de verschillende onderzochte isolatiegraden.

Invloed alternatieve dimensionering

Invloed setbacktemperatuur

Het weglaten van de setbacktemperatuur (Figuur C.3) heeft een sterk positieve impact op het totale comfort bij S3 en R2. Het badkamercomfort bij S3 en R1 wordt echter slechter, te wijten aan de thermostaatwerking van de radiatoren. Hierdoor verslechtert het totale comfort bij R1 ook als de setbacktemperatuur wordt weggelaten, aangezien het comfort hier voornamelijk afhangt van de badkamer.

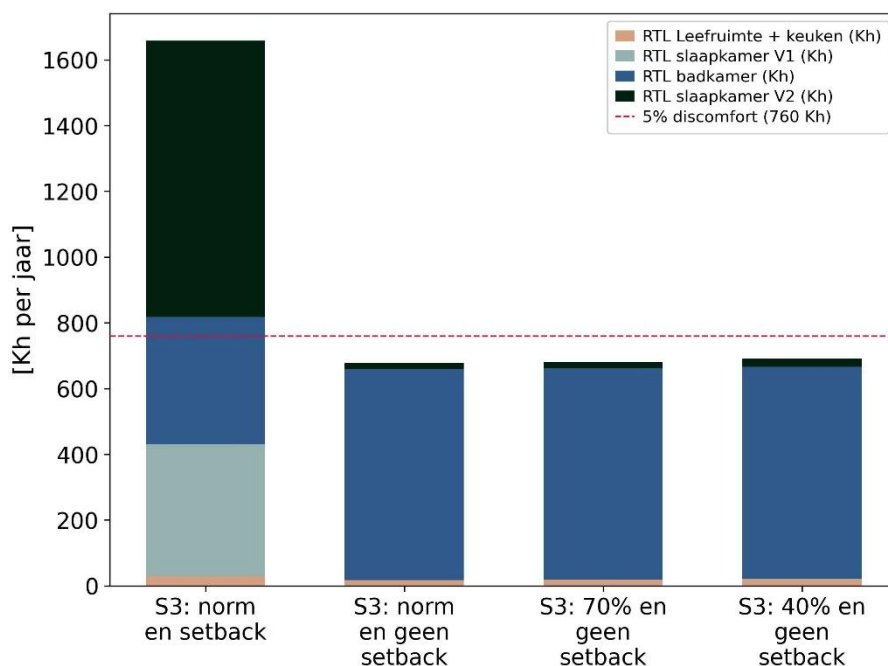
Bij R2 valt dit effect weg door het gebruik van een EC in de badkamer. Het comfort in de leefruimte wordt quasi altijd gehaald als er geen setbacktemperatuur is ingesteld.



Figuur C.3 Inschatting van het comfort bij het weglaten van de setbacktemperatuur, vergeleken met het wel implementeren van een setbacktemperatuur bij een LW WP.

Invloed onderdimensionering warmtepomp

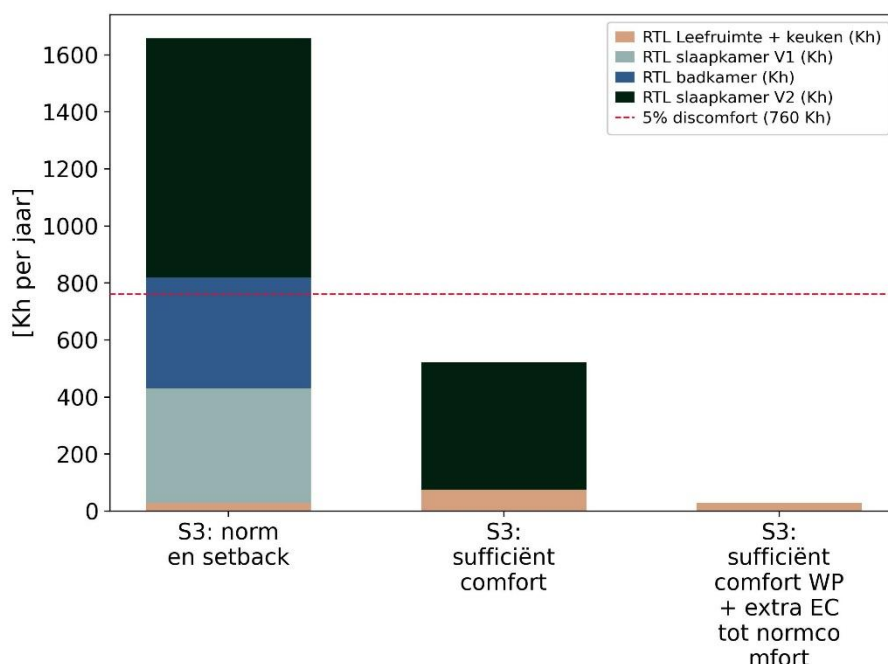
Figuur C.4 toont aan dat het onderdimensioneren van de LW WP een verwaarloosbare impact heeft op het behalen van de gewenste setpointtemperaturen.



