



Onderzoek naar de kostenoptimale niveaus bij renovatie van residentiële gebouwen

Maart 2023

Christina Protopapadaki

Maarten De Groote

Birgit Vandavelde

Jan Verheyen

Marijke De Meulenaer

Mieke Deurinck

VITO/Energyville

VITO NV | Boeretang 200 | 2400 Mol

EnergyVille I | Thor Park 8310 | 3600 Genk

VEKA

Vlaams Energie- en Klimaatagentschap

Koning Albert II-laan 20 /17 | 1000 Brussel

DISCLAIMER

De berekeningen in dit rapport werden opgesteld door de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), en zijn een weerslag van een onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek op basis van de stand van de kennis van wetenschap en techniek beschikbaar bij VITO op het moment van het onderzoek.

Het rapport zelf en de daarin vervatte analyse van de berekeningen en conclusie werd opgesteld door het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA).

Alle intellectuele eigendomsrechten, waaronder het auteursrecht, op dit rapport berusten bij VITO en VEKA en dit rapport kan zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO en VEKA niet geheel of gedeeltelijk worden gereproduceerd of publiek verspreid.

VITO en VEKA zijn niet aansprakelijk voor het gebruik dat wordt gemaakt van het rapport of van de informatie vervat in het rapport. Bovendien kan elk commercieel gebruik van de informatie vervat in het rapport het verwerven van een voorafgaande toestemming van de eigenaar van deze informatie vereisen.

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding.....	4
2	Methodologie.....	5
2.1	Deeltaak 1: Selecteren van de referentiegebouwen	5
2.2	Deeltaak 2: Selectie te onderzoeken maatregelen.....	5
2.3	Deeltaak 3: Berekening van energieprestatie.....	6
2.4	Deeltaak 4: Berekening van de kosten	6
2.4.1	Totale actuele kost	6
2.4.2	Sensitiviteitsanalyses.....	6
2.5	Deeltaak 5: Analyse van de resultaten en bepaling van de kostenoptimale niveaus.....	6
3	Referentiegebouwen	7
3.1	Eengezinswoningen	7
3.2	Appartementen.....	7
4	Maatregel(en)pakketten	8
4.1	Inleiding.....	8
4.2	Selectie van maatregelen.....	8
4.3	Kostprijs van maatregelen	9
4.3.1	Overzicht kostprijzen per maatregel	9
4.3.2	Onderhoudskosten installaties.....	13
5	Definitie economische parameters.....	14
5.1	Inleiding.....	14
5.2	Totaal Actuele Kost (TAK)	14
5.3	Algemene economische parameters	15
5.3.1	Actualisatietermijn	15
5.3.2	Inflatie.....	15
5.3.3	Rente	15
5.3.4	Discontovoet	15

5.4	Investeringskosten K_I	16
5.5	Totaal energiekosten K_E	16
5.5.1	Energiescenario's.....	16
5.5.2	Berekening totaal geactualiseerde energiekost.....	18
5.6	Totaal geactualiseerde onderhoudskosten K_O	18
5.7	Herinvesteringskosten K_H	19
5.8	Restwaarde V_{Tf}	19
5.9	Subsidies V_{sub}	20
5.10	CO ₂ -emissiekosten K_{CO2}	20
5.11	Sensitiviteitsanalyses	21
6	Resultaten Eengezinswoningen	23
6.1	Paretofront en kostenoptimale niveaus basisscenario	23
6.1.1	Vergelijking per bouwperiode	24
6.1.2	Vergelijking per isolatieniveau	24
6.1.3	Vergelijking per grootte.....	25
6.1.4	Vergelijking per typologie.....	26
6.1.5	Ingrijpende energetische renovaties (IER)	27
6.2	Varianten en sensitiviteitsanalyse	28
6.2.1	Macro-economische analyse.....	28
6.2.2	Discontovoet	29
6.2.3	Energieprijzen.....	31
6.2.4	Geschat energieverbruik	32
7	Resultaten appartementen.....	34
7.1	Paretofront en kostenoptimale niveaus	34
7.2	Varianten en sensitiviteitsanalyse	35
7.2.1	Macro-economische analyse.....	35
7.2.2	Discontovoet	36
7.2.3	Energieprijzen.....	36
7.2.4	Geschat energieverbruik	37
8	Algemeen besluit	38
	Bijlage A: Referentiegebouwen	39
	Bijlage B: Resultaten eengezinswoningen.....	46

1 INLEIDING

De renovatie van bestaande gebouwen vormt een belangrijk onderdeel van de aanpak inzake energie en klimaat. Het bestaande Vlaamse woningenpark is verouderd en in weinige mate energie-efficiënt. Qua nieuwbouw heeft Vlaanderen via de EPB-regelgeving al grote stappen gezet, maar de bestaande bouw blijft achter en de renovatiegraad moet dringend omhoog om de klimaatdoelstellingen voor 2050 te behalen.

In het verleden werden al studies uitgevoerd naar het kostenoptimum voor renovatie, maar deze spitsten zich toe op de EPB-plichtige renovaties en de ingrijpende energetische renovaties. De rapporten van die studies zijn te raadplegen via [EPB-studies | Vlaanderen.be](#). Bij de opmaak van de Vlaamse Langetermijnrenovatiestrategie (zie [Vlaamse langetermijnrenovatiestrategie voor gebouwen 2050 | Vlaanderen.be](#)) beschikte het VEKA echter over onvoldoende gedetailleerde informatie over kostenoptimale oplossingen voor de renovatie van alle bestaande gebouwen.

De Vlaamse Regering heeft in haar Regeerakkoord opgenomen te willen waken over de betaalbaarheid van energie- en klimaatmaatregelen voor burgers. Voor nieuwbouwwoningen is de performantie geregeld via de EPB-regelgeving. Voor de bestaande bouw wordt dit meer en meer ingevuld via het label op het EPC-certificaat. Op dit moment is er gerichte ondersteuning (premies, leningen) voorzien voor renovaties tot een goed label. Sinds 2023 is er ook een renovatieverplichting voor woningen na notariële overdracht.

In uitvoering van artikel 5 van de richtlijn EPBD 2010/31/EU (ongewijzigd bij herziening 2018/844) en ter ondersteuning van de Vlaamse Langetermijnrenovatiestrategie, liet het VEKA dan ook de kostenoptimale niveaus berekenen van renovaties in het algemeen. De nadruk ligt daarbij op het gericht zoeken naar aanpassingen van het paretofront op basis van:

- Evoluties bij de energiebesparende maatregelen (technische eigenschappen, kostprijs);
- Huidige context: energieprijzen, nieuwe kennis over de relatie gemeten-berekend verbruik;
- Relevant beleid, met name maatregelen rond uitfasering stookolie en aardgas, mogelijke aanpassingen PEF elektriciteit.

Deze studie is uitgevoerd volgens de methode vastgelegd in de gedelegeerde verordening nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012.

Het **hoofddoel** van deze opdracht is het bepalen van de kostenoptimale en de kostenefficiënte niveaus voor de renovatiewerken aan bestaande residentiële gebouwen. Dit gebeurt door een de totale kosten in detail te berekenen (zoals gedefinieerd in de gedelegeerde verordening nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012) en deze totale kosten te plaatsen t.o.v. het totale primaire energieverbruik, berekend volgens de methode voor bestaande residentiële gebouwen (EPC-rekenmethode), van een aantal energiebesparende maatregelen en/of maatregelenpakketten die op een set van referentiegebouwen en gebouwonderdelen worden toegepast.

2 METHODOLOGIE

Dit hoofdstuk bespreekt kort de gevolgde methodologie van deze studie, volgens de Europese verordening nr. 244/2012 en de bijhorende leidraad. Deze bevat in een eerste fase de selectie van een representatieve set referentiewooneenheden. Vervolgens worden in een tweede fase de te onderzoeken maatregelen geselecteerd. Tenslotte worden deze maatregelpakketten toegepast op de set referentiewoningen en worden de totale kosten bepaald.

2.1 Deeltaak 1: Selecteren van de referentiegebouwen

Voor de bepaling van de referentiegebouwen wordt verder gewerkt met de 135 types die werden doorgerekend voor de recente position paper van VITO/EnergyVille 'De snelste weg naar A: optimale renovatiemaatregelen in het kader van de Vlaamse 2050 doelstellingen voor woningen'¹.

Deze 135 representatieve woningen worden aangevuld met twee types appartementen, waarvan één representatief voor de ingesloten appartementen en één representatief voor de blootgestelde appartementen.

2.2 Deeltaak 2: Selectie te onderzoeken maatregelen

We vertrekken van het maatregelenpakket dat deel uitmaakt van piste 1 van het tweesporenbeleid van de langetermijndoelstelling voor het bestaand gebouwpark². Deze bevat voor de verschillende elementen van de gebouwschil een streefwaarde voor de U-waarde en bevat ook richtlijnen voor de te gebruiken installaties.

Dit maatregelenpakket is als volgt samengesteld:

1. maximale U-waarden voor de gebouwschil:

- Daken en plafonds, muren en vloeren: $U_{\max} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- Vensters (profielen en beglazing): $U_{\max} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- Deuren en poorten (met inbegrip van kader): $U_{\max} = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$;

2. een energie-efficiënte verwarmingsinstallatie die bestaat uit:

- condensatieketel of;
- (micro)WKK of;
- verwarmingssysteem op basis van een hernieuwbare energiebron (warmtepomp, ...) of;
- decentrale verwarmingstoestellen met een totaal maximaal vermogen 15 W/m^2 of;
- aangesloten op een efficiënt warmtenet.

Er worden minimaal 20 pakketten samengesteld uit combinaties van bovenstaande maatregelen, aangevuld met meer ambitieuze maatregelen, zoals bijvoorbeeld de plaatsing van een PV-installatie. De combinaties voor de pakketten worden bepaald in overleg met VEKA. Er worden tenminste pakketten opgenomen die tot label D kunnen leiden net als pakketten die een renovatie van minimaal 75% van de schil in combinatie met de vervanging van de opwekker omvatten, nl. het ingrijpende energetische renovatie pakket (IER). Specifiek voor dit IER-pakket zal onderzocht worden welke combinatie van maatregelen hieraan voldoen.

¹ [Position Paper: De snelste weg naar A: Optimale renovatiemaatregelen in het kader van de Vlaamse 2050 doelstellingen voor woningen | EnergyVille](#)

² [De langetermijndoelstelling tegen 2050 voor de Vlaamse woningen | Vlaanderen.be](#)

2.3 Deeltaak 3: Berekening van energieprestatie

De energieprestatie moet voor de verschillende woningen en maatregelpakketten worden bepaald volgens de EPC-methodologie. Hiervoor wordt gewerkt met de EBECs-tool³ die compatibel is met de EPC-methodologie.

De energieberekening resulteert in:

- Finaal en primair energieverbruik voor:
 - Verwarming;
 - Sanitair warm water;
 - Koeling;
 - Ventilatie.
- Jaarlijks primair energieverbruik in kWh/m²;
- Bijhorend EPC-label;
- U-waarden van de verschillende bouwdelen;

2.4 Deeltaak 4: Berekening van de kosten

2.4.1 Totale actuele kost

Eenmaal dat de energiebesparende maatregelen zijn geselecteerd en het energieverbruik van de woning is berekend, kunnen de economische en ecologische resultaten worden bepaald. De definities en randvoorwaarden die voor de berekening van de levenscycluskost nodig zijn, worden opgesomd in Hoofdstuk 0.

De belangrijkste economische doelvariabele is de Totaal Actuele Kost (TAK) of de levenscycluskost van de woning over de actualisatietermijn. Die omvat investeringskosten, energiekosten, onderhoudskosten, herinvesteringskosten en de restwaarde van het gebouw. Deze wordt zowel vanuit een macro-economisch (maatschappelijk) als een micro-economisch (individueel) standpunt benadert.

2.4.2 Sensitiviteitsanalyses

Het doel van de sensitiviteitsanalyse is het identificeren van de invloed van een aantal aannames voor parameters, die vast bepaald werden in de bovenstaande berekening, op de resultaten van de berekeningen.

In deze studie wordt een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd op de discontovoet, de evolutie van de energieprijzen en de impact van het geschat energieverbruik.

2.5 Deeltaak 5: Analyse van de resultaten en bepaling van de kostenoptimale niveaus

Per wooneenheid wordt, op basis van de resultaten van deeltaak 3 en 4, een grafiek opgemaakt waarbij de totale actuele kosten worden uitgezet ten opzichte van het jaarlijkse primaire energieverbruik in kWh/m². Op deze grafieken wordt dan telkens een paretofront bepaald en het kostenoptimale niveau aangeduid, dat leidt tot de laagste totale kosten over de berekeningsperiode.

Op basis van deze grafieken en rekening houdend met de verschillende scenario's worden de belangrijkste inzichten door het VEKA in dit rapport opgenomen. De analyses gebeuren door het VEKA op de door VITO/Energyville aangeleverde resultaten.

³ <https://www.energyville.be/en/research/ebecs-tool>

3 REFERENTIEGEBOUWEN

3.1 Eengezinswoningen

VITO/Energyville wilde in haar paper 'De snelste weg naar A'⁴ een beeld krijgen van de renovaties die in Vlaanderen nodig zijn om te voldoen aan de doelstellingen voor 2050. De analyse maakte gebruik van alle beschikbare gegevens in de EPC-databank (versie 2016).

In lijn met de methodologie uit het TABULA-project⁵ werd de dataset ingedeeld in 15 categorieën, op basis van typologie en bouwjaar. Het betreffen drie typologieën: open, halfopen en gesloten bebouwing. De bouwjaren werden ingedeeld in 5 groepen: < 1946, 1946-1970, 1971-1990, 1991-2005 en 2006-2012. De laatste groep bevat relatief recente woningen die al onderhevig waren aan de energiewetgeving die van kracht is sinds 2006, maar desondanks meestal nog geen A-label halen. Woningen vanaf 2012 halen doorgaans wél al een A-label en laten we bijgevolg buiten beschouwing.

Binnen deze 15 categorieën werd nog een grote variatie aan grotere en kleinere woningen vastgesteld, al dan niet (deels) gerenoveerd. Daarom werd elke categorie verder opgesplitst in drie groottes (klein, middelmatig en groot) en drie isolatiegraden (laag, middelmatig en hoog), wat leidt tot negen subcategorieën.

Op die manier worden 135 representatieve woningen verkregen. Deze representatieve eengezinswoningen werken met gemiddelde waarden van de specifieke subsets van de energieprestatiedatabank en vertegenwoordigen dus geen werkelijke woningen. Met een subset wordt bedoeld woningen van een bepaald type (vrijstaand, halfopen, gesloten), uit een bepaalde bouwjaarcategorie, van een bepaald isolatieniveau en een bepaalde grootte.

De belangrijkste eigenschappen van deze woningen zijn opgenomen in bijlage A.

3.2 Appartementen

De bestaande set eengezinswoningen wordt aangevuld met twee types appartementen, waarvan één representatief voor de ingesloten appartementen en één representatief voor de blootgestelde appartementen.

Voor de appartementen werd een aangepaste werkwijze gevolgd, waarbij ingesloten en blootgestelde appartementen werden geïdentificeerd in de EPC-databank (versie 2016). Als ingesloten appartement werd daarbij verondersteld dat het appartement geen vloer- of dakoppervlak als verliesoppervlakte heeft, en dat de verhouding van gevel tot vloeroppervlakte kleiner is dan 0.3, wat een inschatting is voor appartementen met maar één geveldeel grenzend aan de buitenomgeving. Analooq werd voor blootgestelde appartementen gezocht naar appartementen die geen vloer als verliesoppervlakte hebben, maar wel een dak (of plafond). Gezien we bij deze appartementen uitgaan van minstens drie gevels grenzend aan de buitenomgeving, werd gefilterd op een verhouding van verliesoppervlakte van de gevel ten opzichte van de bruikbare vloeroppervlakte van minstens 1. Vervolgens werden op deze twee subsets opnieuw de gemiddelden berekend voor de nodige geometrische kenmerken.

Deze zijn bijkomend opgesplitst volgens drie isolatieniveaus, net zoals bij de eengezinswoningen.

De belangrijkste eigenschappen van deze appartementen zijn opgenomen in bijlage A.

⁴ [Position Paper: De snelste weg naar A: Optimale renovatiemaatregelen in het kader van de Vlaamse 2050 doelstellingen voor woningen | EnergyVille](#) Hoofdstuk 2.3

⁵ "EPISCOPE and TABULA Website." <https://episcope.eu/welcome/>

4 MAATREGEL(EN)PAKKETTEN

4.1 Inleiding

Er wordt een selectie gemaakt van maatregelen, vertrekkend van de maatregelen doorgerekend in de paper 'De kortste weg naar A'.

In samenspraak met VEKA werden die maatregelen bijgestuurd om ze dichter bij het maatregelpakket van de langetermijndoelstelling te brengen. Er werd daarbij ook rekening gehouden met conclusies uit eerdere studies naar kostenoptimale renovaties⁶. Er werden ook bijkomende maatregelen gedefinieerd.

4.2 Selectie van maatregelen

Bij het maatregelpakket van de langetermijndoelstelling 2050 wordt er gefocust op de schil en op de verwarmingsinstallatie. Dit leidt tot volgende onderzochte maatregelen:

- | | |
|--|---|
| 1. Dakisolatie intern: isolatie tussen bestaande structuur | $U = 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 2. Dakisolatie extern: inclusief vervanging van dakbedekking | $U = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 3. Buitengevelisolatie: | $U = 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 4. Spouwmuurisolatie: alleen voor bouwperiode 1971-1990 | $U = 0.55 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 5. Keldervloerisolatie: alleen voor eengezinswoningen. | $U = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 6. Vervanging vensters: glas en kader met hoogrendementsbeglazing | $U_w = 1.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 7. Gasketel: condenserende gasketel voor verwarming en SWW | $\eta_{\text{opwekking, ow}} = 102\%$ |
| 8. Warmtepomp: lucht-water warmtepomp voor verwarming en SWW | $\text{SCOP} = 3,57 / \text{COP} = 4,1$ |

Daarnaast werden volgende bijkomende maatregelen geselecteerd:

- | | |
|--|----------------------------------|
| 9. Ventilatiesysteem D: mechanische toe- en afvoer | freduc: 1,
rendement WTW: 75% |
| 10. Ventilatiesysteem C+:
enkel in combinatie met vervanging vensters voor plaatsing toevoerroosters | freduc: 0.65 |
| 11. Fotovoltaïsche zonnepanelen (PV): alleen voor eengezinswoningen
o.b.v. 40% beschikbaar dakoppervlak, aanname zuid gericht. | |

De luchtdichtheid wordt ingerekend op basis van de bijkomende isolatie-ingrepen en dus niet als aparte maatregel. Daarbij wordt de infiltratiewaarde verminderd bij de volgende renovatiestappen, met $3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ als ondergrens:

- Isolatie dak: $-4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$
- Isolatie gevels: $-2,5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$
- Vervangen vensters: $-2,5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$

Alle combinaties van bovenstaande maatregelen worden doorgerekend. De gecombineerde pakketten die voldoen aan de definitie van een ingrijpende energetische renovatie (IER)⁷ worden apart gemarkeerd en apart geanalyseerd.

⁶ Kostenoptimale studies uit 2012 en 2015 via [EPB-studies | Vlaanderen.be](https://www.epb-studies.be)

⁷ [Ingrijpende energetische renovatie \(IER\) \(huidig\) | Vlaanderen.be](https://www.vlaanderen.be/nl/ingrijpende-energetische-renovatie-ier-huidig)

4.3 Kostprijs van maatregelen

Omwille van de huidige volatiele prijzen in de bouwsector werd gekozen om de doorgerekende kosten, gebaseerd op de EPC-kostenstructuur⁸ en geïmplementeerd in de EBECs-tool, te actualiseren naar het niveau voor 2022.

De kosten in de EBECs-tool werden in september 2022 aangepast door toepassing van de ABEX-index. Uit de studie naar de kostenoptimale niveaus bij nieuwbouw van residentiële gebouwen werd vastgesteld dat de ABEX-index een goede weergave is van gemiddelde stijging van bouwkosten.

De kosten omvatten zowel materiaal- als plaatsingskosten. Ontwerpkosten zijn meestal niet als dusdanig gerelateerd aan de renovatiewerken, maar houden vaker verband met geplande verfraaiingswerken of uitbreidingen aan de woning. Deze worden dus niet mee beschouwd.

Aangezien de EBECs-tool rekent met de standaard isolatiewaardes (λ -waarde) die aan de veilige kant zijn, stemt dit overeen met dikkere isolatiediktes per materiaal. De hieronder vermelde kosten voor isolatie zijn dan ook aan de veilige kant.

4.3.1 Overzicht kostprijzen per maatregel

De kostenformules per maatregel zijn gebaseerd op de EPC-methode en kunnen dus teruggevonden worden in de hierboven vermelde documentatie. Omdat er gerekend wordt met referentiewoningen worden bepaalde aannames gedaan om de berekeningen te kunnen uitvoeren met de beschikbare informatie voor de referentiewoningen. Zo wordt de netto oppervlakte gelijk genomen aan de gekende bruto oppervlakte. De toegepaste kostenparameters en aannames worden hieronder weergegeven.

4.3.1.1 Dakisolatie hellend dak intern

De kost voor de isolatie (DIC) stemt overeen met 23 cm minerale wol tussen de dakstructuur. Per 100m² worden er 2 dakvlakvensters ingerekend. Er wordt verondersteld dat er geen dakkapellen aanwezig zijn.

Tabel 1: Kostenparameters dakisolatie hellend dak langs binnen

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
DIB	Afbraak isolerende laag	5,90	€/m ²
DIC	Isolatie (incl. dampscherm)	38,64	€/m ²
DID	Doorvoeren	5,90	€/m ²
DIF	Afwerking dakvlakvensters	7,08	€/m ²

4.3.1.2 Dakisolatie hellend dak extern

De kost voor de isolatie (DEC) stemt overeen met 20 cm PUR/PIR-isolatie aan de buitenzijde. Per 100m² worden er 2 dakvlakvensters ingerekend. Er wordt verondersteld dat er geen dakkapellen aanwezig zijn. Er zijn bij de referentiewoningen geen woningen die al een PV-installatie hebben.

⁸ [Uitleg bij de onderdelen van het 'EPC Residentiële eenheid' | Vlaanderen.be](#). Hoe de prijzen worden berekend en welke eenheidsprijzen worden gehanteerd, staat beschreven in de [rekenmethodiek prijsindicaties voor de energiedeskundigen](#).

Tabel 2: Kostenparameters dakisolatie hellend dak langs buiten

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
DEA	Afbraak dakbedekking	83,26	€/m ²
DEB	Afbraak goten	3,60	€/m ²
DEC	Isolatie (incl. dampscherm)	79,19	€/m ²
DED	Onderdak en dakbedekking	138,88	€/m ²
DEE	Afwerking dakvlakvensters	235,85	€/m ²
DEG	Goten	26,84	€/m ²
DEI	Kraan of hijstoestel	736,08	€

4.3.1.3 Dakisolatie plat dak

Per 100m² worden er 2 dakkoepels ingerekend. De kost voor de isolatie (DPB) stemt overeen met:

- 16 cm PUR/PIR-isolatie bovenop de draagstructuur, in combinatie met hellend dak langs binnen.
- 20 cm PUR/PIR-isolatie bovenop de draagstructuur, in combinatie met hellend dak langs buiten.

Tabel 3: Kostenparameters dakisolatie plat dak

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
DPA	Afbraak isolatielaag	9,43	€/m ²
DPB 16	Isolatie (incl. dampscherm)	68,17	€/m ²
DPB 20	Isolatie (incl. dampscherm)	79,19	€/m ²
DPC	Afdichtingslagen	86,54	€/m ²
DPD	Dakopstanden	90,61	€/m ²
DPE	Afwerking dakkoepels	4,00	€/m ²

4.3.1.4 Buitengevelisolatie

De kost voor de isolatie (MEC) stemt overeen met 16 cm PUR aan de buitenzijde. Voor parameter MED wordt enkel met het goedkoopste afwerkingsmateriaal (buitenpleister) gerekend. Andere afwerkingsmaterialen zoals hout of gevelsteen/steenstrips zorgen dus typisch voor hogere kosten.

Tabel 4: Kostenparameters buitengevelisolatie

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
MEA	Afbraak regenwaterafvoer	1,32	€/m ²
MEB	Afzagen van dorpels	58,96	€/m
MEC	Plaatsing isolatie	54,45	€/m ²
MED	Plaatsing afwerking	176,21	€/m ²
MEE	Aanwerken openingen	83,04	€/m
MEF	Aanwerken doorvoeren	5,90	€/m ²
MEG	Vergroten dakuitsprong	231,12	€/m
MEH	Nieuwe regenwaterafvoer	7,42	€/m ²
MEI	Stelling	16,50	€/m ²

4.3.1.5 Spouwmuurisolatie

Enkel voor bouwperiode '71-'90 wordt de plaatsing van 5 cm minerale wol via inblazen in de spouw ingerekend. De kosten zijn inclusief inspectie, voorbereiding, inblazen en dichten van de inblaasopeningen.

