



Verslaglegging kostenoptimaliteitsstudie

In opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties

VERSLAGLEGGING KOSTENOPTIMALITEITSSTUDIE

13 MAART 2018



INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	6
2	BOUWREGELGEVING EN AANPAK	7
2.1	Bouwregelgeving	7
2.2	Bepalingsmethode energiebesparing	9
2.3	Berekening kostenoptimaliteit	9
2.4	Gebruik van gegevens uit eerdere studies	10
2.5	Weergave kostenoptimaliteit	10
3	UITGANGSPUNTEN KOSTENOPTIMALITEIT	13
3.1	Gehanteerde referentiegebouwen	13
3.1.1	Woningbouw Nieuwbouw	13
3.1.2	Utiliteitsbouw Nieuwbouw	14
3.1.3	Bestaande bouw	15
3.2	Discontovoet en inflatie	15
3.3	Energieprestatie	15
3.4	Energieprijzen	16
3.5	Kosten en restwaarde	16
3.6	Belastingen	17
3.7	CO ₂	17
3.8	Onderhoud, vervanging en levensduur	17
4	ENERGIEBESPARENDE MAATREGELEN	19
4.1	Nieuwbouw	19
4.1.1	Woningbouw	19
4.1.2	Utiliteitsbouw	20
4.2	Isolatie-eisen nieuwbouw	20
4.3	Bestaande bouw, ingrijpende renovatie	21
4.4	Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)	21
5	KOSTENOPTIMALITEIT FINANCIHEEL	22
5.1	Nieuwbouw	22
5.1.1	Woningbouw, nieuwbouw	23
5.1.2	Utiliteitsbouw, nieuwbouw	25
5.2	Isolatie-eisen nieuwbouw	30

5.2.1	Woningbouw	30
5.2.2	Utiliteitsbouw	30
5.3	Bestaande bouw, ingrijpende renovatie	31
5.3.1	Maatregelpakketten woningbouw	31
5.3.2	Losse maatregelen woningbouw	34
5.3.3	Maatregelpakketten utiliteitsbouw	37
5.3.4	Losse maatregelen utiliteitsbouw	39
5.4	Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)	42
5.4.1	Vloer	42
5.4.2	Gevel	44
5.4.3	Dak	47
5.4.4	Kozijn	48
5.5	Gevoeligheidsanalyse	49
5.5.1	Nieuwbouw	50
5.5.2	Isolatie-eisen nieuwbouw	51
5.5.3	Bestaande bouw, ingrijpende renovatie	52
5.5.4	Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie	54
6	KOSTENOPTIMALITEIT MACRO ECONOMISCH	55
6.1	Nieuwbouw	55
6.1.1	Woningbouw	55
6.1.2	Utiliteitsbouw	57
6.2	Isolatie-eisen nieuwbouw	62
6.2.1	Woningbouw	62
6.2.2	Utiliteitsbouw	62
6.3	Bestaande bouw, ingrijpende renovatie	63
6.3.1	Woningbouw	63
6.3.2	Utiliteitsbouw	65
6.4	Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)	66
6.4.1	Vloer	67
6.4.2	Gevel	67
6.4.3	Dak	68
6.4.4	Kozijn	68
6.5	Gevoeligheidsanalyse	69
6.5.1	Nieuwbouw	69
6.5.2	Isolatie-eisen nieuwbouw	69
6.5.3	Bestaande bouw, ingrijpende renovatie	70
6.5.4	Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie	70

7	CONCLUSIES	71
7.1	Financiële of macro-economische calculatie	71
7.2	Kostenoptimaliteit	71
7.2.1	Nieuwbouw	71
7.2.2	Isolatie-eisen nieuwbouw	72
7.2.3	Bestaande bouw, ingrijpende renovatie	72
7.2.4	Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)	74