Figuur C.4 Inschatting van het comfort bij het onderdimensioneren van een warmtepomp, indien er geen setbacktemperatuur wordt ingesteld.

Invloed suffiënt comfort

Figuur C.5 toont aan dat de gewenste setpointtemperatuur bijna altijd behaald wordt bij de configuratie voor suffiënt comfort. De EC in de badkamer zorgt ervoor dat er geen discomfort is in de badkamer. De 10°C in de bovenste slaapkamer wordt niet altijd gehaald, maar dit blijft nog binnen de 5% discomfort grens. Wanneer de configuratie voor suffiënt comfort zou worden aangevuld met EC tot het normcomfort, komt er quasi geen discomfort meer voor in de woning.



Figuur C.5 Inschatting van het comfort bij een suffiënt comfort.

Bijlage D

Implementatie in twee bezochte woningen

Twee woningen werden opnieuw bezocht in het bijzijn van een ervaren koeltechniker en gebruikt als voorbeeld om de richtlijnen voor implementatie uit sectie 4.5 te vertalen naar de realiteit voor elk van de beschouwde technische installaties (EC, LL WP, LW WP en PVT WP). Een woning met doorsnedetype D1Aa en een woning met doorsnedetype D2Aa werden geselecteerd. De woning met doorsnedetype D1Aa wordt getoond in Figuur D.1. Het hoofdgebouw heeft een diepte van 4 meter en de aanbouw een diepte van 4 meter op het gelijkvloers en 2 meter op de eerste verdieping. De bewoonbare oppervlakte bedraagt ca. 72 m². Figuur D.2 toont de grondplannen van de tweede bezochte woning met doorsnedetype D2Aa. Het hoofdgebouw heeft een diepte van 8 meter, een aanbouw van 4 meter op het gelijkvloers en een aanbouw van 2 meter op de eerste verdieping. De woning heeft een bewoonbare oppervlakte van ca. 118 m. Een voorstel voor de plaatsing van de technische installaties en het leidingverloop worden besproken in de volgende secties.

Woning met doorsnedetypologie D1Aa

Deze woning heeft volgens de analyse in sectie 4.5.1.2 onvoldoende gunstig georiënteerd dakoppervlak voor een PVT-installatie, ongeacht de warmtevraag. Het PVT-scenario is daarom niet mogelijk en wordt niet beschouwd. De woning beschikt wel over een aanbouw met plat dak, waarop een buitenunit geplaatst kan worden. Aangezien de gevelbreedte van de woning 4 m bedraagt, wordt de buitenunit telkens op minder dan 2 m van de perceelgrens geplaatst. Dit vereist een omgevingsvergunning 'Bouwen' en een analyse van de akoestiek. Op basis van de analyse in 4.5.1.1 is een omkasting noodzakelijk bij isolatiegraad 'S3: dak en ramen', maar niet bij 'R2: alles'.

De woning is momenteel uitgerust met een doorstromer condenserende gasketel in de keuken op het gelijkvloers, grenzend aan de gevel aan de straatkant. Bij de vervanging van de gasketel door een lucht-water warmtepomp is het niet mogelijk om een binnenunit met geïntegreerd sanitair warmwatervat te plaatsen op dezelfde plaats als de gasketel, vermits die momenteel in de keukenkasten weggewerkt is. Daarom wordt voorgesteld om enkel de binnenunit te monteren op de plaats van de huidige gasketel en te werken met een afzonderlijk sanitair warmwatervat, wat de mogelijkheid geeft om deze op een geschiktere plaats in de woning te voorzien. In de bezochte woning is het technisch mogelijk om het sanitair warmwatervat in de kamer op de eerste verdieping te plaatsen, ten koste van beschikbare woonruimte. Een afgewerkte of ingebouwde kast van 60x60 is dan nodig voor een sanitair warm water vat en eventueel een buffervolume van 40 tot 80 liter. Hetzelfde volume kast is nodig voor een elektrische boiler in het geval van een lucht-lucht warmtepomp of elektrische convectoren. Om de afstand van de buitenunit tot de binnenunit te overbruggen wordt voorgesteld om koel- of waterleidingen te laten binnenkomen in de slaapkamer onder het dak en de leidingen vervolgens in een kabelgoot richting de straatkant en finaal naar beneden te laten lopen. De woning is momenteel uitgerust met radiatoren. Een analyse van de huidige radiatoren is nodig om te bepalen of vervanging nodig is.