Tabel 5: Kostenparameters spouwmuurisolatie

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
MSA	Inblazen isolatie	23,59	€/m ²
MSB	Hoogtewerker	93,48	€

4.3.1.6 Keldervloerisolatie

De kost voor de isolatie (VAA) stemt overeen met 20 cm PUR/PIR aan de onderzijde. De kosten voor een afwerkingslaag aan de onderzijde, zoals voorzien in de EPC-methode, wordt verwaarloosd.

Tabel 6: Kostenparameters keldervloerisolatie

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
VAA	Plaatsing isolatie	51,09	€/m ²

4.3.1.7 Vervanging vensters

Er wordt enkel rekening gehouden met totale vensteroppervlaktes kleiner dan 100 m². Afbraak bestaande vensters is volledig inbegrepen. De beglazing betreft dubbele hoogrendementsbeglazing.

Ter vereenvoudiging zijn deuren niet gemodelleerd in de EBECs-tool.

Tabel 7: Kostenparameters vensters

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
WF	Plaatsing profielen	400	€/m ²
WGA	Plaatsing beglazing	163	€/m ²

4.3.1.8 Installatie condenserende gasketel

Slechts één centraal verwarmingssysteem wordt gebruikt voor het gehele beschermde volume. De kosten voor het afgiftesysteem zijn enkel van toepassing indien het afgiftesysteem wordt gewijzigd. Standaard wordt bij een gasketel als afgiftesysteem radiatoren aangenomen. Er worden geen niet-geïsoleerde leidingen beschouwd.

Voor de onderzochte woningen volstaat bijna altijd een vermogen van ≤ 35kW.

Tabel 8: Kostenparameters condenserende gasketel

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
RVA	Afbraak bestaande ketel	1,53	€/m ³
RVBB	Plaatsing nieuwe ketel	132,18	€/kW
RVD	Vervanging afgiftesysteem	Zie hieronder	€

Radiatoren

$$RVD=(n_{rad}-1)\cdot 2\cdot RVD_2+RVD_2\cdot 4+n_{rad}\cdot RVD_{rad}$$
$$RVD_{rad}=RVD_0+RVD_1\cdot P_{rad}$$

Met:

- n_{rad} : aantal geplaatste radiatoren
- P_{rad} : vermogen radiator

Tabel 9: Kostenparameters plaatsing radiatoren

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
RVD0	Radiator (vaste kost)	119	€
RVD1	Radiator (variabele kost)	0,27	€/W
RVD2	Uurkost plaatsing	52	€

4.3.1.9 Installatie lucht-waterwarmtepomp

Slechts één centraal verwarmingssysteem wordt gebruikt voor het gehele beschermde volume. De kosten voor het afgiftesysteem zijn enkel van toepassing indien het afgiftesysteem wordt gewijzigd. EBECS selecteert zelf welk afgiftesysteem nodig is op basis van het nodige afgiftevermogen. Aangezien er geen werken aan de vloer worden ingerekend, betreft het enkel radiatoren of convectoren en geen vloerverwarming. Er worden geen niet-geïsoleerde leidingen beschouwd.

Voor de plaatsing van de warmtepomp wordt er gerekend met een vaste kost RVWPP0 en een variabele kost RVWPP1 in functie van het vermogen.

Tabel 10: Kostenparameters lucht-waterwarmtepomp

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
RVA	Afbraak bestaande ketel	1,53	€/m ³
RVWPP0	Warmtepomp (vaste kost)	4275	€
RVWPP1	Warmtepomp (var. kost)	290	€/kW
RVD rad	Afgiftesysteem radiatoren	Zie boven	€
RVD conv	Afgiftesysteem convectoren	Zie hieronder	€

Convectoren

$$RVD=(n_{conv}-1)\cdot 2\cdot RVD_2+RVD_2\cdot 4+n_{conv}\cdot RVD_{conv}$$
$$RVD_{conv}=RVD_0+RVD_1\cdot P_{conv}$$

Met:

- n_{conv} : aantal geplaatste convectoren
- P_{conv} : vermogen convector

Tabel 11: Kostenparameters plaatsing convectoren

Afkorting	Omschrijving	Kostprijs	Eenheid
RVD0	Convactor (vaste kost)	312	€
RVD1	Convactor (variabele kost)	0,53	€/W
RVD2	Uurkost plaatsing	52	€

4.3.1.10 Installatie ventilatiesysteem

Voor de installatie van een volledig werkend ventilatiesysteem (inclusief ventilatie-unit, ventilatiekanalen en ventilatoren) wordt er gerekend met een vaste kost V_0 en een variabele kost V_1 in functie van het beschermd volume.

$$\text{Totale investeringskost (€)} = V_0 + V_1 \cdot \text{beschermd volume}$$

Tabel 12: Kostenparameters ventilatiesystemen

Omschrijving	V0 (€)	V1 (€/m ³)
Systeem C+	4500	3
Systeem D	5500	6

4.3.1.11 Installatie fotovoltaïsch PV-systeem

Bij de installatie van een PV-installatie zijn alle toebehoren inclusief.

$$\text{Totale investeringskost (€)} = PVA \cdot \text{vermogen PV-installatie}$$

Tabel 13: Kostenparameters PV-systemen

Omschrijving	PVA (€/kWp)	PVAmin (€)
PV-installatie	1100	0

4.3.2 Onderhoudskosten installaties

De tabel hieronder toont de onderhoudskosten van de verschillende installaties en hun frequentie zoals meegerekend in deze studie. Deze werden overgenomen uit de studie naar het kostenoptimum voor nieuwbouw van KCE Thomas More.

Tabel 14: Overzicht van de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten van technische installaties over een periode van 30 jaar.

System	Omschrijving en frequentie	Jaarlijkse kostprijs
Ventilatie C	Unit (€206/2j) + kanalen reinigen (€247/8j)	€ 107
Ventilatie C+	Unit (€206/2j) + kanalen reinigen (€256/8j)	€ 108
Ventilatie D & D+	Filters (€33/1j) + Unit (€235/4j) + kanalen reinigen (409/8j)	€ 98
WP BW/LW	Onderhoud (192/2j)	€ 96
WP L/L	Onderhoud (€239/2j) + WPB (€139/2j)	€ 189
Gasketel	Onderhoud (€164/2j)	€ 82
Electrisch	Onderhoud WPB (€139/2j)	€ 70
Zonneboiler	Onderhoud (€175/5j)	€ 35
Pelletketel	Onderhoud (€250/1j)	€ 250
PV	Vaste kost (€50/2j vanaf 5 ^{de} jaar)	€ 22
PV	Onderhoudskost per Wp (€1,5 per paneel van 375Wp/2j vanaf 5 ^{de} jaar)	€ 0,0017

Daarnaast werd nog een onderhoudskost bepaald voor de installaties die in de referentiegebouwen aanwezig zijn, maar die bij nieuwbouw niet meer worden toegepast, namelijk de stookolieketel (200€/jaar) en de gasketel (niet-condenserend, 150€/jaar).

5 DEFINITIE ECONOMISCHE PARAMETERS

5.1 Inleiding

Zoals eerder aangehaald zullen maatregelpakketten toegepast op de referentiegebouwen geëvalueerd worden op basis van de totaal actuele kost binnen een bepaalde actualisatietermijn. Volgende paragrafen lichten toe hoe deze economische factoren worden berekend in de analyse. Deze definities zijn afkomstig uit de gedelegeerde verordening 244/2012⁹ en de bijhorende richtsnoeren¹⁰ die op hun beurt refereren naar de Europese Norm EN15459.

De resultaten van deze studie worden echter in grote mate bepaald door de algemene financiële parameterwaarden en de voor deze parameters beschouwde evolutiescenario's. Een goede onderbouwing van de vooropgestelde parameters is dan ook uiterst belangrijk. In de volgende paragrafen worden deze parameterwaarden en de hiervoor gebruikte bronnen besproken en beargumenteerd.

5.2 Totaal Actuele Kost (TAK)

De Totaal Actuele Kost is een dynamische variabele dewelke de som geeft van alle jaarlijkse kosten en waarden geactualiseerd naar het beginjaar (jaar nul) van de investering aan de hand van de reële marktinterestvoet en de gebruiksduur.

Voor het berekenen van de TAK van een woning/maatregelpakket wordt afhankelijk van een micro- of macro-economische standpunt rekening gehouden met:

- Initiële investeringskosten K_I
- Totaal energiekosten K_E
- Totaal jaarlijkse onderhoudskosten K_O
- Herinvesteringskosten K_H
- Restwaarde van investeringen V_{TF}
- Subsidies V_{SUB}
- CO₂-emissiekosten K_{CO_2}

Bovenstaande kosten en waarden zijn allen geactualiseerd naar het beginjaar volgens de formules in volgende paragrafen, waardoor de Totaal Actuele Kost van een eengezins- of meergezinswoning simpelweg kan worden berekend door de som van deze kosten en waarden.

In geval van een **micro-economische benadering** houden we rekening met alle kosten en baten die de bouwheer heeft gedurende de gebruiksduur:

$$TAK_{\text{micro}} = K_I + K_E + K_O + K_H - V_{TF} - V_{SUB}$$

De kosten zijn hierbij BTW inclusief (zie hieronder).

In geval van een **macro-economische berekening** wordt de formule voor de TAK:

$$TAK_{\text{macro}} = K_I + K_E + K_O + K_H - V_{TF} + K_{CO_2}$$

Prijzen zijn hier exclusief BTW, taksen en subsidies. Belastingen op arbeid, die via het uurloon de eenheidskosten van de maatregelen mee bepalen, zijn wel ingerekend.

⁹ Europese Commissie, Gedelegeerde Verordening (EU) Nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement en de Raad, 2012

¹⁰ Europese Commissie, Richtsnoeren bij Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement (2012/C 115/01), 2012

5.3 Algemene economische parameters

5.3.1 Actualisatietermijn

De berekeningsperiode is in de gedelegeerde verordening vastgelegd op 30 jaar voor residentiële gebouwen. Dit kan ook beschouwd worden als de gebruiksduur T van een gebouw door één gezin.

5.3.2 Inflatie

De toename van het algehele prijsniveau wordt inflatie genoemd, symbool R_I . In een markteconomie zijn de prijzen voor goederen en diensten altijd aan verandering onderhevig, deze veranderingen weerspiegelen wijzigingen op het gebied van vraag en aanbod en in de hoeveelheid geld in de economie en de inflatie is de maat voor de waardevermindering van geld.

5.3.3 Rente

In de particuliere markt kan er voor de marktrentevoet R best gekeken worden naar de rentevoet van de hypothecaire lening met een vaste termijn.

5.3.4 Discontovoet

De actualisatievoet, discontovoet of reële interestvoet R_R wordt uiteindelijk gebruikt voor de berekening van de totale actuele kost. Dit houdt in dat alle toekomstige inkomsten en uitgaven geactualiseerd of verdisconteerd worden naar het jaar van de investering. Geld lenen of beschikbaar stellen heeft immers zelf ook een kost. Als we hiervoor de marktinterestvoet als basis nemen komen we voor een jaarlijks terugkerende kost tot een actuele kost van:

$$AK = \sum_{i=1}^T \frac{K(i)}{\left(1 + \frac{R}{100}\right)^i}$$

Als de toekomstige kosten kunnen geschreven worden i.f.v. de beginkost $K(0)$ en de algemene inflatie R_I krijgen we:

$$AK = \sum_{i=1}^T K(0) \left[\frac{\left(1 + \frac{R_I}{100}\right)^i}{\left(1 + \frac{R}{100}\right)^i} \right]^i$$

of

$$AK = \sum_{i=1}^T K(0) * \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{R_R}{100}\right)^i} \right]^i$$

met R_R gedefinieerd i.f.v. marktinterestvoet R en inflatie R_I als:

$$R_R = \frac{R - R_I}{1 + \frac{R_I}{100}}$$

Conform de Richtsnoeren bij de Gedelegeerde Verordening¹¹ wordt de discontovoet standaard uitgedrukt in reële termen. De prijsevolutie van herinvesteringen, lopende kosten, energiekosten en verwijderingskosten worden dus ook vermeld als werkelijke kosten exclusief inflatie.

Volgens de Richtsnoeren dient deze reële interestvoet minstens een keer gelijk gesteld te worden aan 3 % voor de macro-economische berekeningen. In een sensitiviteit zal ook een lage discontovoet van 1% worden beschouwd, alsook een hogere actualisatievoet van 5%.

¹¹ Europese Commissie, Richtsnoeren bij Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement (2012/C 115/01), 2012

5.4 Investeringskosten K_i

De initiële investering gebeurt in het jaar nul en moet dus niet geactualiseerd worden. Deze investeringskost bevat de kosten voor de toegepaste maatregelen die hun impact kunnen hebben op het energieverbruik zoals isolatie, verwarmingsinstallatie,..., De kosten per maatregel staan hierboven beschreven onder 4.3.4.3

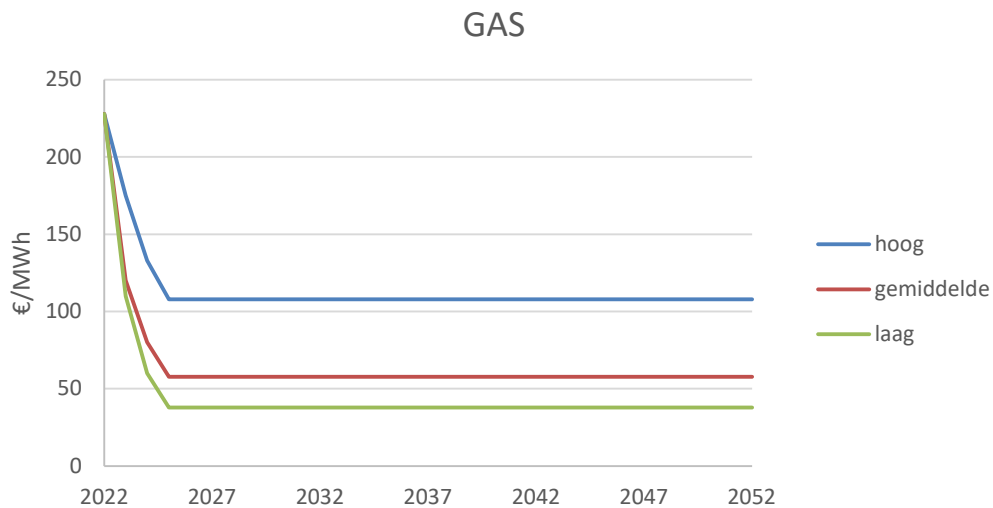
De BTW die toegepast wordt in de micro-economische berekeningen bedraagt voor renovatie 6%, aangezien alle beschouwde gebouwen ouder zijn dan 10 jaar.

5.5 Totaal energiekosten K_E

5.5.1 Energiescenario's

Er wordt gerekend met dezelfde energiekosten als in de studie naar de kostenoptimale niveaus bij nieuwbouw van residentiële gebouwen, uitgevoerd door KCE Thomas More in opdracht van VEKA . Voor de case met bestaande stookolieketel wordt gerekend met een prijs van 1,2€ per liter.

Ter illustratie worden hieronder de samenvattende figuren voor gas en elektriciteit getoond.



Figuur 1: toekomstige prijsevoluties van de energiecomponent van gas over de actualisatietermijn voor drie scenario's (laag, gemiddeld en hoog).

Deze aannames zijn groothandelprijzen. Op basis van tariefformules van diverse energieleveranciers komen de drie verschillende plateaus laag, gemiddeld en hoog overeen met een totale gasprijs van respectievelijk €58/MWh, €80/MWh en €132/MWh excl. BTW. De prijs in 2022 komt overeen met een eindprijs van €256/MWh excl. BTW.

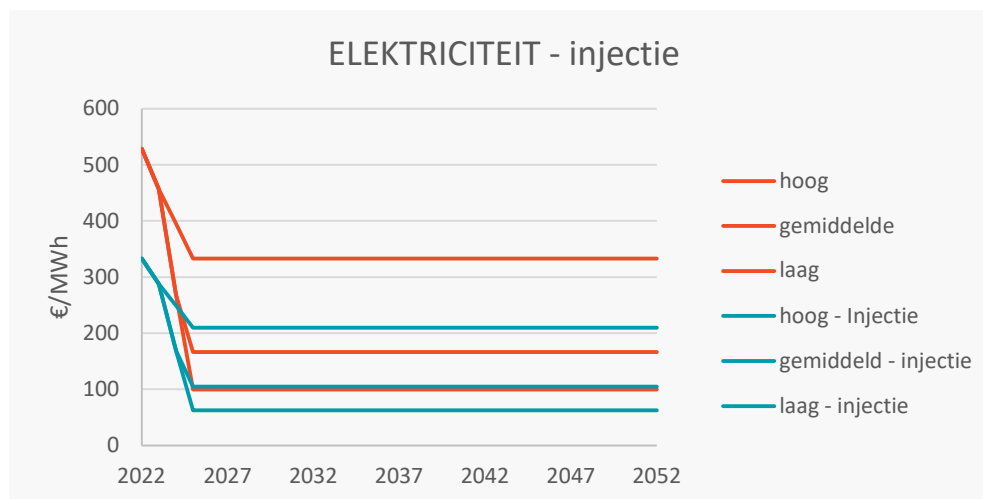
ELEKTRICITEIT



Figuur 2: toekomstige prijsevoluties van de energiegcomponent van elektriciteit over de actualisatietermijn voor drie scenario's (laag, gemiddeld en hoog).

Bij de eindfactuur van de residentiële gebruiker worden ook nog taksen en distributie- en nettarieven ingerekend waardoor zijn rekening er anders uitziet. Wanneer we deze in rekening brengen volgens opbouw van de gemiddelde commerciële elektriciteitsprijs, komen we voor de drie verschillende plateaus laag, gemiddeld en hoog op eindprijzen van respectievelijk €270/MWh, €341/MWh en €518/MWh excl. BTW. De werkelijke elektriciteitsprijs in 2022 was gelijk aan €661/MWh excl. BTW

Voor het berekenen van de injectietarieven (incl. evolutie), werd gerekend met een vast percentage van 63% van de prijs van de energiegcomponent van elektriciteit. Dit levert volgend prijsverloop over de actualisatietermijn, getoond in onderstaande figuur.



Figuur 3: prijsevolutie over actualisatietermijn van het injectietarief – gerekend met een vast percentage van 63%.

Om de hoeveelheid elektriciteit te berekenen die van het net gehaald wordt en terug op het net gestuurd, wordt er rekening gehouden met een coverfactor, d.w.z. de jaarlijks gemiddelde verhouding tussen de geproduceerde energie die je op hetzelfde moment zelf kan verbruiken tot de totale productie. Deze is afhankelijk van heel wat factoren. Voor deze studie wordt uitgegaan van een gemiddelde waarde van 30%¹².

¹² Jaarlijks zelfverbruik voor profiel P1 via [Haal meer uit uw zonnepanelen met zelfverbruik | Vlaanderen.be](https://www.vlaanderen.be/haal-meer-uit-uw-zonnepanelen-met-zelfverbruik)

5.5.2 Berekening totaal geactualiseerde energiekost

Aan de hand van de prijzen en eerder vermelde prijsevoluties kan de jaarlijkse energiekost berekend worden. De som van de geactualiseerde jaarlijkse verbruikskosten K_E , rekening houdend met de energieprijsstijging en de marktinterestvoet, wordt berekend volgens:

$$K_E = K_E(0) * f_{pv}(T)$$

met $f_{pv}(T) = \text{Present value factor}$ gelijk aan:

$$f_{pv}(T) = \frac{1 - \left(1 + \frac{R_{RE}}{100}\right)^{-T}}{\frac{R_{RE}}{100}}$$

en $R_{RE} = \text{energetische reële interestvoet}$ gelijk aan:

$$R_{RE} = \frac{R - R_e}{1 + \frac{R_e}{100}}$$

Met R de marktinterestvoet en R_e de verwachte energieprijsstijging in percentage. Indien deze energieprijsstijging gelijk is aan de inflatie R_i krijgen we terug de eerder gedefinieerde reële interestvoet R_R . Indien de energieprijsstijging relatief t.o.v. de inflatie wordt gegeven als:

$$R_e = R_i \left(1 + \frac{R_{ei}}{100}\right)$$

kunnen we de energetisch reële interestvoet ook beschrijven i.f.v. de reële interestvoet:

$$R_{RE} = \frac{R_R - R_{ei}}{1 + \frac{R_{ei}}{100}}$$

De verwachte energieprijsstijging wordt dikwijls relatief uitgedrukt zodat er rechtstreeks met de reële interestvoet of discontovoet kan gewerkt worden, zoals ook aangegeven in de Richtsnoeren.

De BTW die toegepast wordt in de micro-economische berekeningen bedraagt voor de energieprijzen steeds 6%.

5.6 Totaal geactualiseerde onderhoudskosten K_O

Dit betreft de som van de geactualiseerde jaarlijkse onderhoudskosten dewelke meestal zijn berekend op basis van een percentage van de initiële investeringskost volgens EN15459, zie 4.3.2. Wanneer de stijging van de onderhoudskosten de algemene inflatie goed volgt over de periode van de actualisatietermijn T , kan de geactualiseerde som bepaald worden als:

$$K_O = \sum_{i=1}^n K_O(0) * \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{R_R}{100}\right)} \right]^i$$

Aangezien het hier over een jaarlijkse terugkerende kost gaat kunnen we de formule ook vereenvoudigen tot:

$$K_O = K_O(0) * f_{pv}(T)$$

met $f_{pv}(T) = \text{Present value factor}$ die bij aanname van een jaarlijkse kostenstijging gelijk aan de inflatie kan gelijk gesteld worden aan:

$$f_{pv}(T) = \frac{1 - \left(1 + \frac{R_R}{100}\right)^{-T}}{\frac{R_R}{100}}$$

5.7 Herinvesteringskosten K_H

De totale actuele vervangingskost is gedefinieerd als de som van alle afbraak- en herinvesteringskosten te verwachten binnen de actualisatietermijn, geactualiseerd naar het jaar nul op basis van de verwachte kostenstijging en marktinterestvoet R . Voor een gebouwdeel met een levensduur τ_n geeft dit:

$$K_H = \sum_{i=1}^n (K_I(i * \tau_n) + K_A(i * \tau_n)) * \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{R}{100}\right)} \right]^{i * \tau_n}$$

Waarbij $K_A(x)$ en $K_I(x)$ respectievelijk de afbraak- en herinvesteringskosten zijn die verwacht worden in het jaar x . Deze toekomstige kosten kunnen geactualiseerd worden a.h.v. de marktinterestvoet R . In de formule hierboven nemen we aan dat $n * \tau_n < T$, aangezien enkel de vervangingen binnen de actualisatietermijn T bekeken worden. Als we de verwachte kosten kunnen uitdrukken als de initiële kosten die per jaar met een percentage R_p stijgen, bekomen we:

$$K_H = \sum_{i=1}^n (K_I(0) + K_A(0)) * \left[\frac{\left(1 + \frac{R_p}{100}\right)}{\left(1 + \frac{R}{100}\right)} \right]^{i * \tau_n}$$

Wanneer deze kostenstijging gelijk wordt gesteld aan de algemene inflatie R_i , wat in deze studie van toepassing is op alle energiebesparende maatregelen, krijgen we:

$$K_H = \sum_{i=1}^n (K_I(0) + K_A(0)) * \left[\frac{\left(1 + \frac{R_i}{100}\right)}{\left(1 + \frac{R}{100}\right)} \right]^{i * \tau_n}$$

of

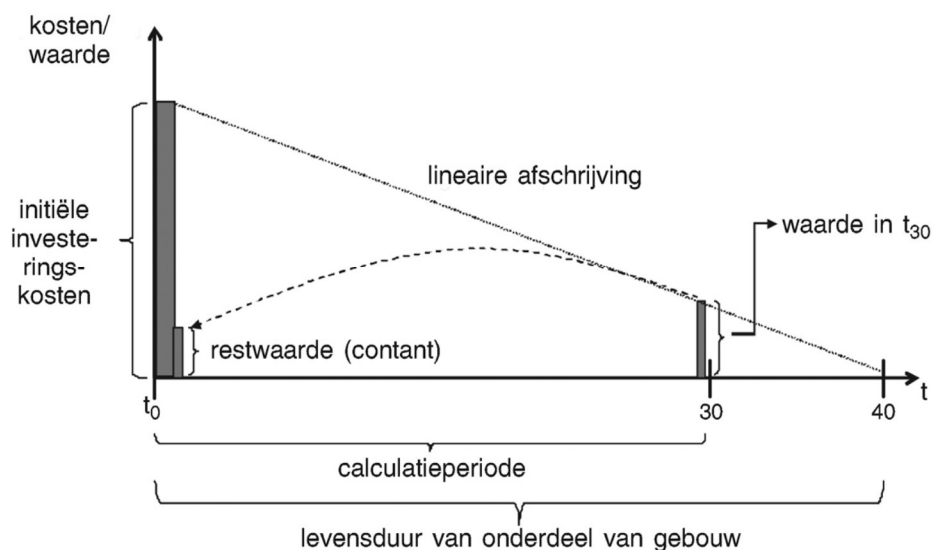
$$K_V = \sum_{i=1}^n (K_I(0) + K_A(0)) * \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{R_R}{100}\right)} \right]^{i * \tau_n}$$

en kunnen we dus blijven rekenen met R_R , de eerder gedefinieerde reële interestvoet.