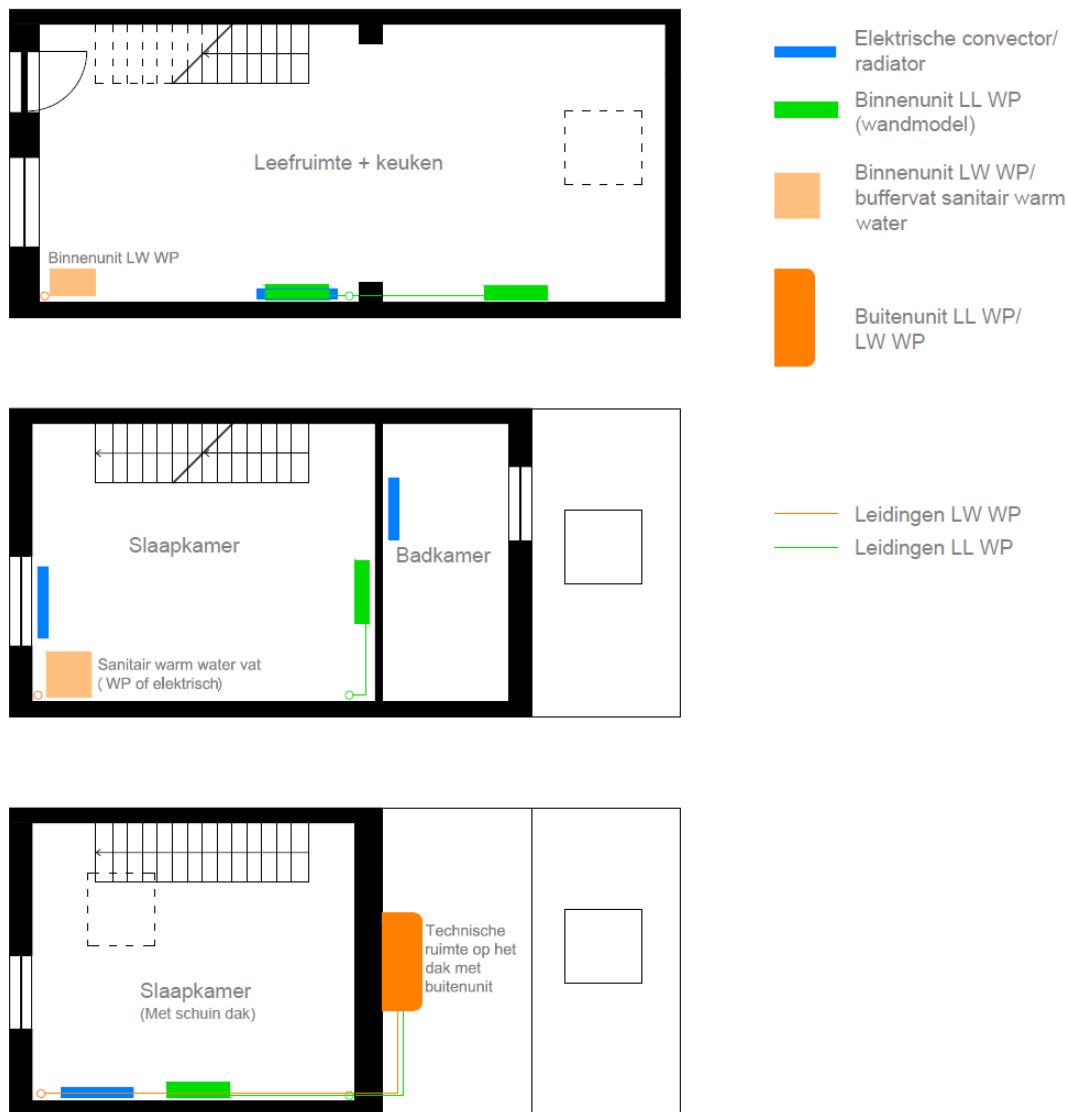
Bij de plaatsing van een lucht-lucht warmtepomp worden in elke kamer binnenunits geplaatst en verbonden met de buitenunit. De exacte locatie is een afweging tussen esthetiek, resulterende luchtstromen en het beperken van leidinglengten. Een voorstel wordt gedaan in Figuur D.1.

De plaatsing van elektrische convectoren is overal mogelijk, op voorwaarde dat er een elektrische aansluiting op een aparte kring beschikbaar is. De draadschema's van de woningen werden niet opgevraagd. Het voorstel voor de plaatsing van de elektrische convectoren is dus onder voorbehoud van de aanwezigheid van deze aansluitingen.

De bezochte woning beschikt over een hoofdzekering van 40 A, een één-fasige aansluiting en een digitale meter. Dit resulteert in een elektrisch vermogen van 9.2 kVA (230V x 40A). Wanneer er 3.5 tot 5 kVA wordt gereserveerd voor huishoudelijk gebruik, is er een resterend elektrisch vermogen voor de warmtepomp of elektrische convectoren van 4.2-5.7 kVA. Het maximaal opgenomen elektrische

vermogen van de warmtepomp hangt af van de capaciteit van de warmtepomp en de elektrische back-up verwarming, en wordt weergegeven in de technische fiche. Deze ligt omwille van de COP van een warmtepomp lager dan het thermisch vermogen van de warmtepomp, waardoor 4.2-5.7 kVA voldoende is voor warmtepompen tot 10 kW (wat in deze studie als bovengrens beschouwd wordt voor warmtepompen bij 'S3: dak en ramen'). Wanneer er een warmtepomp geïnstalleerd wordt, moet de aansluiting dus niet versterkt worden. Wel moeten er extra zekeringen bijgeplaatst worden in zekeringenkast van de bezochte woning, en moet de elektrische installatie opnieuw gekeurd worden.

Bij elektrische convectoren is het nodig de aansluiting te versterken wanneer de warmtevraag in de woning meer dan 4.2-5.7 kVA bedraagt. Om zowel energiekosten als kosten voor de versterking van de aansluiting te vermijden of verminderen, is het bij deze belangrijk om de warmtevraag te verminderen met energetische maatregelen.



Figuur D.1 Grondplannen van de voorbeeldwoning met typologie D1Aa.

Woning met doorsnedetypologie D2Aa

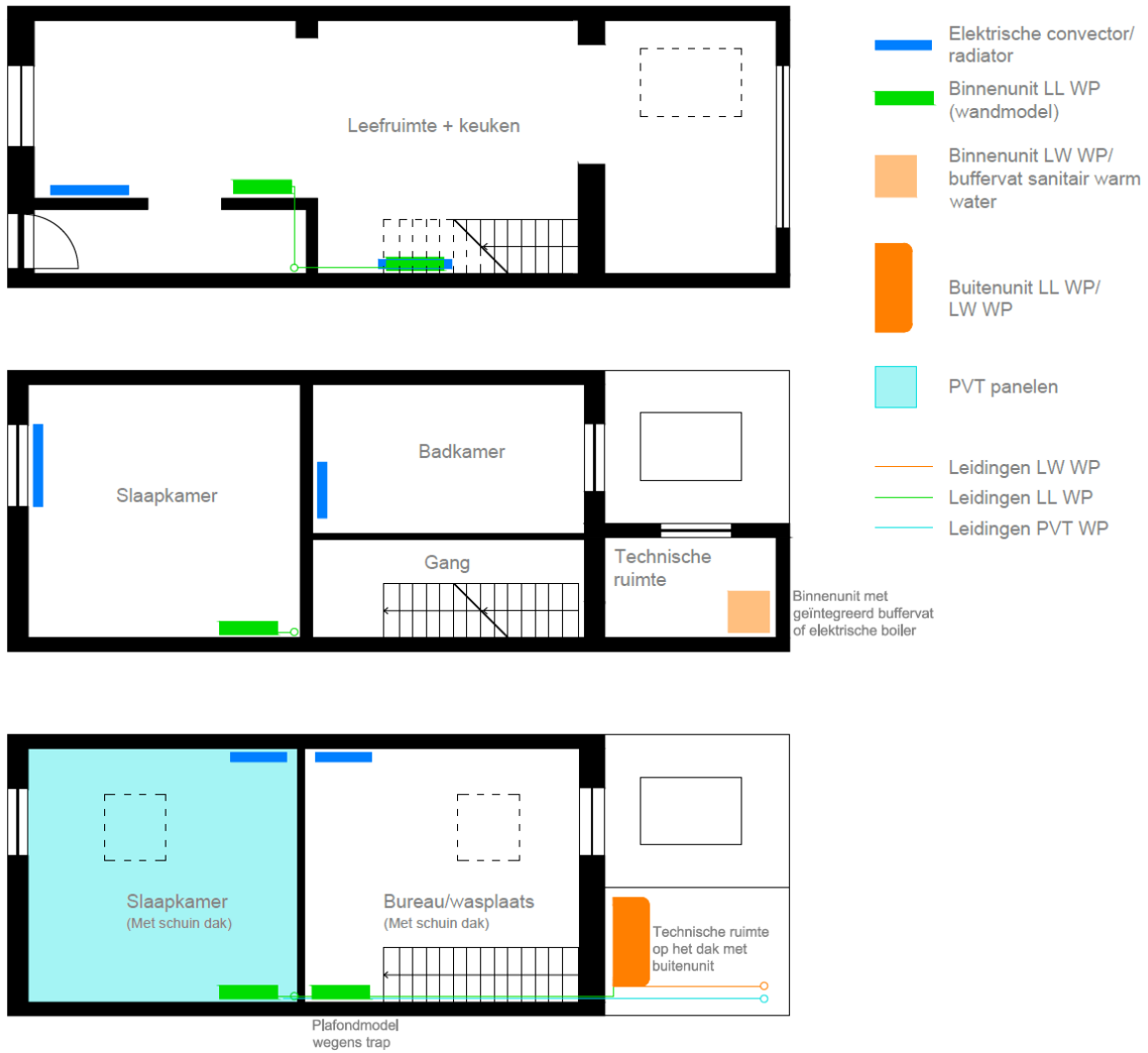
De woning met doorsnede D2Aa heeft een dakoppervlak van ca. 15 m² met zuidoost oriëntering aan de voorgevel, wat het gebruik van PVT-panelen mogelijk maakt bij een warmtevraag van 5 kW of minder bij -10 °C. De woning beschikt niet over een digitale meter, waardoor het benodigd thermisch vermogen niet rechtstreeks afgelezen kan worden. Beschikbare facturen duiden op een jaarlijks gasgebruik van 3500 kWh, wat duidt op een laag energiegebruik en goede isolatie. Op basis hiervan lijkt het PVT-WP