5.8 Restwaarde V_{Tf}

Figuur toont de gebruikte methode wanneer een maatregel een langere levensduur heeft dan de evaluatieperiode. De begininvestering (of vervangingskost) wordt lineair afgeschreven over de levensduur van de maatregel, waarna de waarde op het einde van de actualisatietermijn kan worden geactualiseerd naar het jaar 0.

Met een veronderstelde levensduur van veertig jaar en een lineaire afschrijving is de restwaarde na dertig jaar 25 % van de initiële investeringskosten. Deze waarde wordt dan nog geactualiseerd.



Figuur 4: Berekeningsmethode van de restwaarde a.h.v. lineaire afschrijving.

In formulevorm:

$$V_{T_f}(j) = K_I(0, j) * \left[\frac{(n + 1) * T_n(j) - T}{T_n(j)} \right] * \left[\frac{1}{(1 + R_R)} \right]^T$$

Hierbij staan bovenstaande symbolen voor:

$K_I(0, j)$ = Investeringskost voor maatregel j in jaar 0

$T_n(j)$ = levensduur beschouwde constructie, installatie

T = actualisatietermijn

R_R = reële rentevoet

n = aantal herinvesteringen gedurende actualisatietermijn

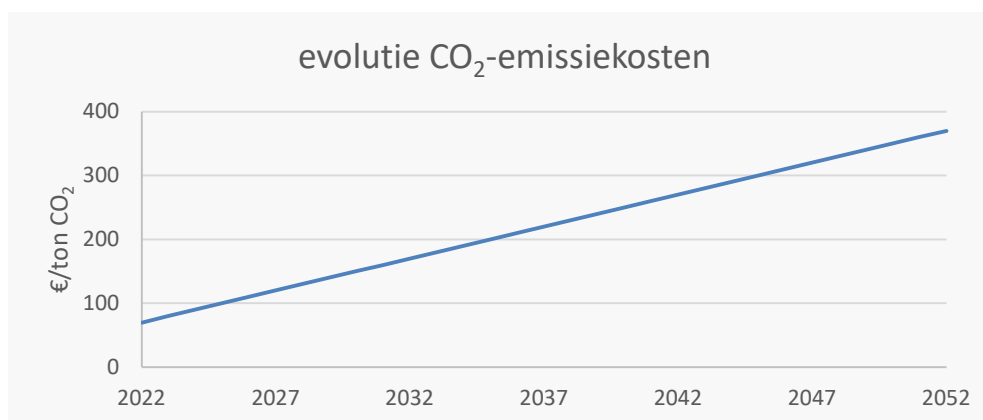
5.9 Subsidies V_{sub}

De subsidies voor energiebesparende maatregelen ([Mijn VerbouwPremie](#) en [EPC-labelpremie \(Fluvius\)](#)) zijn geïntegreerd in de EBECs-module. Er wordt telkens gerekend op basis van de hoogste inkomenscategorie, zodat geen bijkomende premies voor lage inkomens worden ingerekend, maar enkel de energieprijzen die voor alle inkomens van toepassing zijn.

5.10 CO₂-emissiekosten K_{CO_2}

Wat betreft de berekening van het kostenoptimum op macro-economisch niveau, schrijft de verordening voor dat de kosten van broeikasgasemissies moeten worden berekend door uit te gaan van de som van de jaarlijkse broeikasgasemissies vermenigvuldigd met de verwachte tarieven voor een ton CO₂-equivalent in het kader van elk jaar uitgereikte broeikasgasemissierechten. Dit vereist een inschatting van de te verwachte CO₂-emissietarieven over de actualisatietermijn.

Hierbij baseren we ons op data van EnergyVille TIMES Be model¹³ waarin gesteld wordt dat de CO₂-emissiekost in 2022 €70/ton CO₂ is en deze kost jaarlijks stijgt met €10/ton CO₂ (zie Figuur).



Figuur 5: evolutie CO₂-emissiekosten.

De som van de geactualiseerde jaarlijkse emissiekosten rekening houdend met de reële marktinterestvoet, wordt berekend volgens:

$$K_{CO_2} = K_{CO_2}(0) * f_{pv}(T)$$

5.11 Sensitiviteitsanalyses

5.11.1.1 *Discontovoet*

Naast de algemene discontovoet van 3% zullen ook berekeningen worden uitgevoerd met een discontovoet van 1% en 5%, en geanalyseerd op welke manier deze de resultaten beïnvloeden.

5.11.1.2 *Energieprijzen*

Omdat het onmogelijk is een voorspelling te maken van de toekomstige energieprijzen, zeker in het licht van de huidige energiecrisis, zal gerekend worden met de gemiddelde energieprijzevolutie die ook in de studie naar het kostenoptimum voor nieuwbouw werd toegepast. Deze parameter wordt bovendien onderworpen aan een sensitiviteitsanalyse, waarbij naast de algemene aangenomen evolutie ook scenario's worden doorgerekend waarbij de energieprijzen negatiever of duurder zullen uitdraaien, maar ook goedkoper zullen zijn. Deze zullen verder in het rapport respectievelijk worden aangeduid als een hoog en laag energiescenario. De wijze waarop deze scenario's zijn geconstrueerd werden hierboven verder toegelicht in paragraaf 5.5.1.

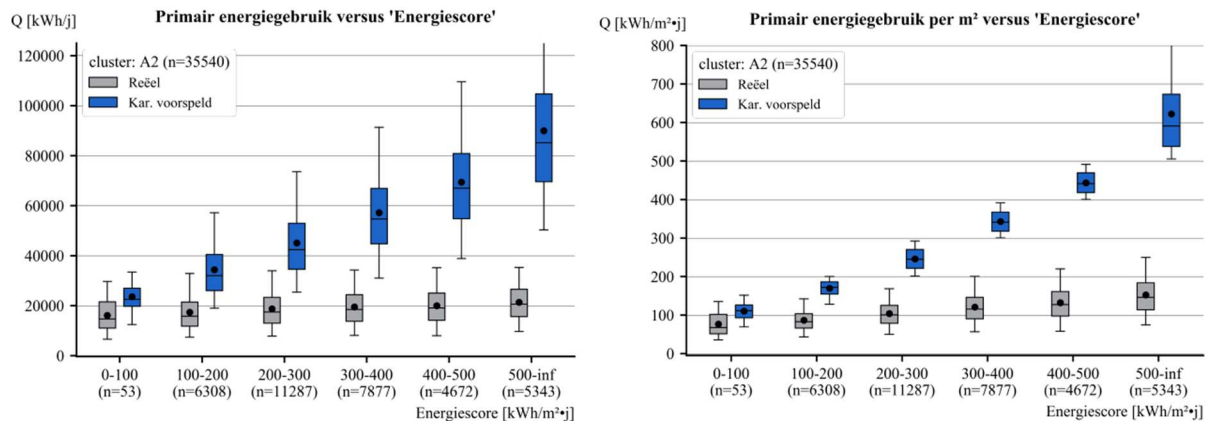
5.11.1.3 *Geschat energieverbruik*

Hoeveel er bespaard wordt bij toepassing van energiebesparende maatregelen hangt niet enkel af van de energieprestatie zelf, maar ook van het gebruikersgedrag. Wanneer bijvoorbeeld de energiekosten te hoog oplopen kan de bewoner zijn vraag naar thermisch comfort verlagen. Dit 'prebound-effect' wordt typisch gemeten in slecht-geïsoleerde bestaande woningen. Bij renovatie van bestaande woningen kan bovendien achteraf ook een 'rebound-effect' optreden, waarbij de gebruiker zich minder zuinig zal gedragen, aangezien de woning op zich zuiniger is geworden. Dit zorgt voor werkelijke energiebesparingen die een stuk lager liggen dan theoretisch berekend.

¹³ https://perspective2050.energyville.be/sites/energyoutlook/files/inline-files/TIMES_BE_model_description-PATHS2050_study_20221107.pdf

De EPC-methodiek is niet in staat om de complexe dynamische wisselwerkingen tussen gebouw, bewoner en installatie correct in te schatten. De EPC-methodiek is per definitie een energieprestatiebepaling, bedoeld om gebouwen onderling te vergelijken en dus geen perfecte inschatting van het energieverbruik.

Voor een correctere inschatting van het werkelijk verbruik worden bij de berekening in EBECs correcties ingevoerd op de EPC-berekening die effecten op het gebruikersgedrag in rekening brengen. Op basis van de resultaten uit de “Analyse naar de haalbaarheid van statistische modellen die energiegebruik in woningen kunnen voorspellen op basis van bouwparameters” uitgevoerd door UGent in opdracht van VEKA (zie figuren hieronder) werden correctiefactoren afgeleid op basis van de EPC-score zonder PV.



Figuur 6: Karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik voor ruimteverwarming en sanitair warm water productie en reëel jaarlijks aardgasverbruik voor woningen die zowel een gas als elektriciteitsmeter hebben in functie van de EPC-score (uit ‘Studie reëel energieverbruik woningen’, 2021, UGent).

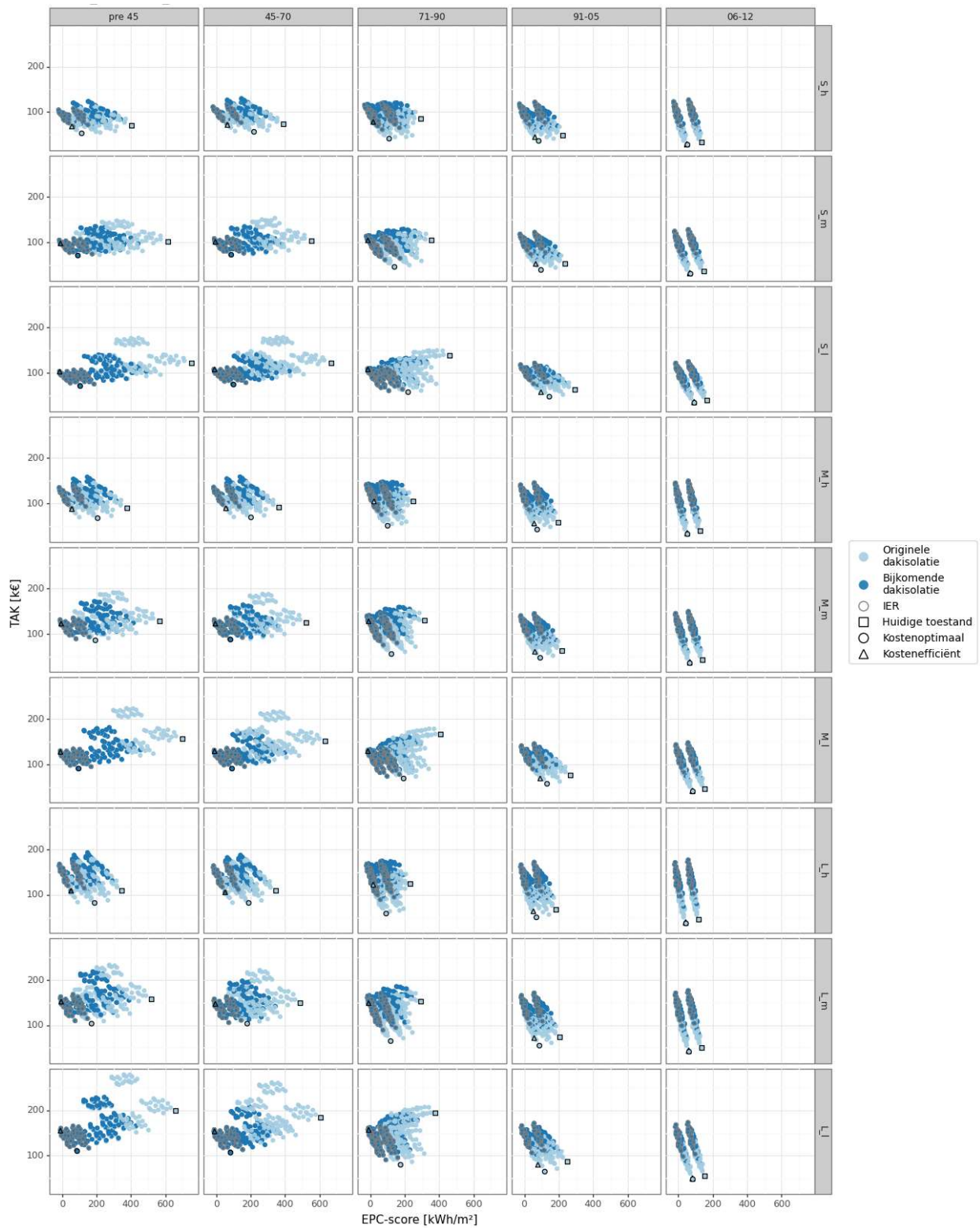
Op basis van bovenstaande gegevens werden volgende correctiefactoren afgeleid:

- 500 < EPC-score: 0.25
- 400 < EPC-score <= 500: 0.33
- 300 < EPC-score <= 400: 0.40
- 200 < EPC-score <= 300: 0.50
- 100 < EPC-score <= 200: 0.64
- 70 < EPC-score <= 100: 0.91
- EPC-Score <= 70: 1

Deze worden gebruikt om het berekend verbruik voor ruimteverwarming en warm tapwater te corrigeren en op die manier een benadering te maken van het werkelijk verbruik.

6 RESULTATEN EENGEZINSWONINGEN

6.1 Paretofront en kostenoptimale niveaus basisscenario



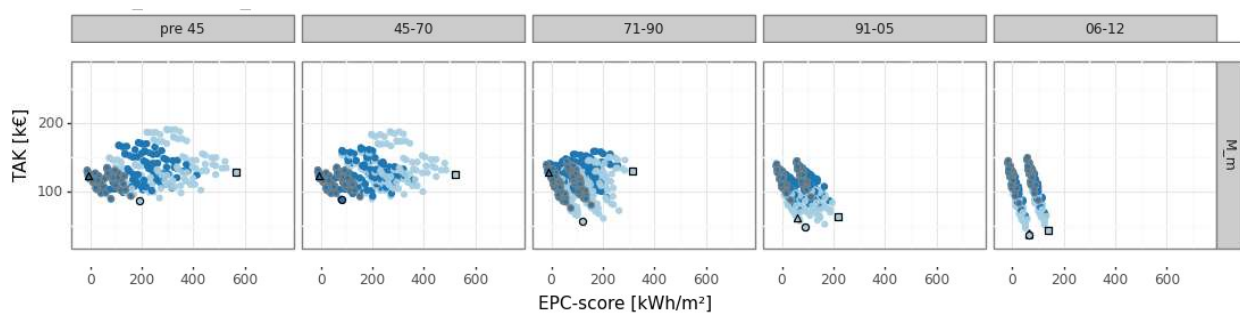
Figuur 7: TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de maatregelpakketten toegepast op alle halfopen woningen (micro, 3%, gemiddelde energieprij)

Hierboven zien we een figuur met alle resultatenwolken, opgesteld door VITO/Energyville, voor de halfopen woningen bij het basisscenario, namelijk de micro-economische berekening met een discontovoet van 3% en het gemiddeld energieprijsscenario. Het startpunt (vierkantje), het kostenoptimaal punt (rondje) en het kostenefficiënt punt (driehoekje) worden telkens aangeduid. De figuur is geordend per bouwperiode in de kolommen en per subcategorie (grootte: S(mall), M(edium), L(arge)) en isolatieniveau: h(igh), m(edium), l(ow)) in de rijen. De maatregelen die voldoen aan de voorwaarden voor een ingrijpende energetische renovatie zijn donkergrijs gekleurd.

Op basis van bovenstaande figuur kan het VEKA een aantal vaststellingen illustreren. Deze vaststellingen zijn gelijkaardig over de verschillende onderzochte types heen. Overzichtsfiguren van de verschillende onderzochte eengezinswoningen staan in bijlage B.

6.1.1 Vergelijking per bouwperiode

Als we hierboven inzoomen op de halfopen woning M_m (gemiddelde grootte, gemiddeld isolatieniveau), krijgen we onderstaand beeld:



Figuur 8: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) per bouwperiode, halfopen woning M_m

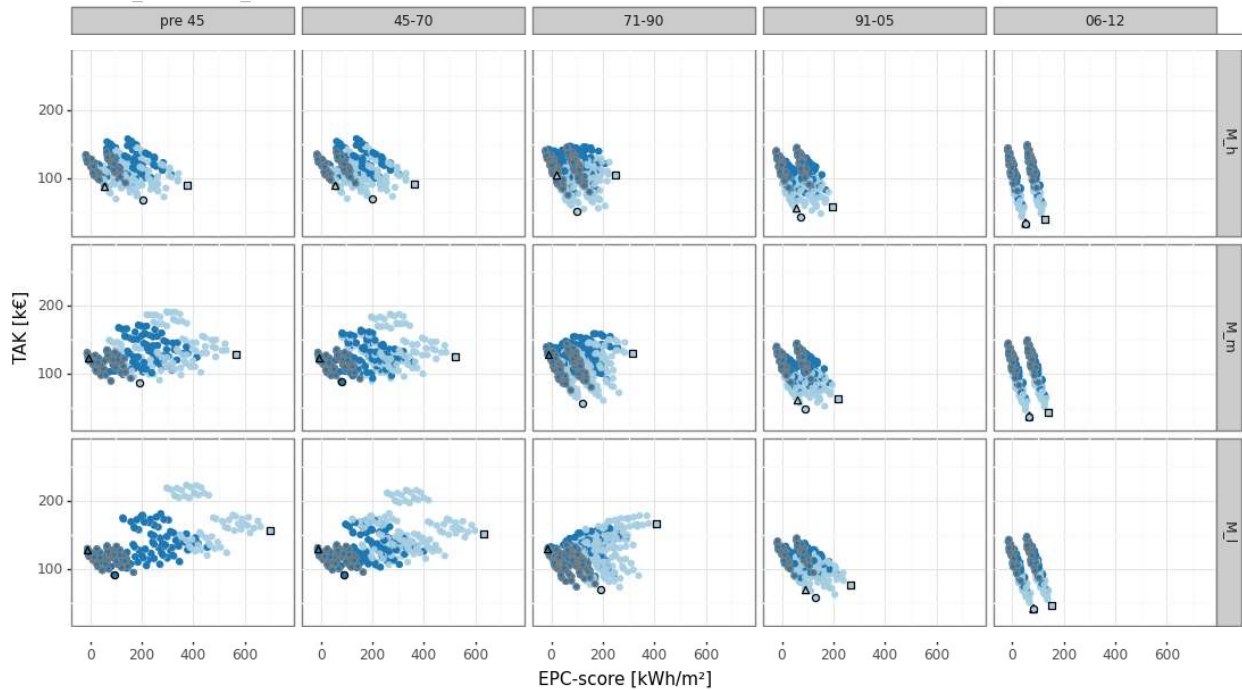
Zoals verwacht, neemt de oorspronkelijke EPC-score af bij recentere bouwperiodes. Ook de vorm van de resultatenwolk verschilt significant per bouwperiode. Waar we voor de onderzochte maatregelen voor de vroege bouwperiodes nog breed uitgesmeerde resultatenwolken zien, worden deze steeds geconcentreerder en steiler bij recentere bouwperiodes. Dat is op zich logisch, want de recentere woningen zijn al deels of volledig geïsoleerd en beschikken al over meer efficiënte opwekkers zodat de impact van de verschillende maatregelen op de EPC-score afneemt, terwijl de investeringskosten voor bijkomende maatregelen gelijkaardig zijn als bij de minder of niet geïsoleerde woningen.

Als we naar de kostenoptimale waarden voor de halfopen woningen kijken, zien we dat de brede wolken voor bouwperiodes voor de jaren 70 leiden tot een sterke daling van de EPC-waarde. Deze waarde varieert wel nog sterk per subcategorie, maar varieert grosso modo van 100 kWh/m² tot 200 kWh/m². Voor de bouwperiode 71-90 is de daling in TAK het grootst, maar de optimale EPC-score varieert hier eveneens tussen 100 kWh/m² tot 200 kWh/m². Voor de recentere woningen van 91-05 liggen de waarden iets dichter bij elkaar en iets lager, namelijk van 80 kWh/m² tot 150 kWh/m². Voor de meest recente onderzochte woningen van 06-12 bestaat de kostenoptimale oplossing meestal enkel uit het toevoegen van PV-panelen, waardoor de kostenoptimale EPC-score steevast onder 100 kWh/m² duikt.

6.1.2 Vergelijking per isolatieniveau

Vergelijken we de halfopen woning M (gemiddelde grootte) bij de drie onderzochte isolatieniveaus h(high), m(medium) en l(low) in de figuur hieronder, zien we dat ook hier de oorspronkelijke EPC-score logischerwijs sterk afhankelijk is van het isolatieniveau. Wel zien we dat dit belang afneemt bij recentere bouwperiodes, omdat de variatie sterk afneemt. Bij oudere bouwperiodes zijn er immers in de EPC-databank zowel ongeïsoleerde woningen, als woningen die al deels werden gerenoveerd, terwijl bij recente periodes de verschillen in isolatiegraad afnemen en dus ook de variatie tussen de drie onderzochte isolatieniveaus.

Bekijken we de vorm van de resultatenwolken dan zien we over alle bouwperiodes heen, dat de helling (of kanteling) van de wolk steiler is bij een hoger isolatieniveau. Bij het isolatieniveau I resulteren de maatregelen met een lage EPC-score ook in een lagere TAK. Voor sommige cases zorgt dat ervoor dat ook het kostenoptimum wijzigt tussen gelijkaardige woningen met verschillende isolatieniveaus.



Figuur 9: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) per isolatieniveau, halfopen woning M

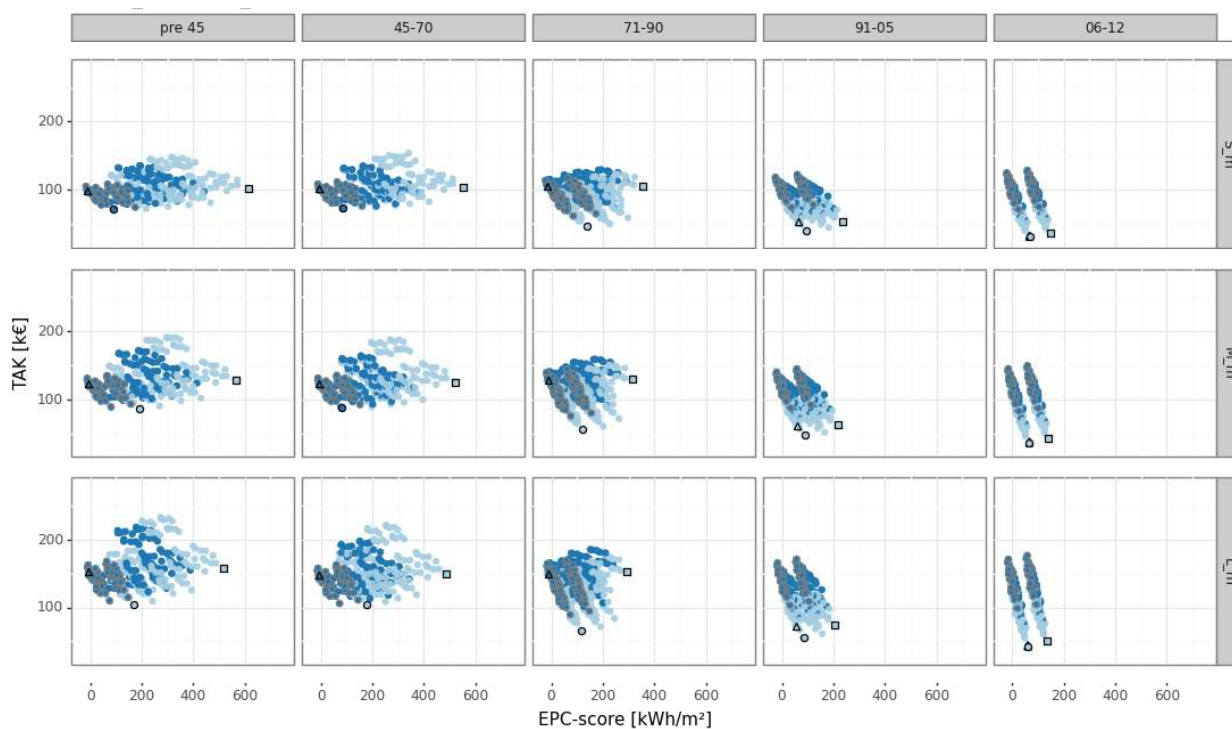
In bovenstaande figuur zien we dat die kanteling bij recente bouwperiodes slechts een klein effect heeft en dat de kostenoptimale EPC-score bij lagere isolatieniveaus een beetje toeneemt. Bij de bouwperiode 71-90 zien we hetzelfde effect, maar groter, waardoor het kostenoptimum varieert van 100 kWh/m² tot 200 kWh/m². Bij de twee oudste periodes voor '70 zien wij een echte verschuiving bij lagere isolatieniveaus, waardoor het kostenoptimum in die gevallen net van rond 200 kWh/M² naar 100 kWh/m² 'springt' en dus lager komt te liggen dan bij de hogere isolatieniveaus.

6.1.3 Vergelijking per grootte

Vergelijken we de halfopen woning m (gemiddeld isolatieniveau) bij de drie onderzochte groottes S(small), M(medium) en L(large) in de figuur hieronder, zien we ook hier een aantal zaken terug die al gekend zijn. Kleinere woningen hebben in de oorspronkelijke toestand een hogere EPC-score. Opnieuw zien we dat dit belang afneemt bij recentere bouwperiodes. Daarnaast zijn de absolute totale kosten bij kleinere woningen ook beduidend lager, aangezien de meeste kosten in relatie staan tot de grootte van de woning.

Bekijken we de vorm van de resultatenwolken dan zien we dat deze redelijk analoog is. De wolken zijn voor kleinere woningen iets compacter en voor grotere woningen iets meer uitgespreid in de hoogte, opnieuw door de relatie van de kosten met de grootte van de woning.

Wat het kostenoptimum betreft, zien we voor recente bouwperiodes dat de kostenoptimale EPC-score bij kleinere woningen een beetje toeneemt. Daarnaast zien we ook dat de 'sprong' die we vaststelden tussen verschillende isolatieniveaus bij de oudste bouwperiodes zich blijkbaar eerst voordoet bij kleinere woningen en in dat geval dus ook bij hogere isolatieniveaus tot een lagere optimale EPC-score leidt, hoewel dat zeker niet voor alle woningen zichtbaar is in de onderzochte cases.



Figuur 10: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) per grootte, halfopen woning _m

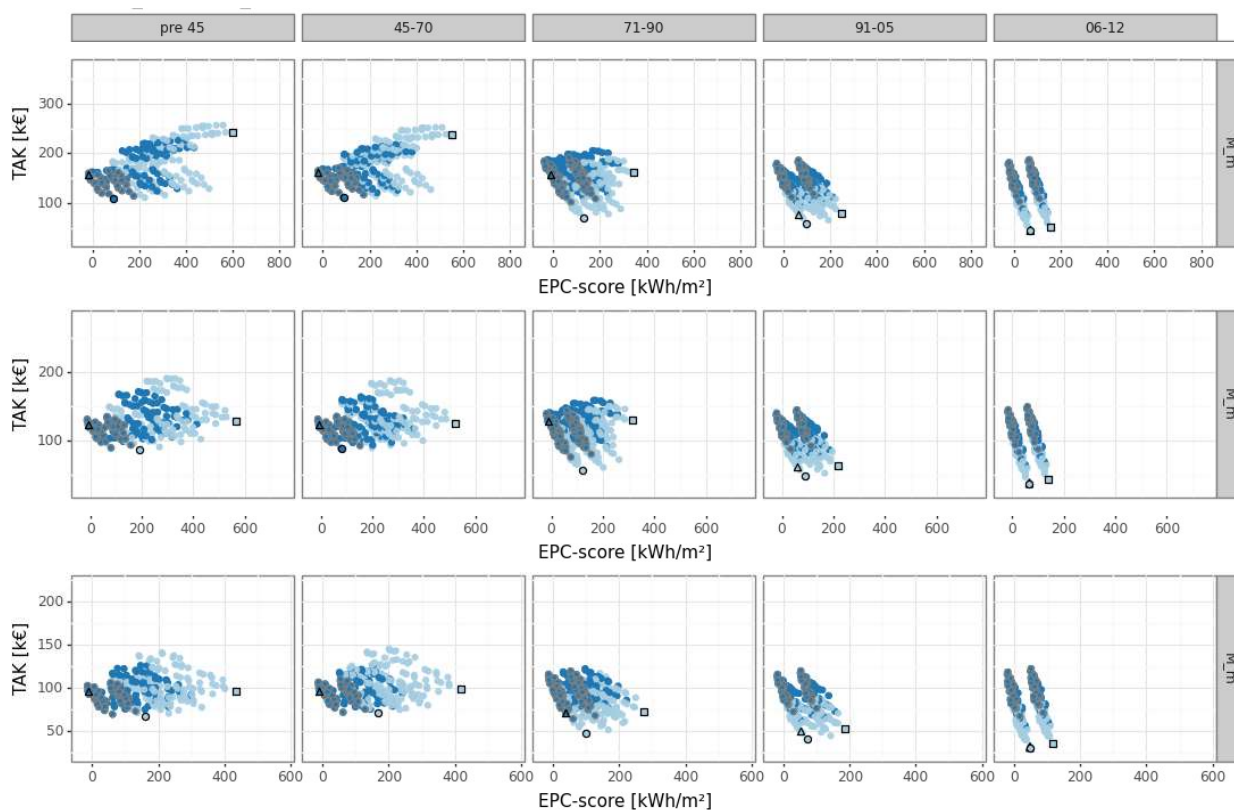
6.1.4 Vergelijking per typologie

In bovenstaande gevallen bekeken we de resultaten van de halfopen woningen. De vraag stelt of dezelfde conclusies ook van toepassing zijn voor de vrijstaande woningen en de rijwoningen. De resultaten zijn te raadplegen in bijlage B.

Wat betreft de bouwperiodes zijn de resultaten volledig analoog. We zien de typische vormen van de resultatenwolk telkens terugkeren, zowel bij de vrijstaande als de rijwoning.

Wat het kostenoptimum betreft, zien we dat dit voor de meeste vrijstaande woningen in dezelfde range ligt als bij de halfopen woning. Voor de bouwperiodes vanaf '70 liggen de kostenoptimale EPC-scores iets hoger dan bij de halfopen woningen, voor bouwperiode 71-90 tot maximaal 250 kWh/m², voor bouwperiode 91-05 tot bijna 200 kWh/m² en voor bouwperiode 06-12 tot net boven 100 kWh/m². Dit telkens voor vrijstaande woning S_l, de kleine vrijstaande woning met lage isolatiegraad, in lijn met de bovenstaande vaststellingen voor de halfopen woningen. Voor de vroegere bouwperiodes ligt de range grosso modo hetzelfde als bij de halfopen woningen, alleen zien we dat de helling van de resultatenwolken iets platter is dan bij de halfopen woning, waardoor het kostenoptimum soms naar een lagere EPC-score springt. Dat is bijvoorbeeld te zien bij de M_h, de M_m (zie figuur hieronder) en de L_h woning in bouwperiode voor '45, waar het kostenoptimum versprongen is van 200 kWh/m² richting 100 kWh/m². Bij de vrijstaande L_h en S_h woning doet zich dit ook voor in de periode '45-'70.

Ook bij de rijwoning liggen de kostenoptima in dezelfde range als bij de halfopen woning. Voor de bouwperiodes vanaf '70 liggen de kostenoptimale EPC-scores iets lager dan bij de halfopen woningen, voor bouwperiode 71-90 tot net onder 200 kWh/m², voor bouwperiode 91-05 tot net boven 100 kWh/m² en voor bouwperiode 06-12 tot net onder 100 kWh/m². Dit opnieuw telkens voor vrijstaande woning S_l, Voor de vroegere bouwperiodes zien we ook hier net het omgekeerde, namelijk dat door de helling het kostenoptimum soms naar een hogere EPC-score springt. Dat is bijvoorbeeld te zien bij de S_h, en de S_m woning in bouwperiode voor '45, waar het kostenoptimum versprongen is van 100 kWh/m² richting 150-200 kWh/m². Het moet wel opgemerkt dat het omgekeerde zich voordoet bij rijwoning L_h, waar het kostenoptimum de omgekeerde beweging maakt.



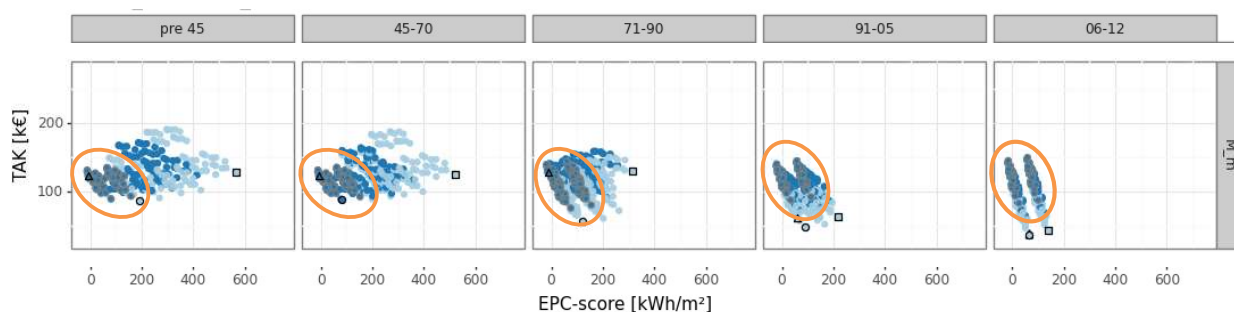
Figuur 11: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) per typologie, woning M_m
 Bovenaan: vrijstaand, midden: halfopen, onderaan: rijwoning

6.1.5 Ingrijpende energetische renovaties (IER)

We kijken nu naar de resultaten die voldoen aan de definitie van een IER:

1. minstens 75% van de bestaande en nieuwe scheidingsconstructies(open definitie) die het beschermd volume(open definitie) omhullen en die grenzen aan de buitenomgeving worden geïsoleerd én
2. minstens de opwekkers om een specifiek binnenklimaat te realiseren volledig worden vervangen.

Deze staan grijs gemarkeerd op de resultatenwolken in bovenstaande figuren.



Figuur 12: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²), halfopen woning M_m, IER-pakketten

Opnieuw kunnen we een aantal vaststellingen doen op basis van de bouwperiode, het isolatieniveau, de grootte en de typologie:

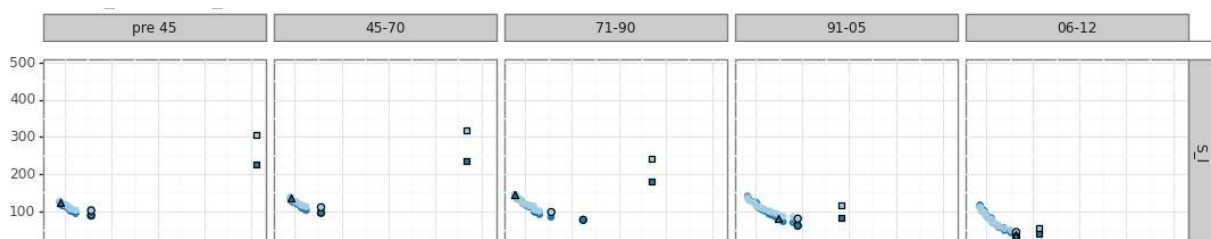
- algemeen: De IER-pakketten bevinden zich stevast links (en bovenaan) in de resultatenwolk, in twee quasi parallelle groepen, waarbij het verschil de toepassing van PV is (linkse groep met PV, rechtse groep zonder PV)
- algemeen kostenoptimum: Het kostenoptimum is typisch een IER-pakket voor de woningen uit de oudere bouwperiodes (tot '70), behalve indien het isolatieniveau al hoog is ($_h$). Bij de rijwoningen is het optimum bij het gemiddeld isolatieniveau ($_m$) net geen IER-pakket meer. Bij de woningen met lage isolatiegraad ($_l$) uit bouwperiode '71-'90 zien we dit ook. Voor recentere bouwperiodes is er vaak al isolatie aanwezig en is het kostenoptimum geen IER-pakket meer. Hoe recenter en/of hoe hoger de isolatiegraad, hoe hoger de IER-pakketten zich in de resultatenwolk bevinden, dus hoe verder van het algemeen kostenoptimum.
- kostenoptimum IER-pakketten: Als we enkel de IER-pakketten beschouwen, dan zien we dat het kostenoptimum voor de oudere bouwperiodes stevast rond 100 kWh/m² ligt en dat het oorspronkelijke isolatieniveau van de woning geen grote impact meer heeft. Dat is logisch aangezien (bijna) alle isolatie vervangen is door een nieuwe isolatiemaatregel. Hoe groter een woning van dezelfde typologie, hoe lager de waarde in kWh/m², maar de variatie is klein. Ook de variatie tussen de typologieën is klein, waarbij de vrijstaande woning iets hoger uitkomt en de rijwoning iets lager. Voor de recentere bouwperiodes vanaf '91 daalt het kostenoptimaal IER-pakket richting 0 kWh/m². Een IER is in deze gevallen echter minder realistisch en duidelijk verder weg van het algemeen kostenoptimum.

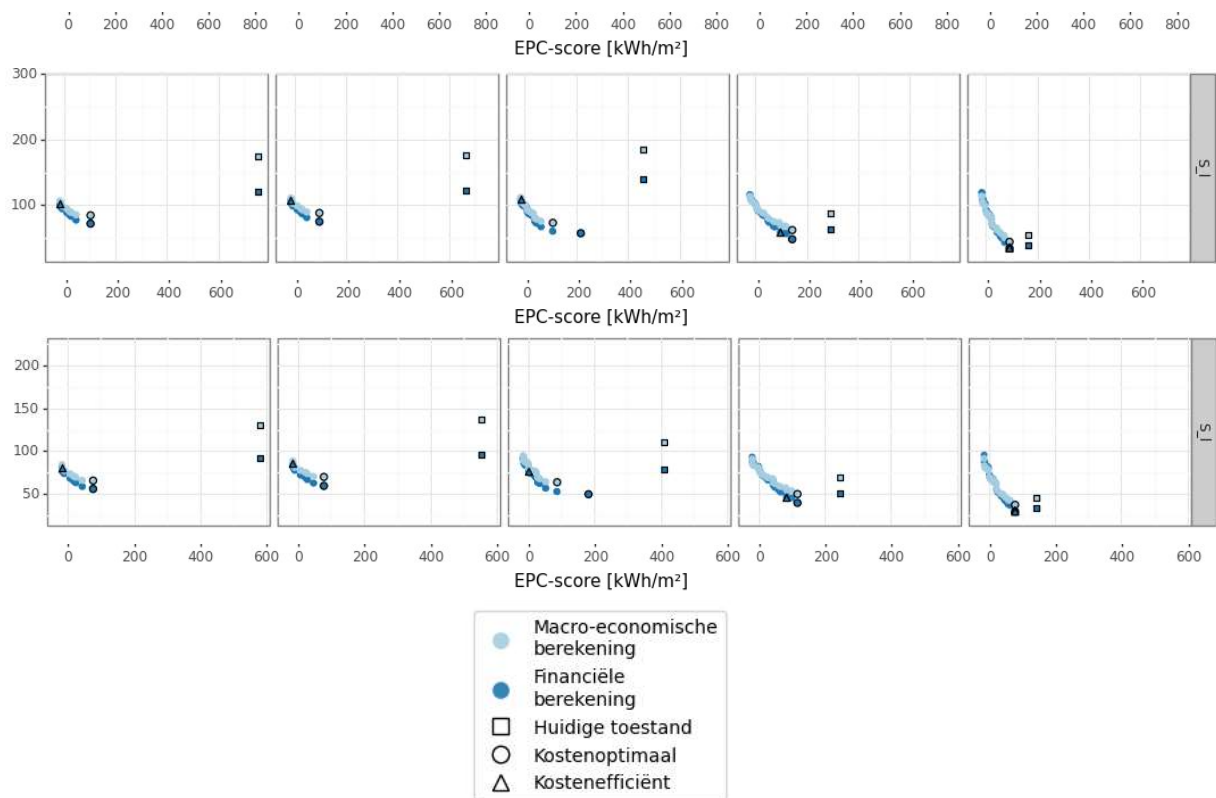
De gevallen waarin een IER typisch uitgevoerd wordt, namelijk bij een oude woning met een laag isolatieniveau, zijn ook de gevallen waarbij dit pakket overeenstemt met het kostenoptimum. Het kostenoptimum ligt in die gevallen telkens in de buurt van 100 kWh/m², hetgeen ook de doelstelling is in de langetermijnstrategie.

6.2 Varianten en sensitiviteitsanalyse

6.2.1 Macro-economische analyse

Over het algemeen liggen de macro-economische en de micro-economische berekening dicht bij elkaar. De TAK bij de macro-economische berekening liggen bij hogere EPC-score ook iets hoger, waardoor de paretofronten nog iets vlakker komen te liggen dan bij de micro-economische berekening. In veel gevallen blijft het kostenoptimum behouden (waar het al rond 100 kWh/m² lag), maar regelmatig verspringt het kostenoptimum naar links, richting 100 kWh/m² in het geval het micro-economisch optimum rond 200 kWh/m² lag. De range van kostenoptimale waarden concentreert zich bij de macro-economische berekeningen dan ook sterk rond de 100 kWh/m², zeker voor de twee oudste bouwperiodes. Bij de recentere bouwperiodes '71-'90 en '91-'05 zijn er slechts nog enkele woningen met een waarde richting 150-200 kWh/m² (vrijstaande woning S_m , vrijstaande woningen met laag isolatieniveau $_l$ en de kleine halfopen woning met laag isolatieniveau S_l)

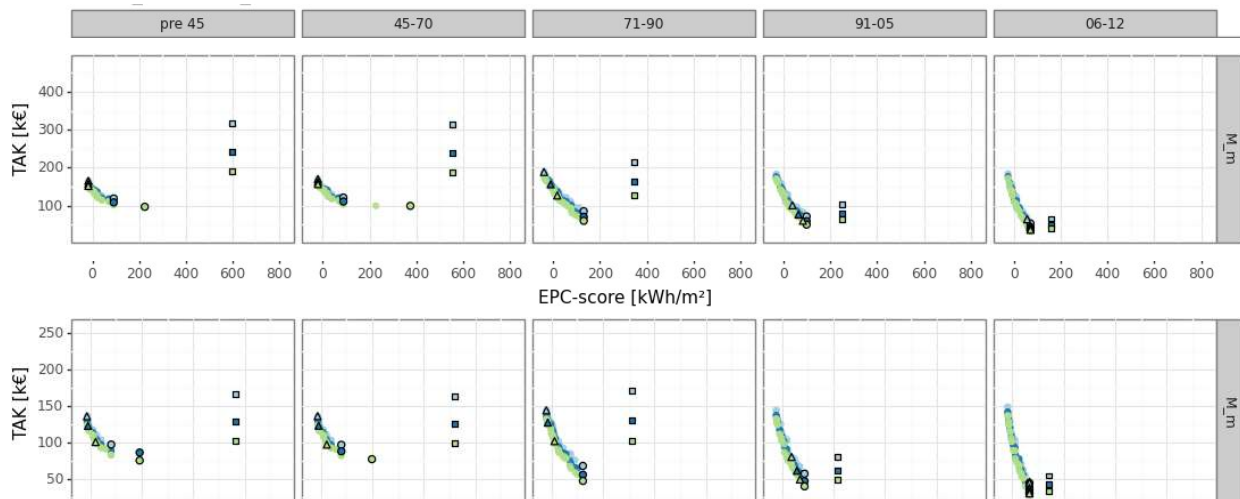


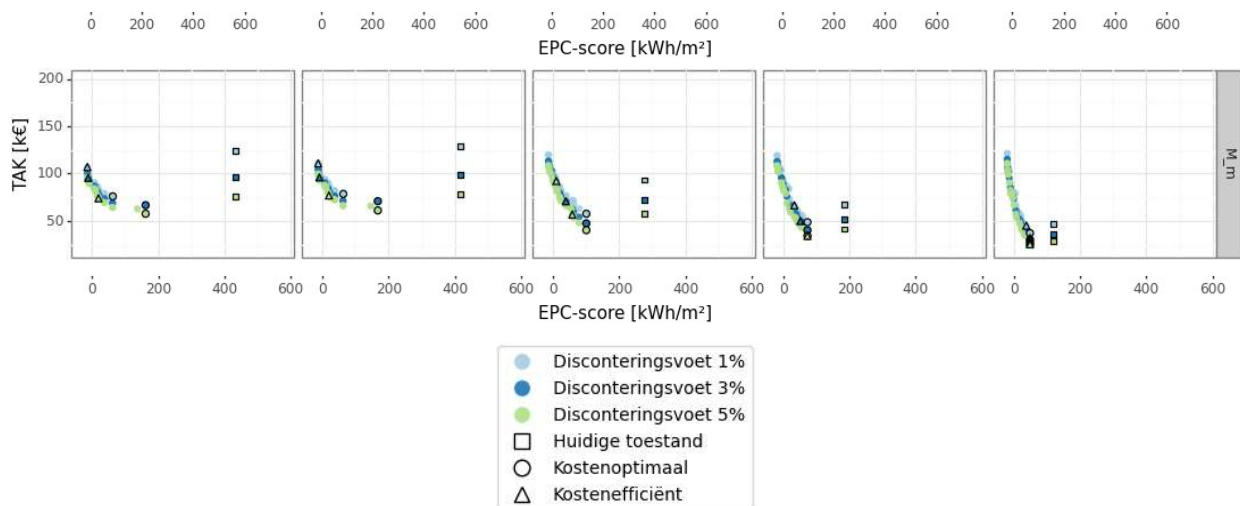


Figuur 13: micro en macro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de S_I woning
 Bovenaan: vrijstaand, midden: halfopen, onderaan: rijwoning

6.2.2 Discontovoet

Bij een **hogere discontovoet** gaan toekomstige kosten minder zwaar doorwegen in de totale actuele kost. Dit zijn vooral energiekosten, maar ook de herinvesteringskosten en de restwaarde zullen in waarde zakken als ze ver in de toekomst liggen. In voorgaande studies zorgde een toename van de discontovoet vooral voor verschillen rechts op het paretofront, bij de maatregelen met hoog EPC-score en dus ook hoog berekend energieverbruik: het paretofront ging naar rechts overhellen en het optimum schoof op naar rechts. Hetzelfde zien we nu terugkeren in de vergelijking van de drie energiescenario's voor de verschillende types woningen (ter illustratie hieronder vergeleken, telkens voor subcategorie M_m, volledige tabellen in bijlage B)





Figuur 14: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de M_m woning met disconteringsvoet 1%/3%/5%
Bovenaan: vrijstaand, midden: halfopen, onderaan: rijwoning

We zien opnieuw een sterke afhankelijkheid van de bouwperiode, maar ook andere eigenschappen spelen een secundaire rol. Per bouwperiode zien we het volgende bij een disconteringsvoet van 5%:

- Voor '45: een systematische verschuiving van het optimum naar rechts bij de meeste vrijstaande woningen, tot 200 – 280 kWh/m². Enkel bij de vrijstaande woningen met een laag isolatieniveau (_l) blijft het stabiel. Bij de halfopen woning enkel een verschuiving naar rechts voor de kleine woning (S_) met gemiddeld (_m) of hoog (h) isolatieniveau (tot iets meer dan 200 kWh/m²). Bij de rijwoning enkel de grote woning met hoog isolatieniveau (L_h), tot 140 kWh/m²
- '45-'70: enkel nog een verschuiving naar rechts bij de vrijstaande woningen S_h, S_m, M_m en L_h, bij de _m woningen tot bijna 400 kWh/m². Bij de halfopen woningen enkel bij S_m en M_m (tot 200 kWh/m²), Bij de rijwoningen enkel woning L_m (boven 200 kWh/m²)
- '71 en later: geen verschuiving meer bij toepassing van een hogere discontovoet.

Dit is op zich te verwachten aangezien bij de oudste woningen de hoogste EPC-scores en dus ook de grootste berekende energieverbruiken optreden. De twee uitschieters tot 400 kWh/m² liggen op een zeer vlak paretofront, waarbij een punt met gelijkaardige TAK rond 200 kWh/m² ligt.