scenario een optie. Verder beschikt de woning over een plat dak boven de technische ruimte, wat de installatie van een buitenunit mogelijk maakt. Opnieuw is de gevelbreedte slechts 4 m, wat een omgevingsvergunning 'Bouwen' en een analyse van de akoestiek vereist. Op basis van de analyse in 4.5.1.1 is een omkasting steeds nodig aangezien de warmtepomp erg dicht bij de perceelsgrens zou komen door de smalle uitbouw waarop ze geplaatst kan worden.

Ook deze woning is momenteel uitgerust met een doorstromer condenserende gasketel, die zich in de aanbouw op de eerste verdieping bevindt. Deze aanbouw fungeert als technische ruimte en berging. Dit maakt een één-op-één vervanging van de gasketel door een (split unit of monoblock) lucht-water warmtepomp mogelijk, waarbij gewerkt kan worden met een binnenunit met geïntegreerd buffervat. De extra benodigde ruimte voor de module met geïntegreerd buffervat, eventueel extra buffervat van 40 tot 80 liter voor kleine hydraulische systemen en eventuele omvormer (bij PVT WP) is ten koste van bergingruimte in de woning. Omwille van de nabijheid van de buitenunit in het geval van een lucht-water warmtepomp, zijn de kosten voor het wegwerken van de leidingen minimaal. In het geval van een PVT-systeem met water-water warmtepomp moeten de kabels voor de elektrische aansluiting en de leidingen van het hydraulisch circuit wel weggewerkt worden, vermits de panelen op het dak aan de voorgevel geplaatst worden. De woning is momenteel uitgerust met radiatoren. Een analyse van de huidige radiatoren is nodig om te bepalen of vervanging nodig is.

Bij de installatie van een lucht-lucht warmtepomp worden in elke ruimte binnenunits voorzien, die verbonden zijn met een buitenunit. Een voorstel hiervoor is weergegeven in Figuur D.2. Deze bevat ook een voorstel voor de plaatsing van elektrische convectoren. Aangezien de draadschema's van de woningen niet werden opgevraagd, blijft het voorgestelde plaatsingsplan voor de convectoren onder voorbehoud van de effectieve aanwezigheid van deze aansluitingen.

Ook deze woning beschikt over een hoofdzekering van 40 A en een eenfasige aansluiting. De lezer wordt daarom verwezen naar de bespreking van de elektrische installatie van de woning met typologie D1Aa.



Figuur D.2 Grondplannen van de voorbeeldwoning met typologie D2Aa.