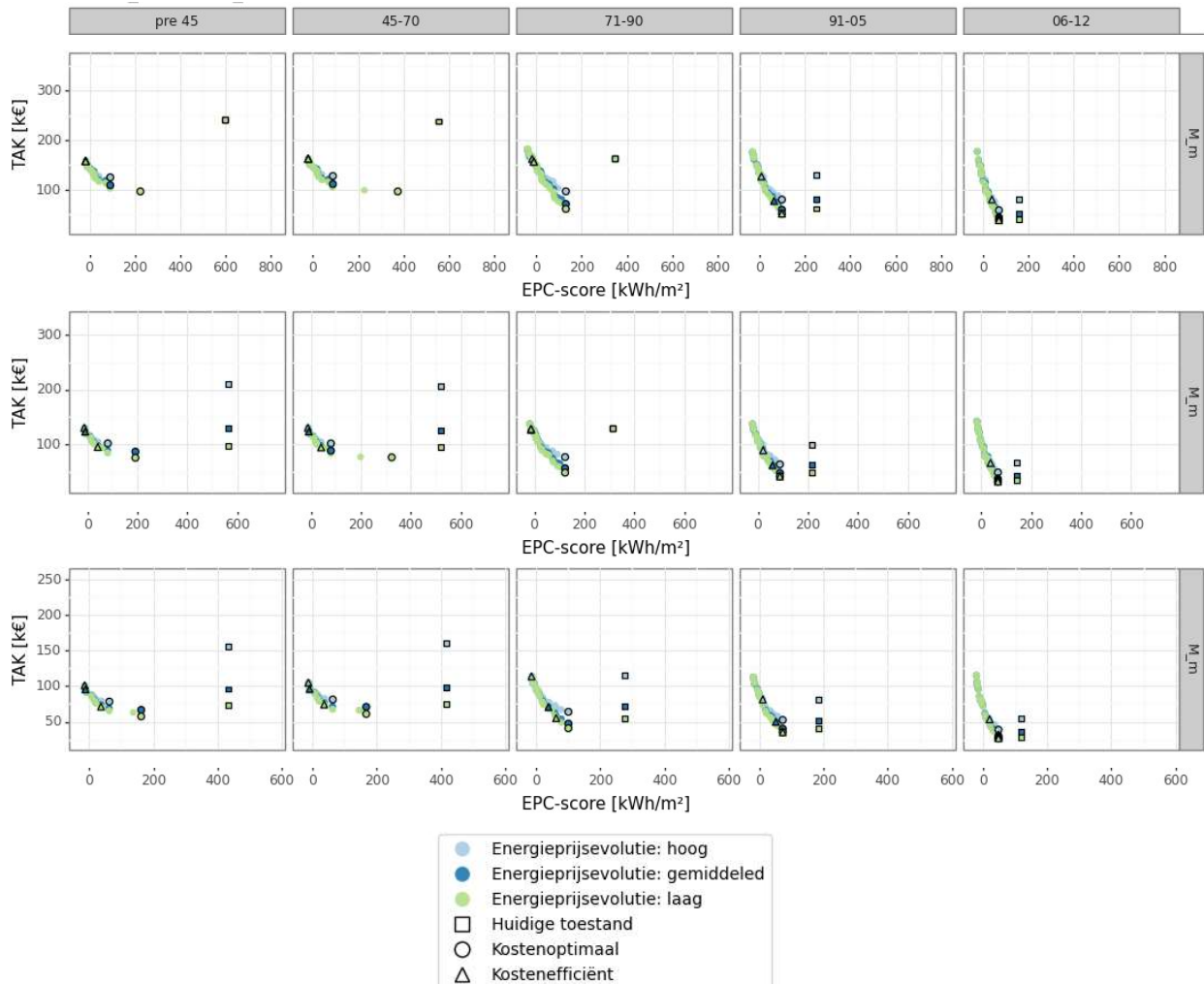
Bij een **lagere discontovoet** wegen toekomstige kosten zwaarder door, waardoor het paretofront eerder naar links overhelst. In bepaalde gevallen schuift het optimum bij een discontovoet van 1% naar links.

- Voor '45: Bij de vrijstaande woning L_m, de halfopen woningen M_h, M_l, L_m en L_l en alle rijwoningen met hoog (_h) of gemiddeld (_m) isolatieniveau. Alle verschuivingen tot een niveau onder 100 kWh/m².
- '45-'70: Een verschuiving naar links bij de vrijstaande woningen M_h en L_m, de halfopen woningen met hoog (_h) isolatieniveau en L_m en alle rijwoningen met hoog (_h) of gemiddeld (_m) isolatieniveau, behalve S_m. Verschuiving tot 100 kWh/m² of lager.
- '71-'90: Alle types woningen S_l en M_l, behalve de rijwoning M_l schuiven op naar ongeveer 100 kWh/m².
- '91 en later: geen verschuiving meer bij toepassing van een lagere discontovoet.

Deze varianten tonen aan dat het optimum bij de oudere bouwperiodes schommelt tussen 100 en 200 kWh/m², wat ook al gebleken was uit het basisscenario voor de verschillende onderzochte woningen. In de vlakke zone schuift het kostenoptimum al eens heen en weer, maar de grootte-orde blijft stabiel

6.2.3 Energieprijzen

Er werden verschillende energiewaarscenario's doorgerekend. Ter illustratie hieronder een vergelijking, telkens voor subcategorie M_m, volledige tabellen te raadplegen in bijlage B.



Figuur 15: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de M_m woning met hoog/gemiddeld/laag energieprijsscenario
Bovenaan: vrijstaand, midden: halfopen, onderaan: rijwoning

De verschillen in energiewaarscenario's zijn typisch groter bij grotere EPC-scores, omdat de berekende energieverbruiken dan logischerwijs ook hoger liggen. Naarmate de EPC-score afneemt, neemt ook het verschil tussen de scenario's af. Aangezien bij de oudste woningen de hoogste EPC-scores worden genoteerd, is dus ook te verwachten dat de impact opnieuw het grootst is bij de woningen uit de oudste bouwperiode.

Bij een **laag energiewaarscenario**, zien we een kleine daling van de TAK. Daardoor schuift in bepaalde gevallen het optimum op naar rechts, net zoals bij het scenario met de hoge discontovoet. We zien opnieuw een sterke afhankelijkheid van de bouwperiode, maar ook andere eigenschappen spelen een secundaire rol:

- Voor '45: een systematische verschuiving van het optimum naar rechts bij de meeste vrijstaande woningen, van 200 tot bijna 500 kWh/m² (S_m). Enkel bij de vrijstaande woningen met een laag isolatieniveau (_I) en de vrijstaande woning L_m blijft het optimum stabiel. Bij de halfopen

woning enkel een verschuiving naar rechts voor de kleine woning ($S_{_}$) met gemiddeld ($_m$) of hoog (h) isolatieniveau (opnieuw naar 200 kWh/m² en bijna 500 kWh/m²). Bij de rijwoning enkel de grote woning ($L_{_}$) met hoog ($_h$) en gemiddeld($_m$) isolatieniveau, tot 140 kWh/m² en 240 kWh/m².

- '45-'70: enkel nog een verschuiving naar rechts bij de vrijstaande woningen $S_{_h}$, $S_{_m}$, $M_{_m}$ en $L_{_h}$, bij de $_m$ woningen tot bijna 400 kWh/m², analoog als bij de hoge discontovoet. Bij de halfopen woningen opnieuw enkel bij $S_{_m}$ en $M_{_m}$ (nu tot meer dan 400 kWh/m²), Bij de rijwoningen woning $S_{_m}$ en $L_{_m}$ (rond 200 kWh/m²)
- '71 en later: geen verschuiving meer bij toepassing van een laag energiestenario.
- De uitschieters richting 400-500 kWh/m², voornamelijk bij $S_{_m}$ woningen bevinden zich opnieuw op en zeer vlak paretofront met punten met gelijkaardige TAK rond 200 à 250 kWh/m².

Bij een **hoog energiestenario**, neemt de TAK toe. Daardoor schuift in bepaalde gevallen het optimum op naar links, net zoals bij het scenario met de lage discontovoet.

- Voor '45: Bij de vrijstaande woningen $S_{_l}$ en $L_{_m}$, de halfopen woning $S_{_l}$, $M_{_h}$, $M_{_m}$, $L_{_h}$ en $L_{_m}$ en alle kleine rijwoningen ($S_{_}$), en de rijwoningen $M_{_h}$, $M_{_l}$ en $L_{_m}$. Alle verschuivingen tot een niveau onder 100 kWh/m².
- '45-'70: Een verschuiving naar links bij de vrijstaande woningen $S_{_l}$, $M_{_h}$ en $L_{_m}$, de halfopen woningen met hoog ($_h$) isolatieniveau en $L_{_m}$ en alle rijwoningen, behalve $S_{_m}$, $M_{_l}$ en .. Verschuiving tot 100 kWh/m² of lager.
- '71-'90: Alle types woningen met laag isolatieniveau ($_l$) schuiven op naar ongeveer 100 kWh/m² of lager.
- '91 en later: geen verschuiving meer bij toepassing van een lagere discontovoet.

Dezelfde besluiten kunnen getrokken worden als bij de variatie van de discontovoet. Ook gelijkaardige woningen blijken gevoelig aan de varianten.

6.2.4 Geschat energieverbruik

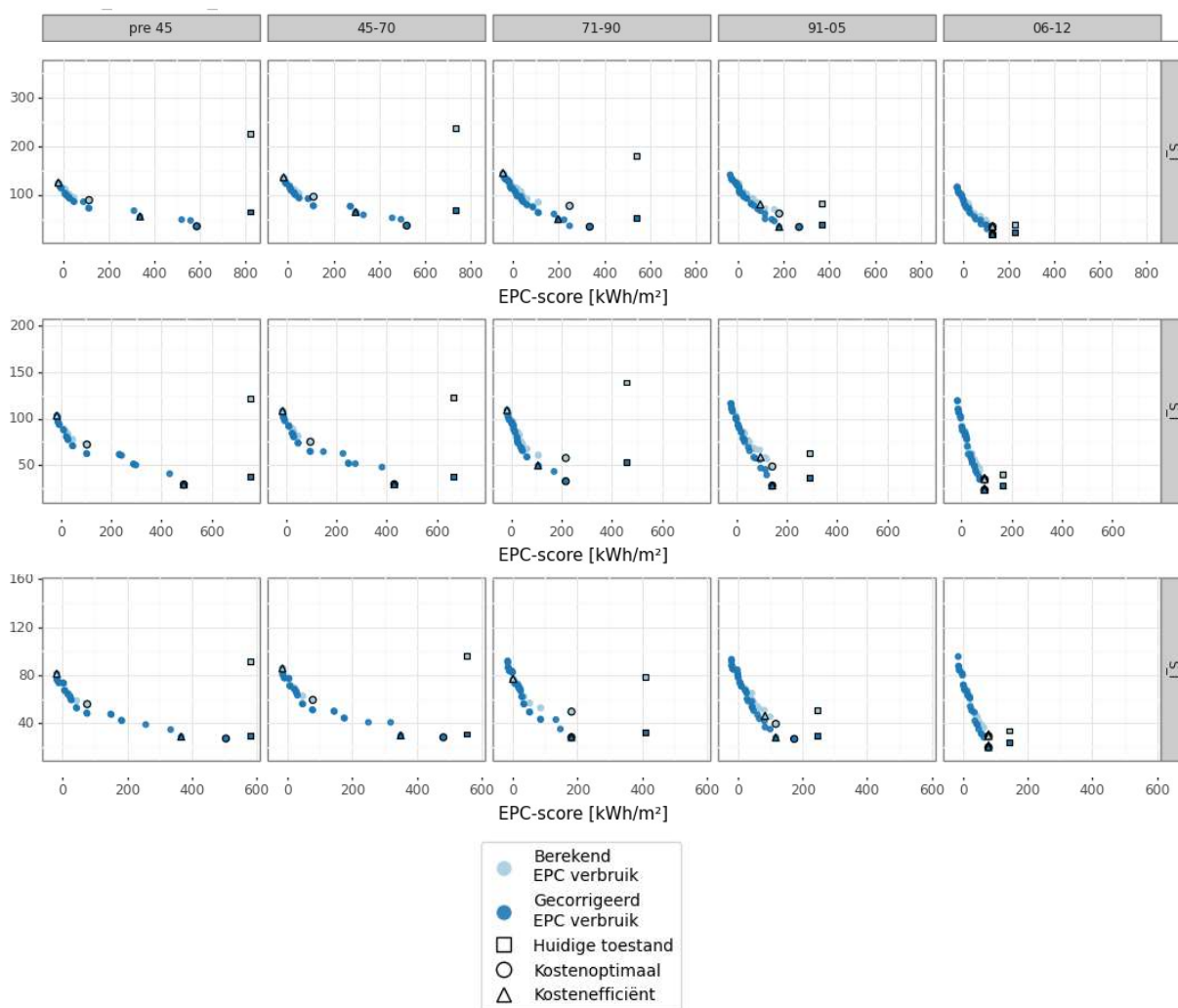
Gaan we uit van een energieverbruik voor verwarming en sanitair warm water dat afhankelijk van de EPC-score wordt aangepast (zie 5.11.1.3), maar in elk geval kleiner of gelijk aan het energieverbruik berekend volgens EPC, dan daalt de totale kost. Hoe lager het energieverbruik, hoe minder impact deze correctie heeft, net zoals de impact van de energiestenario's. De impact is dus groter aan de rechterzijde van de resultatenwolken. De paretofronten krijgen een lange staart, waardoor het kostenoptimum in veel gevallen naar rechts, en dus een hogere EPC-score, verschuift. De impact is, zoals verwacht, het grootst bij de oudste bouwperiodes, de woningen met laag isolatieniveau en de kleinere woningen per typologie. We tonen hieronder de resultaten voor woningcategorie $S_{_l}$, omdat daar de impact het grootst is.

Voor dit scenario zien we de grootste impact op de waardes van het kostenoptimum en ook recentere bouwperiodes ondervinden impact. Waar het kostenoptimum voor alle voorgaande scenario's van onder 100 kWh/m² tot maximaal 200 à 250 kWh/m² varieerde, gaat dat nu tot 600 kWh/m²!

- Voor '45: De laagste kostenoptimale waarde van ongeveer 140 kWh/m² wordt vastgesteld voor rijwoning $L_{_h}$ en de hoogste waarde van bijna 600 kWh/m² bij vrijstaande woning $S_{_l}$. De grootste variatie vindt plaats op basis van het isolatieniveau en dan vooral het hoge isolatieniveau, dat toch beduidend beter presteert. Als we enkel kijken naar de woningen met een gemiddeld ($_m$) of laag ($_l$) isolatieniveau, zien we ook duidelijk de impact van de typologie: Voor de rijwoningen varieert het optimum nog tussen 250 en 500 kWh/m², voor halfopen woningen is dat al 420 à 500 kWh/m² en voor vrijstaande woningen 460 à 600 kWh/m². Opvallend is dat bij de halfopen woningen de woningen met een gemiddeld isolatieniveau het slechtst presteren. De grootte van de woning heeft beduidend minder impact.
- '45-'70: Dezelfde laagste kostenoptimale waarde van opnieuw 140 kWh/m² wordt opnieuw vastgesteld voor rijwoning $L_{_h}$ en de hoogste waarde van iets meer dan 550 kWh/m² bij halfopen woning $M_{_l}$. Als we enkel kijken naar de woningen met een gemiddeld ($_m$) of laag ($_l$) isolatieniveau, zien we de impact van de typologie: Voor de rijwoningen varieert het optimum

nog van net onder 250 tot bijna 500 kWh/m², voor halfopen woningen is dat 300 à 550 kWh/m² en voor vrijstaande woningen 400 à 500 kWh/m².

- '71-'90: Vanaf deze periode zien we af dat het oorspronkelijke kostenoptimum in veel gevallen behouden blijft en dus terug rond 100 à 200 kWh/m² schommelt. De hoogste waarde van iets meer dan 300 kWh/m² is opnieuw te zien bij vrijstaande woning S_I. Voor halfopen woningen en rijwoningen is dat 100 à 250 kWh/m². Een aantal woningen met laag isolatieniveau vertonen de grootste sprongen. Voor deze woningen is er ook telkens een punt met net iets hogere TAK, maar onder 200 kWh/m², wat de vlakheid van het paretofront illustreert.
- '91-'05: Ook hier vaak behoud van het oorspronkelijke kostenoptimum of een sprong naar rechts van ongeveer 50 à 100 kWh/m². De meeste waarden liggen in de zone net onder 100 tot bijna 200 kWh/m². Enkel de vrijstaande woningen met laag isolatieniveau zitten nog boven 200 kWh/m² en zij hebben net als de bouwperiode '71-'90 een zeer vlak paretofront met een punt met net iets hogere TAK, maar onder 200 kWh/m²
- '06-'12: Voor de meest recente bouwperiode blijft het optimum in alle gevallen behouden onder 100 kWh/m².



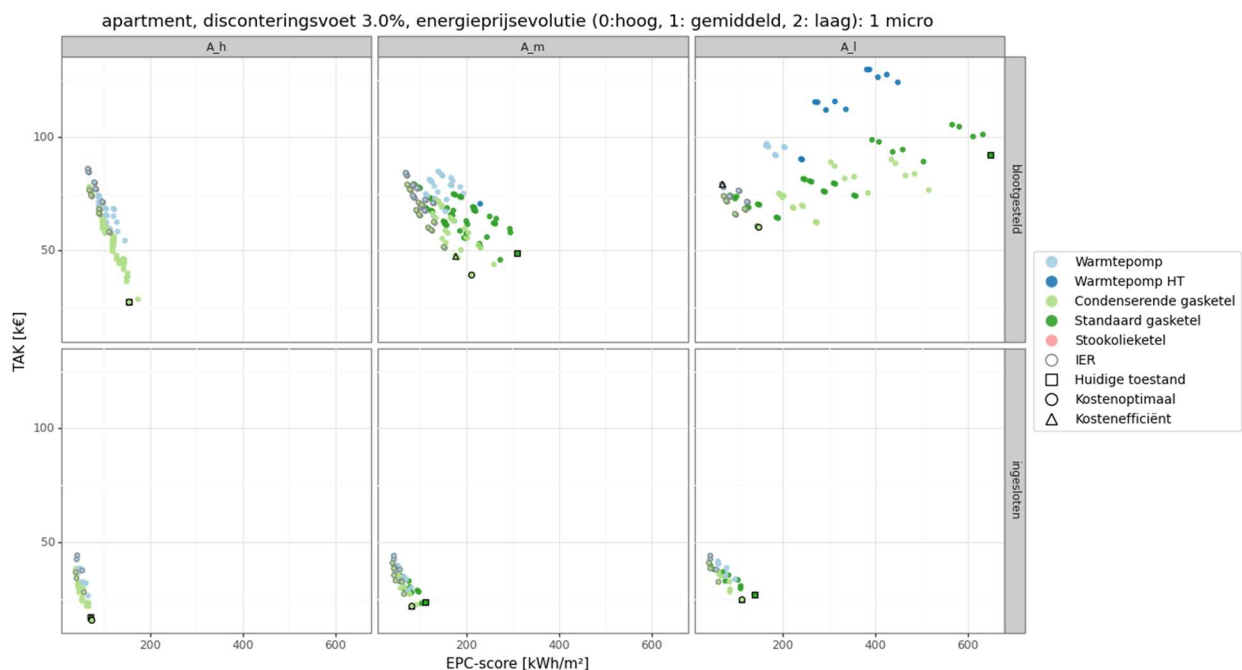
**Figuur 16: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de S_I woning met energieverbruik volgens EPC en gecorrigeerd verbruik
Bovenaan: vrijstaand, midden: halfopen, onderaan: rijwoning**

Bekijken we de impact van dit scenario voor de macro-economische berekening, dan zien we dat in grote lijnen de resultaten identiek zijn. Er zijn wel een aantal zaken op te merken, per bouwperiode:

- Voor '45: De resultaten zijn identiek voor de vrijstaande woningen. Bij de halfopen woning M_h springt het kostenoptimum van 300 naar 200 kWh/m².
- '45-'70: De resultaten zijn identiek voor de vrijstaande woningen. Bij de halfopen woningen S_h en M_h springt het kostenoptimum van 300 naar 200 kWh/m².
- '71-'90: Vrijstaande woning L_l, halfopen woningen M_l en L_l en rijwoning S_l, maken een sprong naar rechts, van 200 richting 250-300 kWh/m². Het punt met EPC-score rond 200 kWh/m² heeft wel bijna dezelfde TAK. Rijwoning L_l maakt dan weer de omgekeerde beweging richting 200 kWh/m² langs het vlakke front.
- '91-'05: De vrijstaande woningen met laag isolatieniveau verschuiven naar links, waardoor alle waarden terug onder 200 kWh/m² komen te liggen. Bij de halfopen en rijwoningen verandert er niets.
- '06-'12: De resultaten zijn identiek, geen impact.

7 RESULTATEN APPARTEMENTEN

7.1 Paretofront en kostenoptimale niveaus



Figuur 17: TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de maatregelpakketten toegepast op alle appartementen (micro, 3%, gemiddelde energieprijis)

Hierboven zien we een figuur met alle paretofronten, opgesteld door VITO/Energyville, voor het basisscenario bij de appartementen, met aanduiding van het startpunt, het kostenoptimaal punt en het kostenefficiënt punt. De figuur is geordend per subcategorie in de kolommen en per type (blootgesteld of ingesloten) in de rijen.

Op basis van bovenstaande figuur kan het VEKA een aantal vaststellingen illustreren. Net zoals bij de eengezinswoningen zien we een grote variatie tussen de verschillende onderzochte appartementen. Op basis van het isolatieniveau is er immers ook een analogie te trekken met de bouwperiodes. Oudere bouwperiodes stemmen immers vaak ook overeen met lagere isolatieniveaus en omgekeerd. De vorm van resultatenwolk bij de verschillende isolatieniveaus heeft veel kenmerken die we ook terugzagen bij de eengezinswoningen. Waar we voor de onderzochte maatregelen voor de vroege bouwperiodes (laag

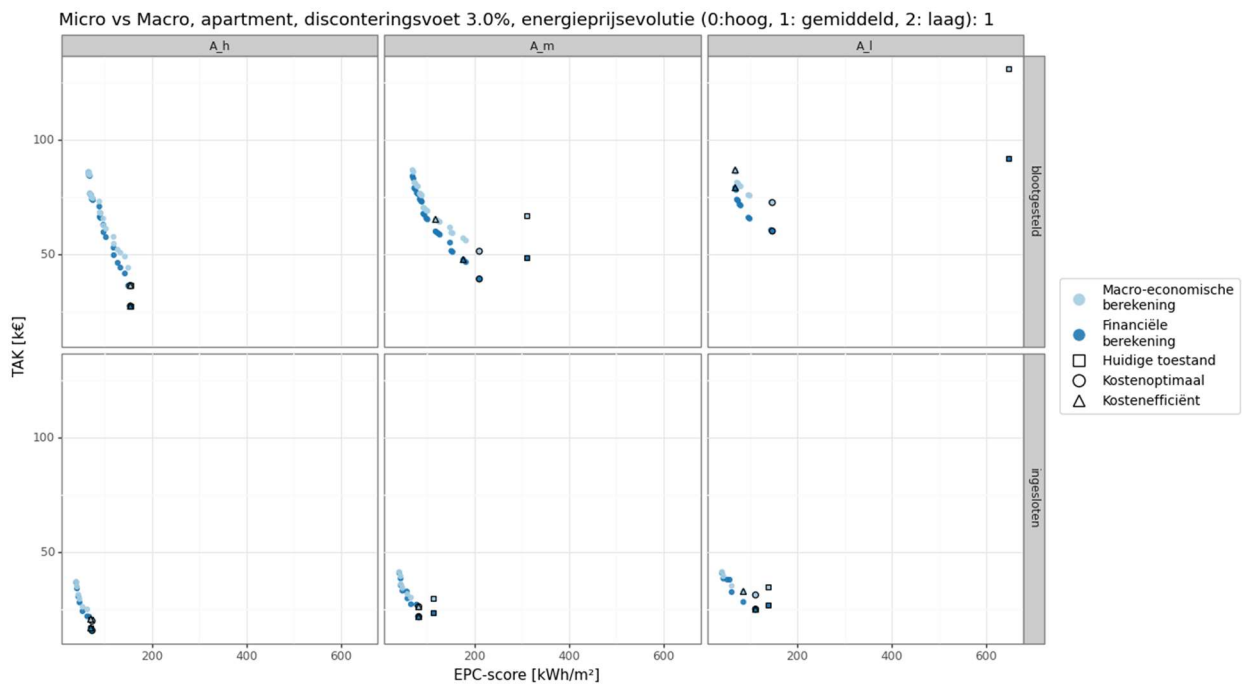
isolatieniveau) een breed uitgesmeerde resultatenwolk zien, wordt deze steeds geconcentreerder en steiler bij recentere bouwperiodes (en toenemend isolatieniveau).

Ook het verschil tussen de ingesloten appartementen en de blootgestelde appartementen is evident. Het ingesloten appartement heeft door zijn grote compactheid sowieso al lage EPC-scores, terwijl de blootgestelde appartementen op basis van hun isolatiegraad een grote variëteit aan EPC-scores weergeven, die logischerwijs afneemt bij hogere isolatiegraad.

Als we naar de kostenoptimale waarden voor de appartementen kijken, zien we dat de brede wolk bij het blootgestelde A_I appartement leidt tot een sterke daling van de EPC-waarde. Bij toenemende isolatiegraad neemt deze daling af. De waarde varieert voor het blootgestelde appartement ook grosso modo van 100 kWh/m² tot net boven 200 kWh/m². Voor het ingesloten appartement ligt de startwaarde voor de EPC-score al zeer laag en de kostenoptimale waarde varieert dan ook van onder 100 kWh/m² tot net boven 100 kWh/m².

7.2 Varianten en sensitiviteitsanalyse

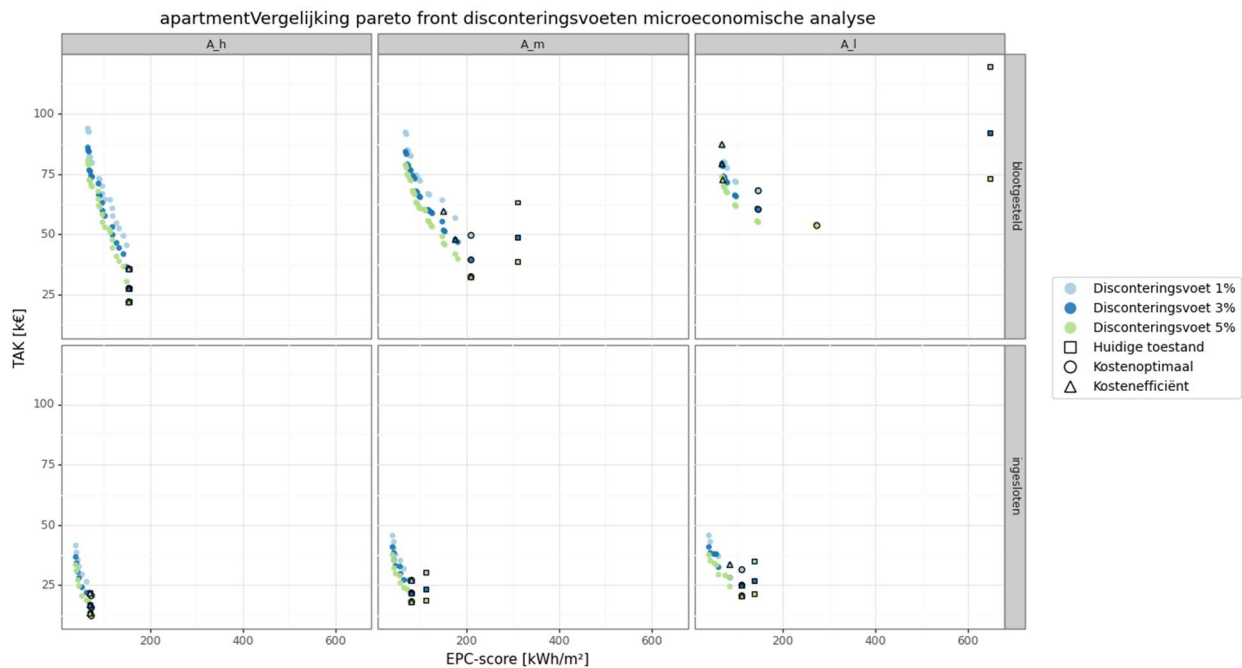
7.2.1 Macro-economische analyse



Figuur 18: micro en macro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de appartementen

Er is geen impact op het kostenoptimum waarneembaar tussen beide economische berekeningen bij de onderzochte appartementen. Er is enkel een verticale verschuiving naar boven te zien, maar deze is onvoldoende om het kostenoptimum te laten springen, zoals dat bij de eengezinswoningen wel gebeurde.

7.2.2 Discontovoet

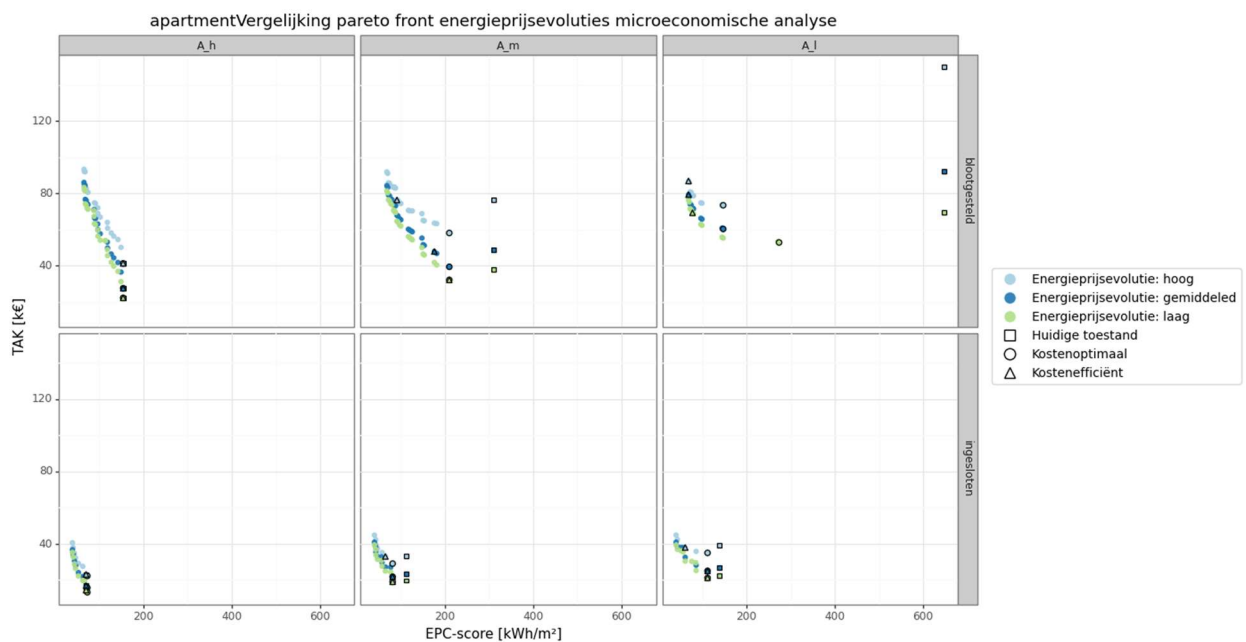


Figuur 19: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de appartementen disconteringsvoet 1%/3%/5%

Bij de appartementen zien we enkel een impact bij een hoge discontovoet van 5% bij het blootgesteld appartement A_l: een verschuiving van het optimum naar rechts tot bijna 300 kWh/m². Dit ligt op een vlak paretofront waarbij een punt met gelijkaardige TAK ruim onder 200 kWh/m² ligt. Te vergelijken met de waarnemingen bij oudere bouwperiodes bij eengezinswoningen.

Bij de lagere discontovoet van 1% zijn er geen wijzigingen aan de kostenoptima.

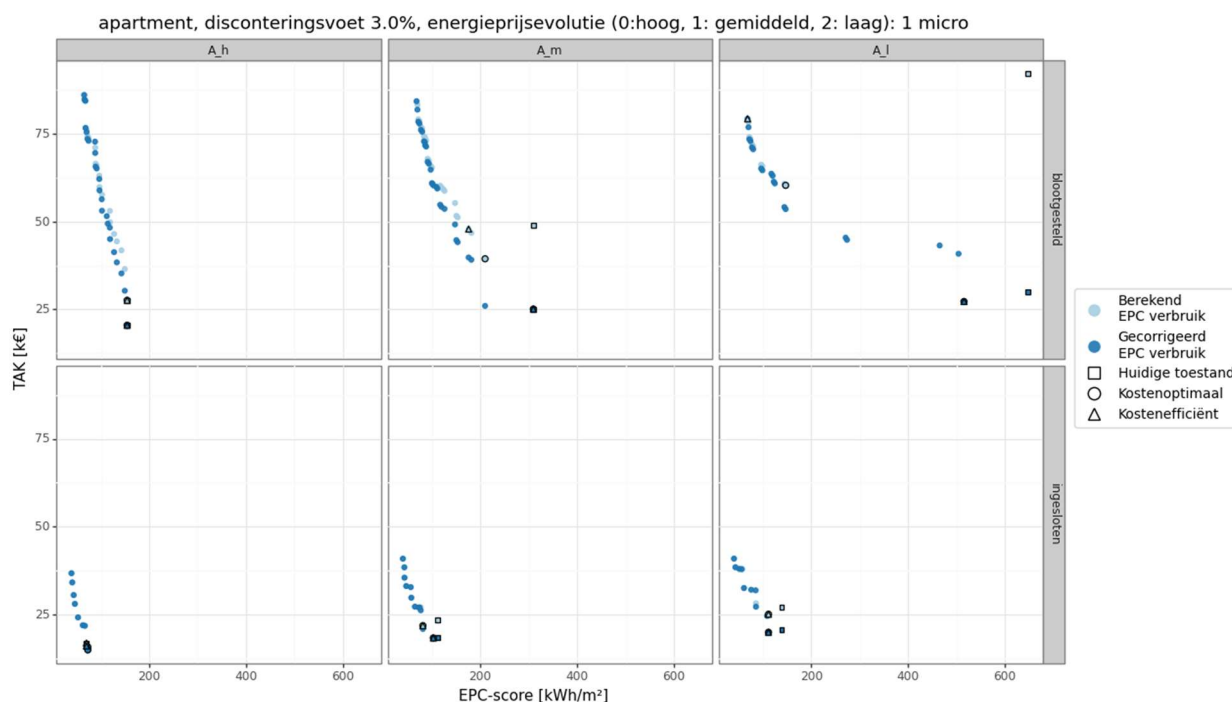
7.2.3 Energieprijzen



**Figuur 20: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de appartementen met hoog/gemiddeld/laag energieprijsscenario
Bovenaan: vrijstaand, midden: halfopen, onderaan: rijwoning**

De verschillen in energiestenari'o's zijn typisch groter bij hogere EPC-scores, omdat de berekende energieverbruiken dan logischerwijs ook hoger liggen. Dat zien we hier ook weer terug bij het blootgestelde appartement A_l: een verschuiving van het optimum naar rechts tot bijna 300 kWh/m² bij het lage energiestenari'o. Net zoals bij de hoge disconteringsvoet ligt dit optimum op een vlak paretofront met een punt met gelijkaardige TAK ruim onder 200 kWh/m².

7.2.4 Geschat energieverbruik



Figuur 21: micro TAK (k€) in functie van de EPC-score (kWh/m²) voor de M_m woning per typologie met hoog/gemiddeld/laag energieprijsscenario
Bovenaan: vrijstaand, midden: halfopen, onderaan: rijwoning

Ook hier zien we opnieuw geen onverwachte dingen. Het is opnieuw het blootgestelde appartement A_l waarbij de grootste impact op de kostenoptimale EPC-waarde wordt waargenomen. Ook bij blootgesteld appartement A_m is een sprong van ongeveer 100 kWh/m² zichtbaar. De impact op de andere appartementen is beduidend kleiner of zelfs afwezig voor de appartementen met hoge isolatiegraad.

Interessant bij blootgestelde appartement A_m is dat het optimum samenvalt met de starttoestand. Bij de eengezinswoningen was in alle gevallen nog de installatie van PV kostenoptimaal. Aangezien deze maatregel voor appartementen niet werd doorgerekend, wegens te afhankelijk van het gebouw, zorgt dat voor deze eenmalige vaststelling. Door de vorm van het paretofront blijkt de aanpassing van de verwarmingsinstallatie bij blootgesteld appartement A_l nog net kostenoptimaal, bij blootgesteld appartement A_m net niet, maar het punt bevindt zich wel op een zeer vlak paretofront.

Ook bij de appartementen zijn de resultaten dus het meest gevoelig aan de aannames over het berekend en werkelijk energieverbruik.

8 ALGEMEEN BESLUIT

In deze studie worden de kostenoptimale energieprestatieniveaus geëvalueerd bij renovatie, via de EPC-berekening voor bestaande gebouwen. Om dit na te gaan werden 135 referentiewoningen en 6 bijkomende appartementen geselecteerd op basis van EPC-data. Daarop werden per woning een tiental maatregelen en alle mogelijke combinaties ervan toegepast. Op basis van grafieken totale actuele kost (TAK) versus EPC-score (= berekend primair energieverbruik in kWh/m²) en de bijhorende paretofronten, worden de kostenoptimale niveaus geanalyseerd.

Voor de evaluatie van de EPB-eis bij ingrijpende energetische renovatie, namelijk E60, wordt gekeken naar de maatregelpakketten die voldoen aan de voorwaarden van een IER. Daaruit blijkt dat het kostenoptimale niveau voor dit type werken voor de theoretische EPC-berekening rond 100 kWh/m² schommelt. De verschillende sensitiviteitsanalyses hebben weinig impact op dit resultaat, gezien de IER-pakketten zich typisch hoog en links in de resultatenwolk bevinden, waar de paretofronten van de verschillende scenario's dicht bij elkaar liggen. Het 100 kWh/m²-niveau is in overeenstemming met de bepaling van de Vlaamse langetermijndoelstelling voor bestaande gebouwen (label A). Deze werd in het verleden onder meer bepaald als het equivalent van het E60-niveau uit de EPB-methode. We kunnen dan ook besluiten dat de huidige EPB-eis E60 voor ingrijpende energetische renovaties gemiddeld gezien in overeenstemming is met het kostenoptimaal niveau.

Wat de renovaties in het algemeen betreft, moeten we in onze conclusies iets voorzichtiger zijn. Als we naar de theoretische EPC-berekening kijken, dan zien we dat voor de oudere of slecht geïsoleerde woningen de kostenoptimale zone typisch van iets onder 100 kWh/m² tot ongeveer 200 kWh/m² loopt. De verschillende scenario's voor de economische parameters (micro/macro, discontovoet, energieprijzen) laten individuele referentiewoningen al wel eens heen en weer springen binnen deze zone, maar al bij al blijven de conclusies stand houden. Het paretofront van veel woningen blijkt in die zone bovendien redelijk vlak te verlopen, wat betekent dat voor beperkte bijkomende totale kosten een niveau rond 100 kWh/m² kan worden behaald.

Indien we echter een correctie uitvoeren op de EPC-berekening, in een poging om de theoretische berekeningen dichter te laten aanleunen bij werkelijke verbruiken, dan zien we dat de resultaten hier heel gevoelig aan zijn. Er wordt een veel grotere variatie aan kostenoptimale EPC-scores berekend, zeker voor de woningen uit de oudste bouwperiodes. Op basis van de resultaten wordt ook de invloed van de verschillende parameters verder uitvergroot: De woningen uit de meest recente bouwperiode behouden elk hun kostenoptimaal niveau onder 100 kWh/m² (met een PV-installatie als belangrijkste maatregel). De woningen uit de oudste bouwperiode (voor '45) vertonen de meest variatie, waarbij het laagste kostenoptimale niveau van ongeveer 140 kWh/m² behaald wordt voor de grote rijwoning met hoog (start)isolatieniveau en het hoogste niveau van bijna 600 kWh/m² bij de kleine vrijstaande woning met laag (start)isolatieniveau.

Aangezien de gecorrigeerde verbruiken uitgevoerd zijn via een vaste correctie op de berekende EPC-score, die geen rekening houdt met dynamische effecten zoals gedeeltelijke renovatie of verschillende effecten voor en na de renovatie, is de belangrijkste conclusie dat er bijkomend onderzoek over dit specifieke aspect nodig is, zeker gezien de impact op de theoretisch berekende resultaten.

Het is de eerste keer dat de kostenoptimale berekening uit de EPBD-richtlijn werd uitgevoerd voor zoveel woningen. In deze conclusie wordt gefocust op de verplichte aspecten die in dat kader moeten worden onderzocht, namelijk de kostenoptimale niveaus en hun verhouding tot de geldende eisenniveaus (in casu de EPB-eis bij ingrijpende energetische renovaties). Op basis van de beschikbare gegevens zijn echter nog bijkomende interessante analyses mogelijk over de toegepaste maatregelen en maatregelpakketten of de impact van de slechtst presterende woningen en hun voorkomen in het woningenbestand, zoals degene die geïsoleerd worden door de renovatieverplichting. Het VEKA plant dan ook nog bijkomende analyses op de beschikbare data, in ondersteuning van het renovatiebeleid.

BIJLAGE A: REFERENTIEGEBOUWEN

Tabel geometrische eigenschappen van de geselecteerde referentiewoningen

Type: G = gesloten bebouwing, HO = halfopen bebouwing, O = open bebouwing, A = appartement

Opwekker: G = gasketel, CG = condensatiegasketel, O = stookolieketel

Case	Type	Periode	Categorie	Totale opp (m ²)	Beschermd volume (m ³)	Verliesopp (m ²)	Aandeel vensters (m ² /m ² vloer)	Udak (W/m ² K)	Umuur (W/m ² K)	Uvloer (W/m ² K)	Uvenster (W/m ² K)	Opwekker
0	G	<45	S_h	97.66	285.09	164.34	12%	0.74	1.86	0.82	2.87	G
1	G	<45	S_m	96.42	284.34	168.68	13%	2.12	2.34	0.97	3.71	G
2	G	<45	S_l	94.69	280.25	165.87	13%	3.30	2.54	1.17	4.17	G
3	G	<45	M_h	133.30	409.52	210.74	10%	0.69	1.86	0.85	2.81	G
4	G	<45	M_m	131.87	406.99	218.95	12%	1.95	2.34	1.05	3.57	G
5	G	<45	M_l	132.54	409.55	217.78	12%	3.35	2.51	1.23	4.00	G
6	G	<45	L_h	180.74	583.56	277.71	10%	0.68	1.78	0.90	2.79	G
7	G	<45	L_m	183.64	594.41	285.90	12%	1.75	2.31	1.16	3.46	G
8	G	<45	L_l	183.85	600.51	282.80	11%	3.35	2.50	1.31	4.01	G
9	G	45-70	S_h	103.58	298.57	175.22	14%	0.74	1.74	0.87	2.80	G
10	G	45-70	S_m	105.12	302.94	179.68	13%	2.31	2.14	1.04	3.56	G
11	G	45-70	S_l	104.39	303.29	176.21	13%	3.27	2.41	1.28	4.09	G
12	G	45-70	M_h	141.23	422.78	219.06	11%	0.73	1.83	0.91	2.79	G
13	G	45-70	M_m	141.88	422.34	225.69	12%	2.15	2.15	1.06	3.57	G
14	G	45-70	M_l	141.55	422.10	221.42	12%	3.38	2.36	1.25	4.01	G
15	G	45-70	L_h	186.14	580.67	276.72	11%	0.73	1.80	0.92	2.87	G

Case	Type	Periode	Categorie	Totale opp (m ²)	Beschermd volume (m ³)	Verliesopp (m ²)	Aandeel vensters (m ² /m ² vloer)	Udak (W/m ² K)	Umuur (W/m ² K)	Uvloer (W/m ² K)	Uvenster (W/m ² K)	Opwekker
16	G	45-70	L_m	186.73	575.97	281.61	12%	2.00	2.17	1.09	3.56	G
17	G	45-70	L_l	187.67	577.94	270.98	12%	3.48	2.35	1.24	4.02	G
18	G	71-90	S_h	101.67	292.69	204.96	16%	0.58	1.09	0.73	2.83	G
19	G	71-90	S_m	104.55	299.79	198.49	17%	0.92	1.59	0.82	3.23	G
20	G	71-90	S_l	112.25	315.07	192.44	15%	1.84	1.80	1.04	3.90	G
21	G	71-90	M_h	145.36	432.32	240.95	13%	0.56	1.07	0.71	2.84	G
22	G	71-90	M_m	149.75	431.35	235.55	13%	0.84	1.55	0.80	3.17	G
23	G	71-90	M_l	152.81	433.64	219.73	12%	1.74	1.72	0.98	3.84	G
24	G	71-90	L_h	191.45	583.97	281.79	11%	0.56	1.03	0.73	2.85	G
25	G	71-90	L_m	189.77	565.63	264.88	11%	0.81	1.50	0.85	3.19	G
26	G	71-90	L_l	192.04	570.45	257.80	11%	1.59	1.72	1.04	3.83	G
27	G	91-05	S_h	109.38	314.60	194.44	13%	0.41	0.62	0.53	2.50	G
28	G	91-05	S_m	109.75	311.84	184.84	14%	0.51	0.72	0.65	2.72	G
29	G	91-05	S_l	110.76	312.83	181.60	13%	0.80	1.00	0.98	2.83	G
30	G	91-05	M_h	148.89	442.25	235.58	12%	0.39	0.63	0.53	2.39	G
31	G	91-05	M_m	151.88	444.41	234.57	12%	0.48	0.72	0.67	2.72	G
32	G	91-05	M_l	155.09	448.41	220.75	11%	0.76	0.92	0.91	2.96	G
33	G	91-05	L_h	192.86	596.02	288.45	12%	0.39	0.62	0.53	2.36	G
34	G	91-05	L_m	194.94	597.02	275.88	11%	0.47	0.70	0.69	2.72	G
35	G	91-05	L_l	197.56	594.56	266.12	11%	0.66	0.91	0.93	2.98	G
36	G	06-12	S_h	113.05	333.90	190.30	13%	0.32	0.49	0.38	2.09	CG

Case	Type	Periode	Categorie	Totale opp (m ²)	Beschermd volume (m ³)	Verliesopp (m ²)	Aandeel vensters (m ² /m ² vloer)	Udak (W/m ² K)	Umuur (W/m ² K)	Uvloer (W/m ² K)	Uvenster (W/m ² K)	Opwekker
37	G	06-12	S_m	116.19	339.20	189.69	14%	0.38	0.58	0.55	2.18	CG
38	G	06-12	S_l	118.49	341.05	183.43	14%	0.55	0.76	0.68	2.44	CG
39	G	06-12	M_h	147.63	449.90	242.62	14%	0.30	0.48	0.38	2.04	CG
40	G	06-12	M_m	153.10	456.46	232.65	12%	0.36	0.59	0.50	2.24	CG
41	G	06-12	M_l	154.92	454.24	222.90	13%	0.49	0.69	0.65	2.44	CG
42	G	06-12	L_h	185.51	595.47	282.13	12%	0.31	0.47	0.38	2.14	CG
43	G	06-12	L_m	188.97	594.07	269.48	12%	0.36	0.57	0.50	2.26	CG
44	G	06-12	L_l	192.04	608.40	269.85	12%	0.55	0.78	0.68	2.41	CG
45	HO	<45	S_h	101.92	292.06	233.74	22%	0.75	1.65	0.83	2.94	G
46	HO	<45	S_m	100.11	289.72	235.12	23%	2.05	2.25	0.95	3.69	G
47	HO	<45	S_l	99.01	284.88	230.04	23%	3.20	2.54	1.08	4.19	G
48	HO	<45	M_h	141.88	424.07	302.20	18%	0.76	1.64	0.84	2.87	G
49	HO	<45	M_m	139.71	421.14	304.44	20%	1.95	2.25	1.00	3.52	G
50	HO	<45	M_l	139.40	420.79	301.27	20%	3.19	2.51	1.13	4.06	G
51	HO	<45	L_h	189.09	599.04	384.47	17%	0.71	1.59	0.87	2.81	G
52	HO	<45	L_m	188.90	598.08	384.15	19%	1.78	2.25	1.06	3.48	G
53	HO	<45	L_l	188.34	600.65	382.77	17%	3.23	2.49	1.19	4.06	G
54	HO	45-70	S_h	108.27	309.14	236.28	21%	0.79	1.69	0.89	2.86	G
55	HO	45-70	S_m	112.99	322.34	240.64	21%	2.30	2.01	0.99	3.52	G
56	HO	45-70	S_l	112.70	320.77	239.87	21%	3.16	2.33	1.16	4.05	G
57	HO	45-70	M_h	147.67	437.47	296.49	19%	0.81	1.70	0.91	2.86	G

Case	Type	Periode	Categorie	Totale opp (m ²)	Beschermd volume (m ³)	Verliesopp (m ²)	Aandeel vensters (m ² /m ² vloer)	Udak (W/m ² K)	Umuur (W/m ² K)	Uvloer (W/m ² K)	Uvenster (W/m ² K)	Opwekker
58	HO	45-70	M_m	147.56	433.83	297.72	20%	2.21	2.02	1.01	3.58	G
59	HO	45-70	M_l	147.24	433.17	297.83	20%	3.17	2.29	1.18	4.09	G
60	HO	45-70	L_h	189.88	589.55	366.84	18%	0.79	1.68	0.92	2.89	G
61	HO	45-70	L_m	188.73	577.47	363.91	19%	2.01	2.07	1.06	3.58	G
62	HO	45-70	L_l	188.74	578.09	363.23	19%	3.29	2.27	1.19	4.02	G
63	HO	71-90	S_h	102.48	294.41	246.63	23%	0.56	1.00	0.69	2.86	O
64	HO	71-90	S_m	107.54	307.25	242.99	21%	0.85	1.54	0.80	3.13	O
65	HO	71-90	S_l	112.32	317.91	241.23	22%	1.86	1.77	0.99	3.71	O
66	HO	71-90	M_h	152.03	445.68	312.38	19%	0.57	0.92	0.71	2.87	O
67	HO	71-90	M_m	152.09	445.14	305.74	19%	0.82	1.51	0.81	3.12	O
68	HO	71-90	M_l	153.42	442.85	295.12	19%	1.80	1.72	1.01	3.77	O
69	HO	71-90	L_h	195.83	598.48	376.47	17%	0.56	0.89	0.73	2.89	O
70	HO	71-90	L_m	194.27	593.05	366.05	18%	0.82	1.42	0.89	3.16	O
71	HO	71-90	L_l	194.55	585.83	355.27	18%	1.62	1.73	1.06	3.66	O
72	HO	91-05	S_h	117.00	336.35	251.55	20%	0.39	0.61	0.51	2.43	G
73	HO	91-05	S_m	122.40	348.79	251.90	20%	0.47	0.71	0.64	2.72	G
74	HO	91-05	S_l	121.52	342.71	250.31	20%	0.77	0.94	0.90	2.92	G
75	HO	91-05	M_h	160.15	473.07	305.73	18%	0.38	0.61	0.52	2.36	G
76	HO	91-05	M_m	160.22	473.16	303.86	18%	0.46	0.70	0.65	2.70	G
77	HO	91-05	M_l	162.47	475.35	304.49	19%	0.82	0.91	0.89	2.90	G
78	HO	91-05	L_h	203.25	632.39	372.37	16%	0.38	0.59	0.52	2.36	G

Case	Type	Periode	Categorie	Totale opp (m ²)	Beschermd volume (m ³)	Verliesopp (m ²)	Aandeel vensters (m ² /m ² vloer)	Udak (W/m ² K)	Umuur (W/m ² K)	Uvloer (W/m ² K)	Uvenster (W/m ² K)	Opwekker
79	HO	91-05	L_m	205.04	631.77	370.71	16%	0.46	0.69	0.67	2.67	G
80	HO	91-05	L_l	206.67	630.81	372.12	16%	0.72	0.87	0.93	2.90	G
81	HO	06-12	S_h	122.10	353.03	254.05	21%	0.30	0.48	0.37	2.00	CG
82	HO	06-12	S_m	128.80	363.46	257.80	21%	0.36	0.59	0.47	2.16	CG
83	HO	06-12	S_l	126.31	366.27	246.51	21%	0.48	0.69	0.63	2.39	CG
84	HO	06-12	M_h	159.72	480.96	303.09	21%	0.31	0.47	0.38	2.01	CG
85	HO	06-12	M_m	158.52	478.55	303.16	21%	0.34	0.57	0.49	2.16	CG
86	HO	06-12	M_l	163.03	476.97	298.17	20%	0.49	0.68	0.61	2.31	CG
87	HO	06-12	L_h	201.28	633.91	371.91	17%	0.29	0.45	0.36	2.02	CG
88	HO	06-12	L_m	201.88	633.75	369.88	18%	0.35	0.58	0.48	2.18	CG
89	HO	06-12	L_l	202.98	625.57	361.86	18%	0.58	0.68	0.61	2.37	CG
90	O	<45	S_h	110.74	314.03	301.86	24%	0.84	1.62	0.85	3.16	O
91	O	<45	S_m	105.19	303.31	301.32	26%	2.15	2.23	0.92	3.88	O
92	O	<45	S_l	105.39	301.76	297.24	27%	3.14	2.54	1.07	4.20	O
93	O	<45	M_h	156.26	462.37	391.12	22%	0.80	1.62	0.86	3.02	O
94	O	<45	M_m	153.75	457.92	391.01	24%	2.08	2.17	0.96	3.67	O
95	O	<45	M_l	152.47	455.84	385.63	25%	3.14	2.51	1.09	4.11	O
96	O	<45	L_h	204.88	647.12	478.81	19%	0.72	1.56	0.85	2.91	O
97	O	<45	L_m	201.92	632.89	473.82	20%	1.89	2.19	1.05	3.60	O
98	O	<45	L_l	201.44	642.11	475.88	21%	3.21	2.47	1.21	4.02	O
99	O	45-70	S_h	120.81	345.92	328.35	24%	0.78	1.59	0.94	3.08	O

Case	Type	Periode	Categorie	Totale opp (m ²)	Beschermd volume (m ³)	Verliesopp (m ²)	Aandeel vensters (m ² /m ² vloer)	Udak (W/m ² K)	Umuur (W/m ² K)	Uvloer (W/m ² K)	Uvenster (W/m ² K)	Opwekker
100	O	45-70	S_m	123.48	353.53	324.43	26%	2.22	1.98	1.02	3.69	O
101	O	45-70	S_l	122.79	350.00	318.21	27%	3.22	2.28	1.17	4.14	O
102	O	45-70	M_h	161.94	482.66	403.22	23%	0.79	1.60	0.94	3.00	O
103	O	45-70	M_m	163.41	480.29	396.37	24%	2.16	1.97	1.04	3.60	O
104	O	45-70	M_l	163.04	478.44	390.91	24%	3.25	2.22	1.17	4.09	O
105	O	45-70	L_h	204.47	641.08	477.78	19%	0.75	1.59	0.96	3.00	O
106	O	45-70	L_m	204.84	627.17	467.17	20%	1.99	1.99	1.10	3.59	O
107	O	45-70	L_l	205.41	626.89	461.83	20%	3.28	2.19	1.21	4.04	O
108	O	71-90	S_h	125.87	362.07	343.44	23%	0.50	0.77	0.69	2.87	O
109	O	71-90	S_m	125.39	362.53	346.93	23%	0.71	1.30	0.90	3.15	O
110	O	71-90	S_l	125.26	362.95	348.94	23%	1.62	1.67	1.13	3.63	O
111	O	71-90	M_h	176.06	524.00	433.14	21%	0.49	0.75	0.69	2.87	O
112	O	71-90	M_m	175.76	524.15	438.40	21%	0.73	1.26	0.91	3.12	O
113	O	71-90	M_l	176.24	522.72	444.30	21%	1.62	1.62	1.15	3.51	O
114	O	71-90	L_h	215.81	685.93	501.41	18%	0.49	0.75	0.70	2.86	O
115	O	71-90	L_m	215.57	682.52	503.62	18%	0.72	1.25	0.92	3.08	O
116	O	71-90	L_l	216.08	673.76	504.63	18%	1.47	1.63	1.13	3.45	O
117	O	91-05	S_h	128.10	364.49	321.43	24%	0.40	0.57	0.54	2.51	G
118	O	91-05	S_m	129.92	370.78	317.35	24%	0.49	0.70	0.71	2.78	G
119	O	91-05	S_l	129.92	368.68	323.90	24%	0.88	1.05	1.00	2.92	G
120	O	91-05	M_h	187.13	554.40	421.60	22%	0.37	0.58	0.52	2.45	G

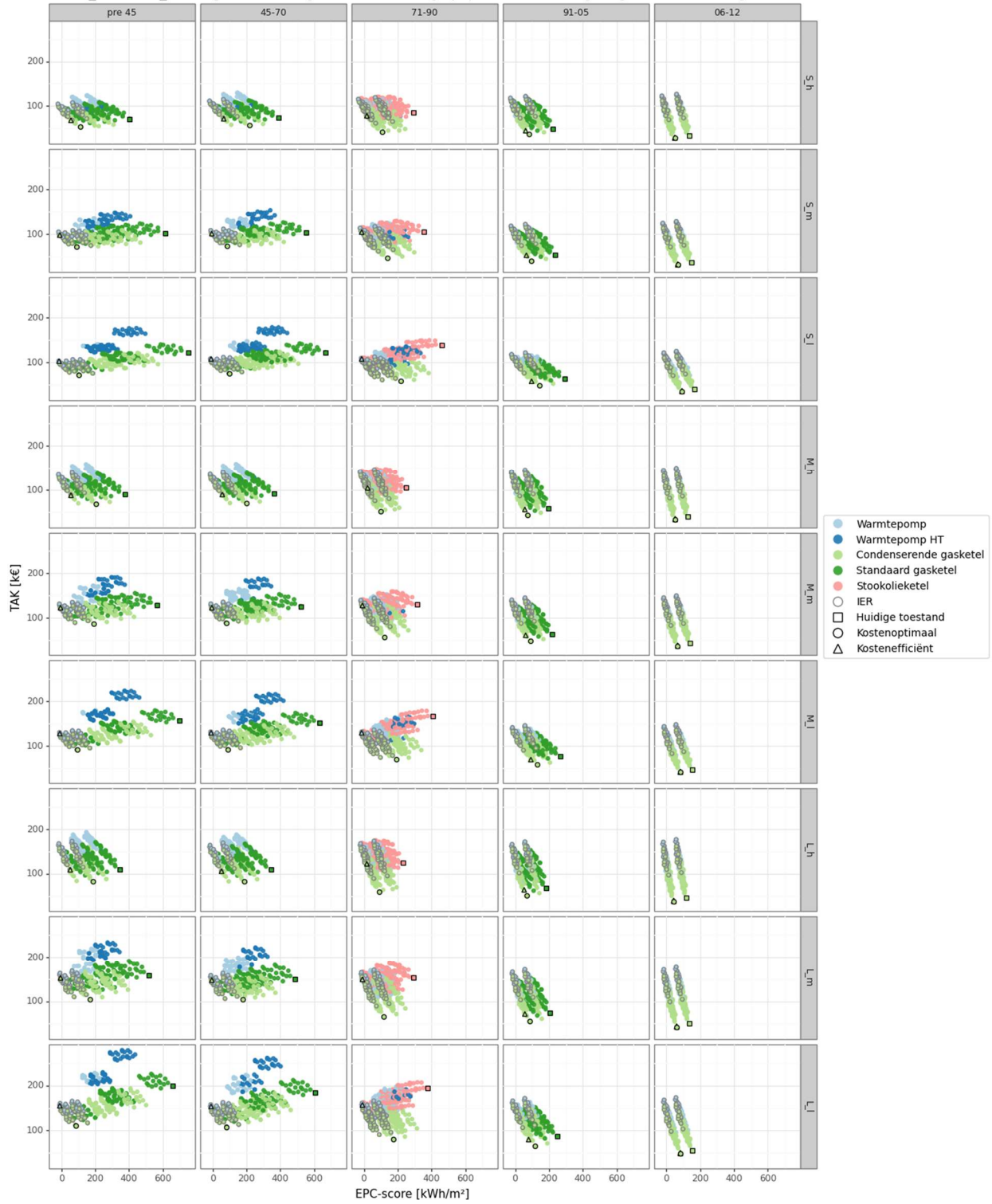
Case	Type	Periode	Categorie	Totale opp (m ²)	Beschermd volume (m ³)	Verliesopp (m ²)	Aandeel vensters (m ² /m ² vloer)	Udak (W/m ² K)	Umuur (W/m ² K)	Uvloer (W/m ² K)	Uvenster (W/m ² K)	Opwekker
121	O	91-05	M_m	186.58	553.99	416.07	21%	0.47	0.69	0.71	2.77	G
122	O	91-05	M_l	187.91	553.97	424.01	22%	0.85	0.93	1.03	2.89	G
123	O	91-05	L_h	221.45	716.90	499.27	19%	0.37	0.59	0.52	2.46	G
124	O	91-05	L_m	222.58	707.01	490.50	19%	0.46	0.70	0.71	2.77	G
125	O	91-05	L_l	222.80	705.87	494.78	19%	0.78	0.93	1.03	2.91	G
126	O	06-12	S_h	104.37	289.00	275.67	32%	0.32	0.44	0.37	2.12	CG
127	O	06-12	S_m	104.65	296.57	268.34	32%	0.38	0.57	0.55	2.22	CG
128	O	06-12	S_l	92.21	262.29	238.51	32%	0.43	0.86	0.80	2.39	CG
129	O	06-12	M_h	175.66	522.45	393.05	25%	0.30	0.46	0.40	1.95	CG
130	O	06-12	M_m	180.67	531.09	402.11	25%	0.35	0.57	0.49	2.16	CG
131	O	06-12	M_l	181.11	520.15	385.79	24%	0.59	0.71	0.67	2.36	CG
132	O	06-12	L_h	216.10	706.09	488.30	22%	0.29	0.44	0.35	2.01	CG
133	O	06-12	L_m	221.39	714.02	485.12	22%	0.35	0.56	0.49	2.20	CG
134	O	06-12	L_l	222.58	708.52	473.83	22%	0.70	0.62	0.67	2.41	CG
135	A	06-12	Ain_h	85.00	250.00	25.04	15%	0.45	0.66	0.71	2.51	CG
136	A	71-90	Ain_m	85.00	250.00	25.04	15%	0.72	1.24	1.12	2.92	G
137	A	<45	Ain_l	85.00	250.00	25.04	15%	2.65	2.13	1.56	3.59	G
138	A	06-12	Abl_h	85.00	250.00	164.40	25%	0.45	0.66	0.71	2.51	CG
139	A	71-90	Abl_m	85.00	250.00	164.40	25%	0.72	1.24	1.12	2.92	G
140	A	<45	Abl_l	85.00	250.00	164.40	25%	2.65	2.13	1.56	3.59	G

BIJLAGE B: RESULTATEN EENGEZINSWONINGEN

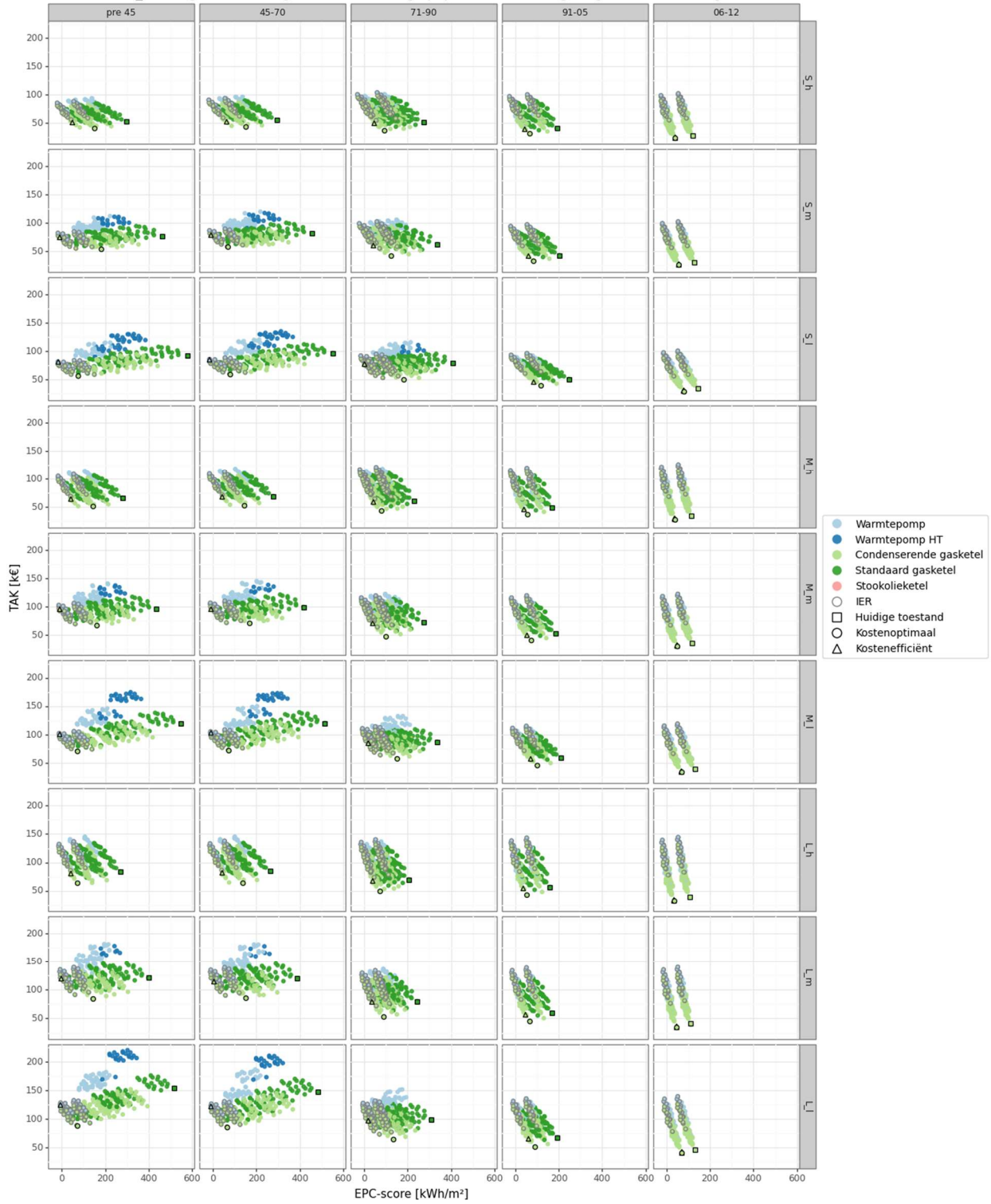
Eengezinswoningen, basisscenario (micro, 3%, gemiddelde energieprijis)



semi_detached_building, disconteringsvoet 3.0%, energieprijsevolutie (0:hoog, 1: gemiddeld, 2: laag): 1

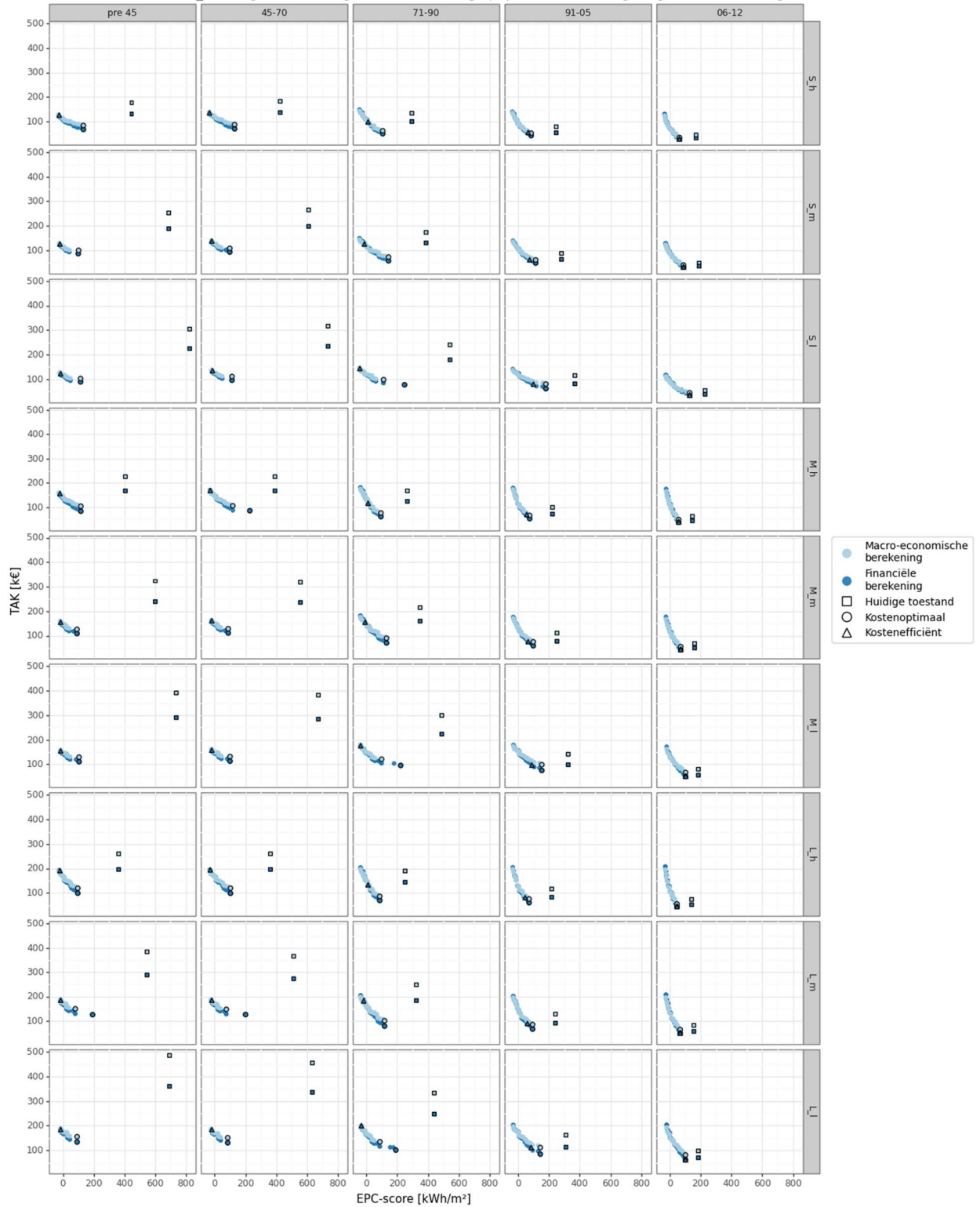


terraced_building, disconteringsvoet 3.0%, energieprijsevolutie (0:hoog, 1: gemiddeld, 2: laag): 1

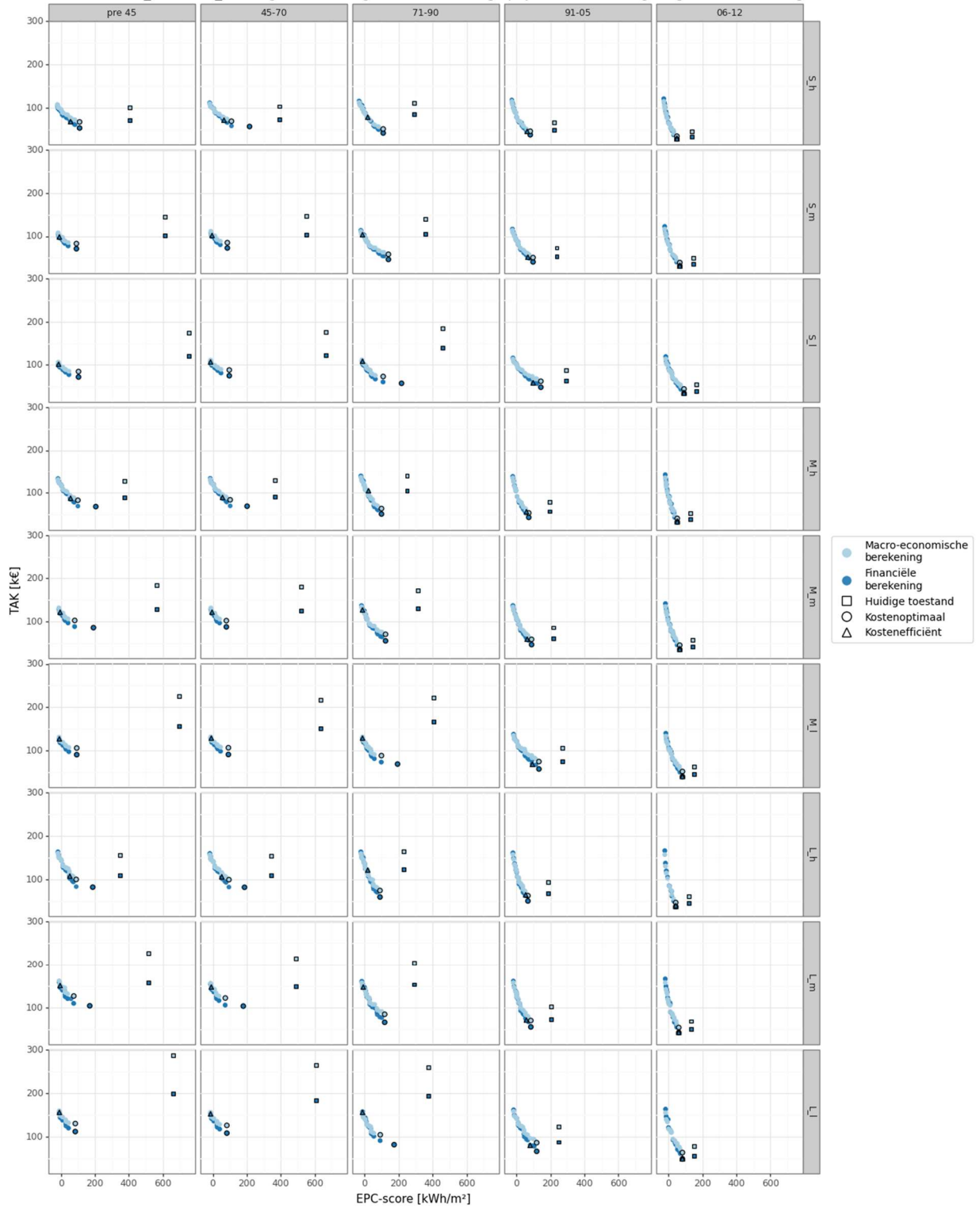


Eengezinswoningen, vergelijking scenario micro /macro

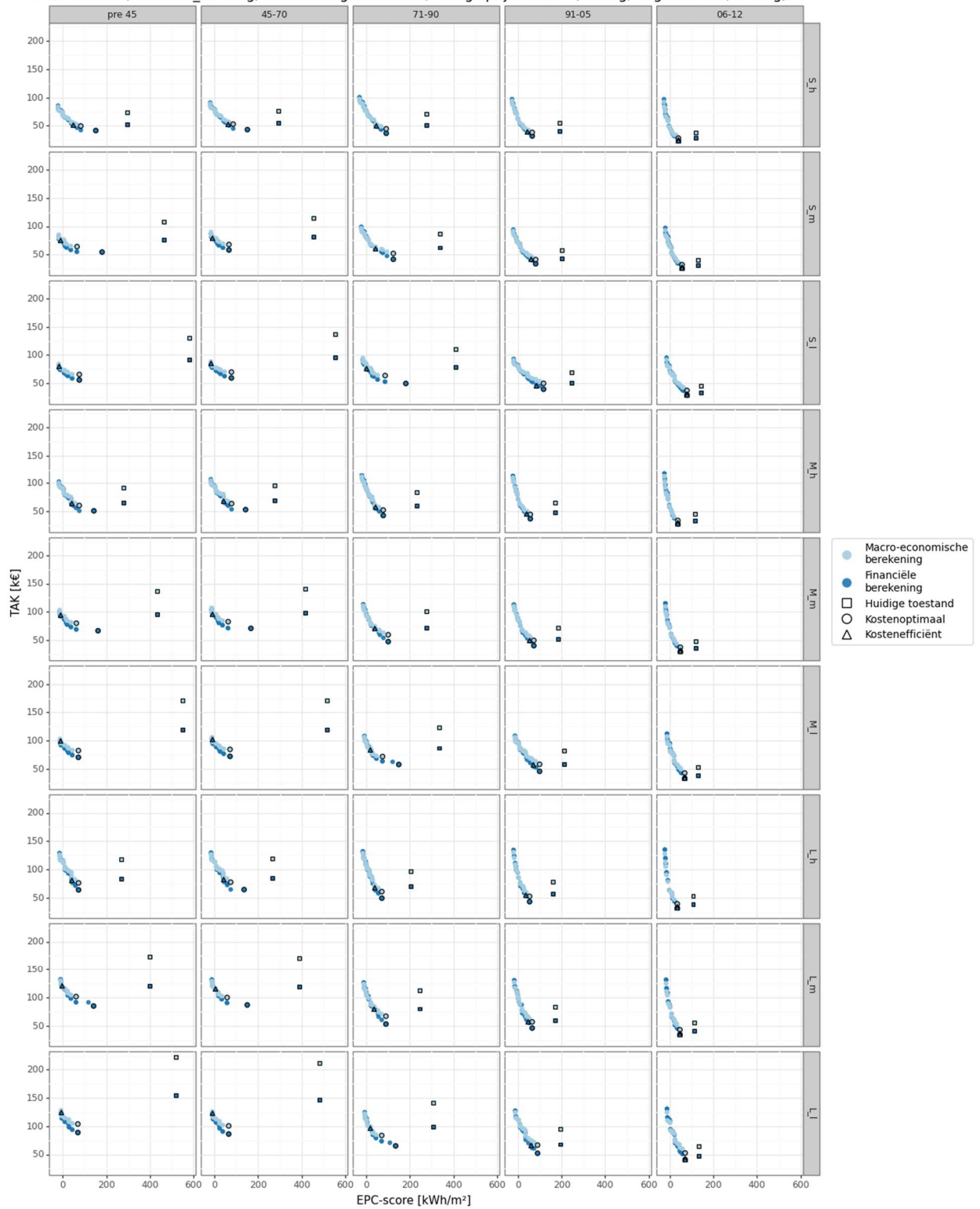
Micro vs Macro, detached building, disconteringsvoet 3.0%, energieprijsevolutie (0:hoog, 1: gemiddeld, 2: laag): 1



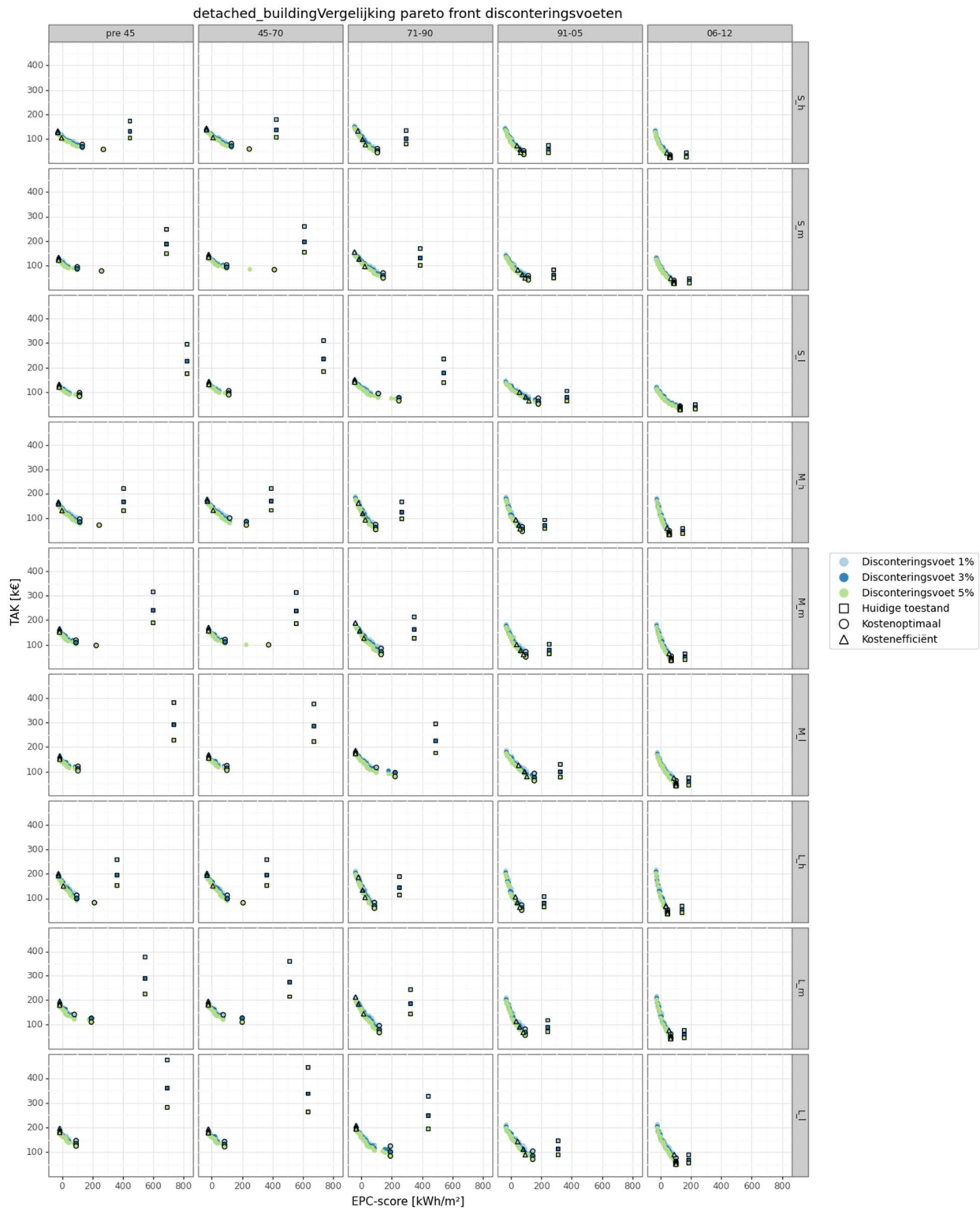
Micro vs Macro, semi_detached_building, disconteringsvoet 3.0%, energieprijsevolutie (0:hoog, 1: gemiddeld, 2: laag): 1



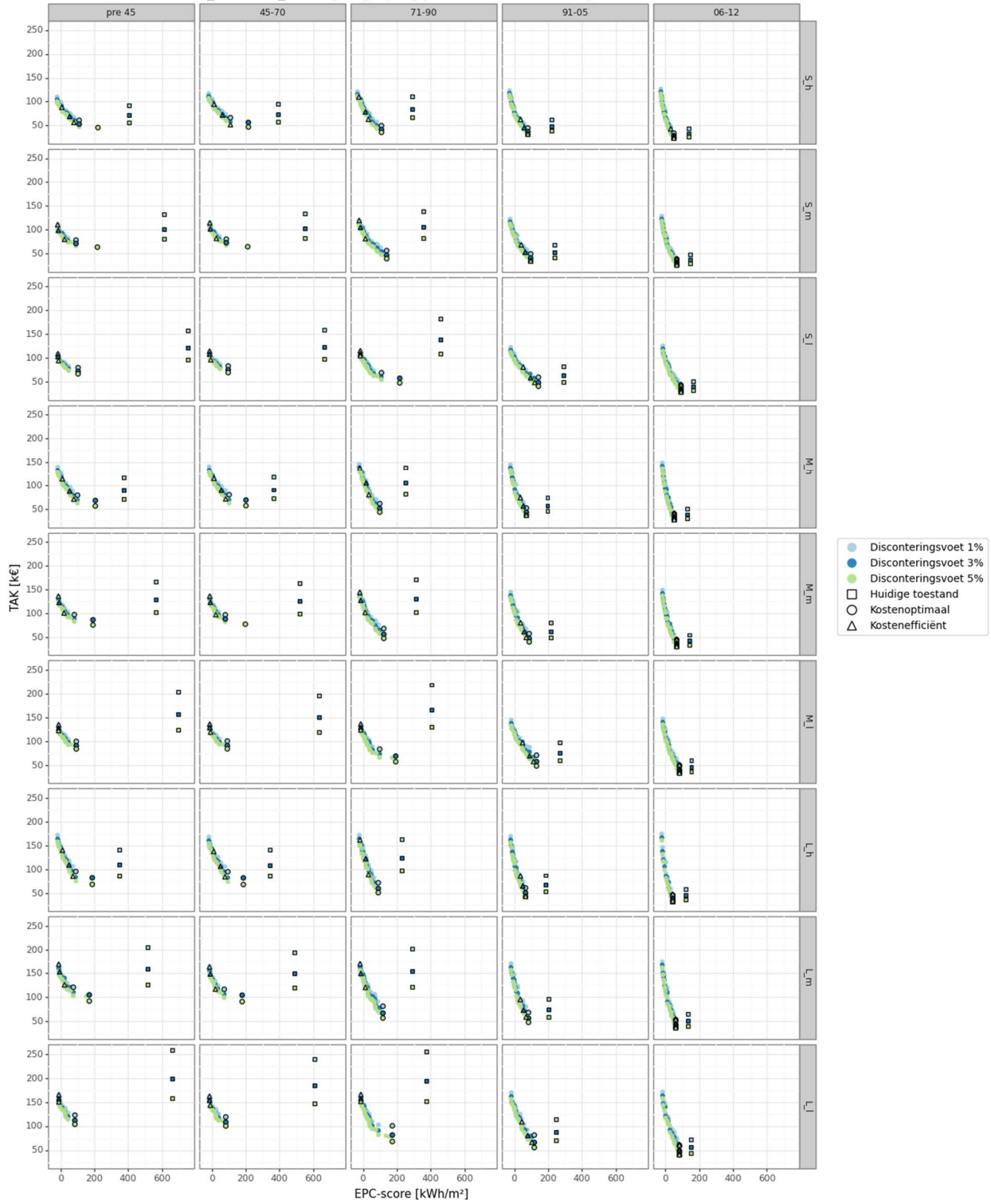
Micro vs Macro, terraced building, disconteringsvoet 3.0%, energieprijsolutie (0:hoog, 1: gemiddeld, 2: laag): 1



Eengezinswoningen, sensitiviteitsanalyse discontoet



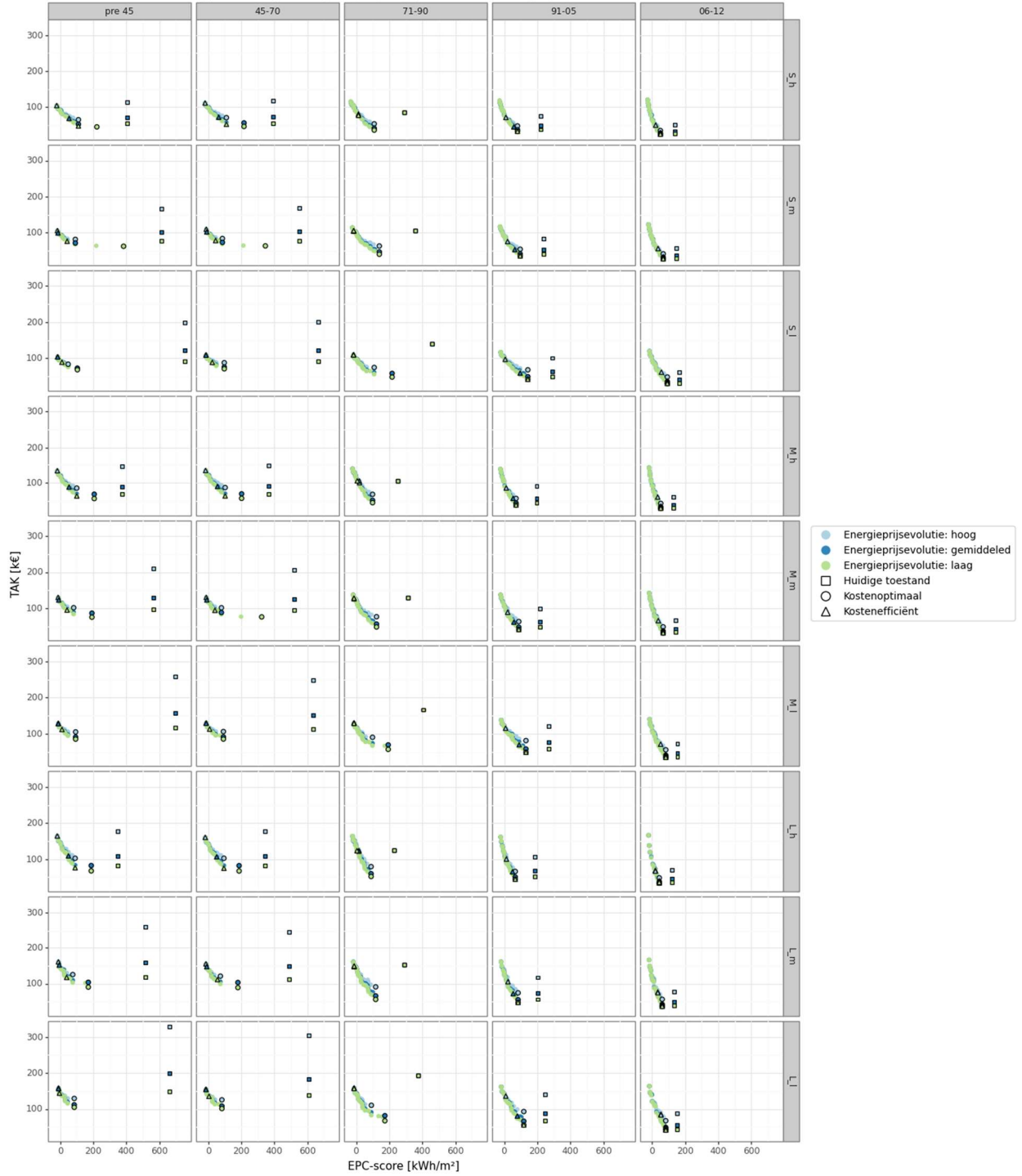
semi_detached_buildingVergelijking pareto front disconteringsvoeten



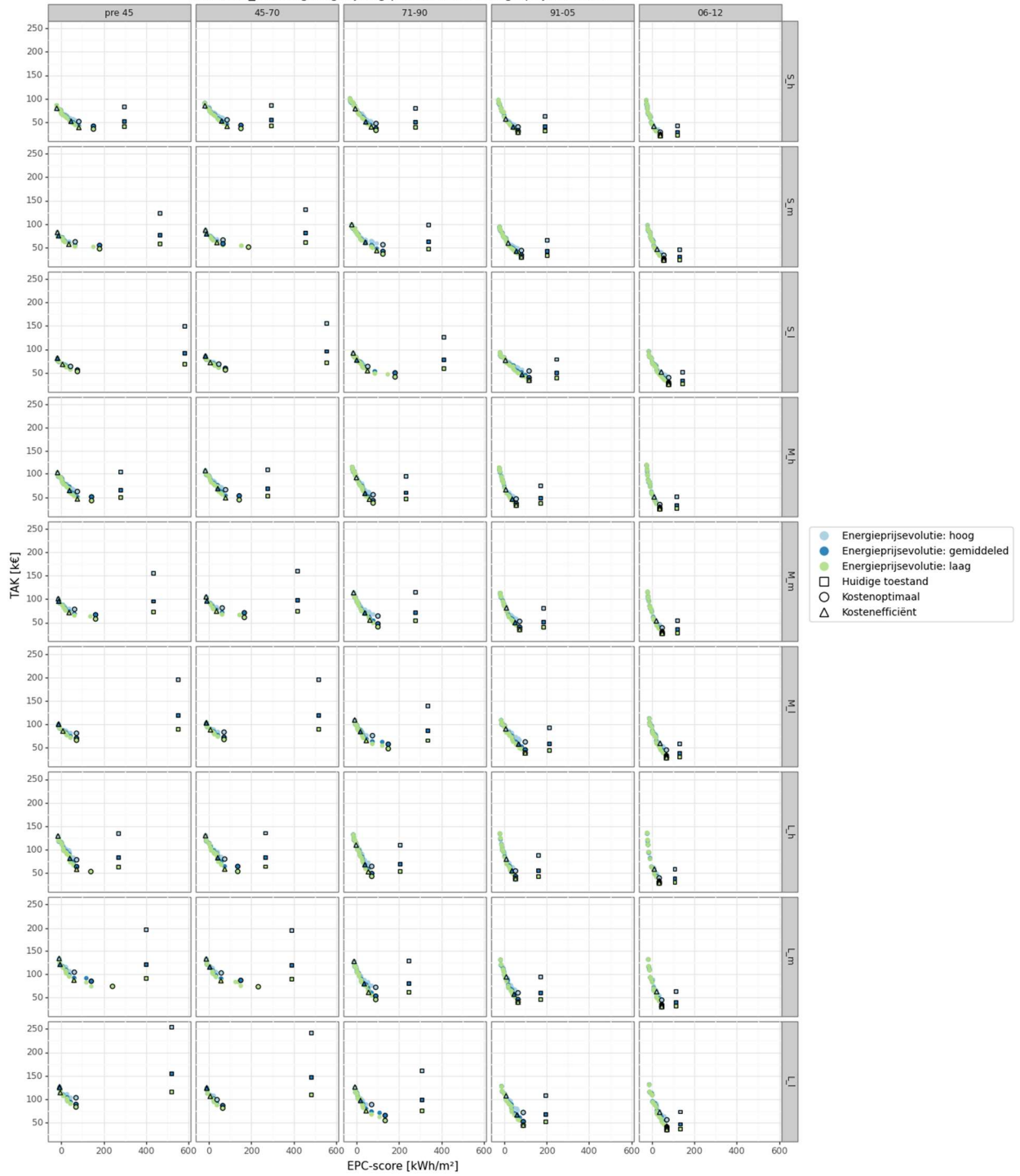
Eengezinswoningen, sensitiviteitsanalyse energieprijzen



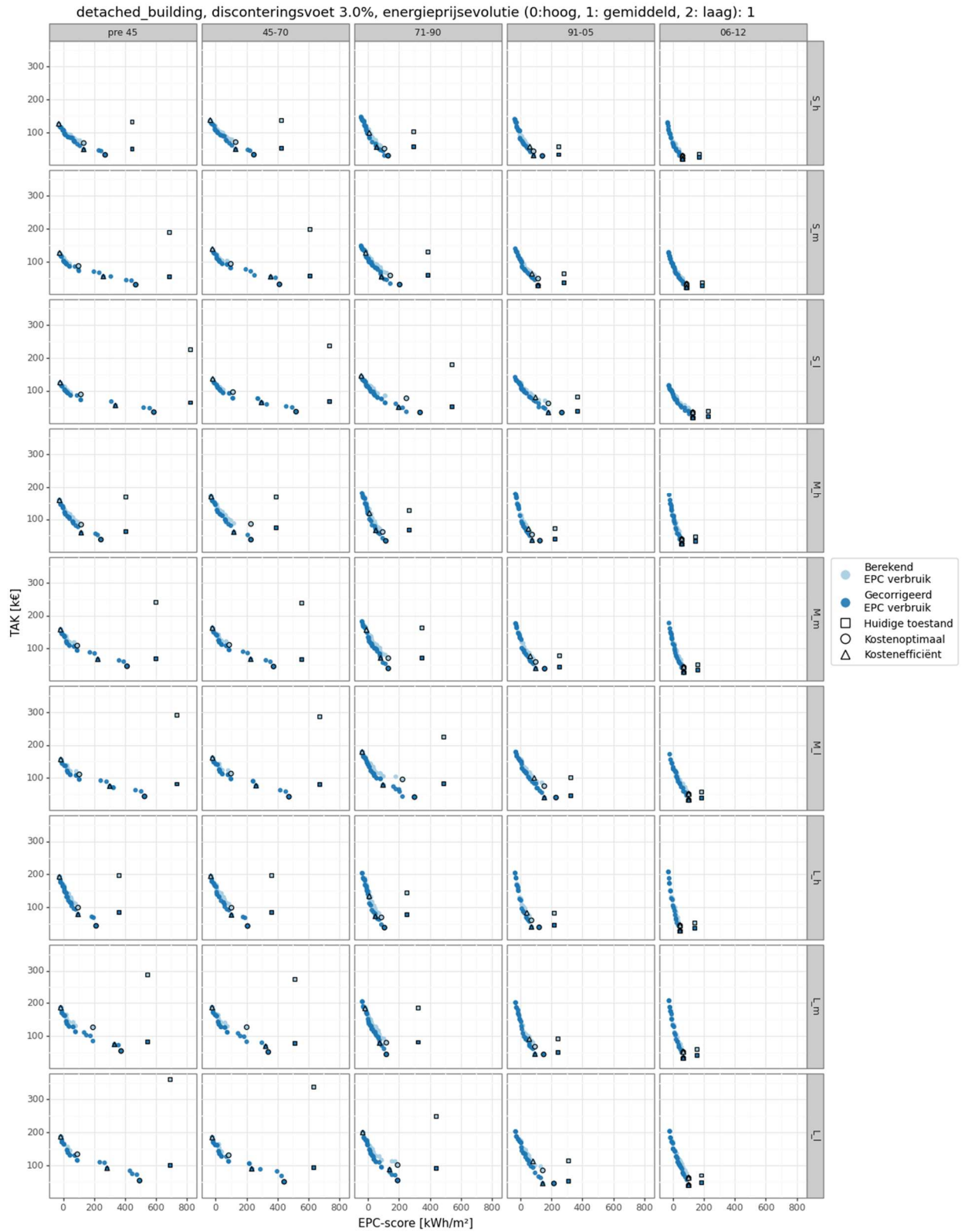
semi_detached_buildingVergelijking pareto front energieprijsoluties



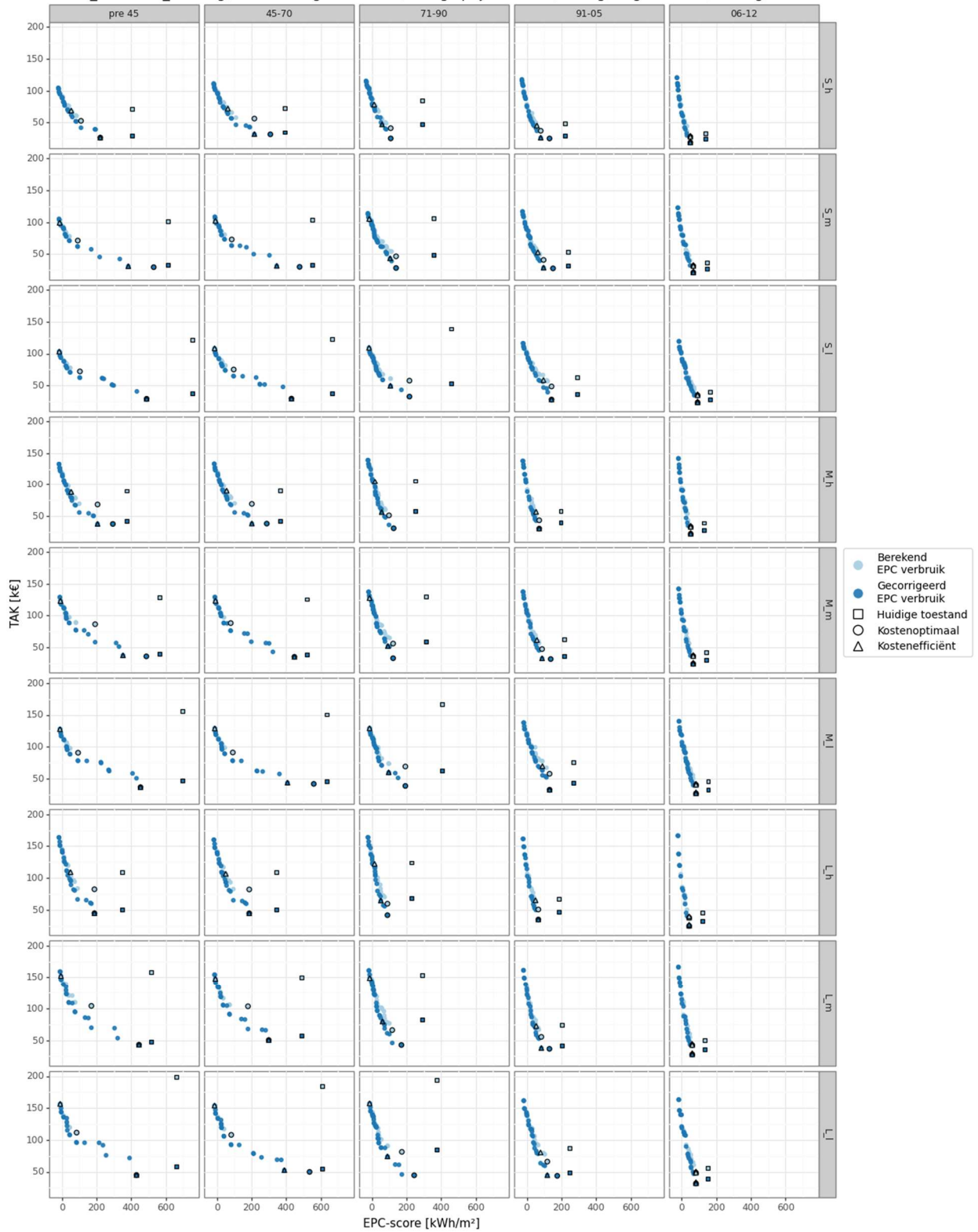
terraced_buildingVergelijking pareto front energieprijsevolutes



Eengezinswoningen, sensitiviteitsanalyse geschat energieverbruik



semi_detached_building, disconteringsvoet 3.0%, energieprijsevolutie (0:hoog, 1: gemiddeld, 2: laag): 1



terraced_building, disconteringsvoet 3.0%, energieprijsevolutie (0:hoog, 1: gemiddeld, 2: laag): 1