COLOFON	75
----------------	-----------

Bijlagenrapport

Hoofdstuk 1:	Referentiegebouwen
Hoofdstuk 2:	Energieprijsscenario's
Hoofdstuk 3:	Investeringskosten
Hoofdstuk 4:	Maatregelpakketten
Hoofdstuk 5:	Resultaten en gevoeligheidsanalyses nieuwbouw (woningbouw en utiliteitsbouw)
Hoofdstuk 6:	Resultaten en gevoeligheidsanalyses isolatie-eisen
Hoofdstuk 7:	Resultaten en gevoeligheidsanalyses bestaande bouw, ingrijpende renovatie
Hoofdstuk 8:	Resultaten en gevoeligheidsanalyses bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie

1 INLEIDING

In mei 2010 is de EPBD Recast (2010/31/EU) verschenen. Hierin is aangekondigd dat alle lidstaten van de EU op enig moment verantwoordingsrapportages moeten opstellen over het gevoerde energiezuinigheidsbeleid voor gebouwen. In januari 2012 is de Europese Verordening (244/2012) verschenen waarin uitgelegd wordt aan welke eisen de verantwoordingsrapportage moet voldoen en op welke wijze de kostenoptimaliteitsberekeningen uitgevoerd moeten worden. In 2018 moeten alle lidstaten van de EU een dergelijke rapportage aanleveren.

In deze rapportage treft u de gehanteerde uitgangspunten en de resultaten van de berekeningen op basis van de Europese methodiek aan. De resultaten van de berekeningen zijn afgezet tegen het vereiste kostenoptimale niveau voor energiezuinige gebouwen dat volgt uit de Europese methodiek.

Het doel van de studie is het opstellen van een rapportage zoals wordt geëist in de verordening 244/2012 artikel 5 van de EPBD Recast.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft meer in detail de relevante bouwregelgeving op het gebied van energiezuinigheid in Nederland en de aanpak van het onderzoek. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de gehanteerde referentiegebouwen en uitgangspunten en hoofdstuk 4 van de onderzoekte energiebesparende maatregelen. In hoofdstuk 5 en 6 worden de resultaten van de berekening met betrekking tot de kostenoptimaliteit gepresenteerd. In hoofdstuk 7 worden de resultaten geëvalueerd.

2 BOUWREGELGEVING EN AANPAK

In dit hoofdstuk wordt allereerst in paragraaf 2.1 ingegaan op de huidige bouwregelgeving in Nederland op het gebied van energiezuinigheid van gebouwen. Hierbij zijn de eisen per 2012 en 2015 opgenomen. Het overgrote deel van de eisen zijn tussen de vorige kostenoptimaliteit rapportage van 2013 en nu aangescherpt. In deze rapportage zijn niet alleen alle financiële kaders geactualiseerd maar zijn ook de uitgangspunten, de maatregelen en de maatregelpakketten gecontroleerd en daar waar nodig aangevuld. De aanpak van het onderzoek voor berekening van de kostenoptimaliteit staat beschreven in paragraaf 2.2 t/m 2.5.

2.1 Bouwregelgeving

Nieuwbouw

De Nederlandse regels voor het bouwen en aanpassen van gebouwen zijn vastgelegd in het Bouwbesluit. De Woningwet vormt de basis voor de bouw en gebruiksvoorschriften in het Bouwbesluit, zowel voor woning- als utiliteitsbouw. In het Bouwbesluit staan verschillende soorten eisen op het gebied van energiezuinigheid. Bij nieuwbouw wordt er onderscheid gemaakt in energieprestatie-eisen per type gebruik en in vangnet-eisen (generieke eisen) voor de isolatie van de gebouwschil.

EPC-eisen nieuwbouw

Er geldt één generieke EPC-eis voor alle woningbouw (onafhankelijk van het type woning), het type woning wordt impliciet meegenomen in de NEN 7120-berekening door te corrigeren voor vormfactoren. Voor utiliteitsbouw is er een variatie in EPC-eisen per functie gebouw. Voor nieuwbouw van woningen en utiliteitsgebouwen wordt de integrale energieprestatie van het gebouw als geheel conform NEN 7120 (Energieprestatie van gebouwen – bepalingsmethoden) beoordeeld. In artikel 5.2 van het Bouwbesluit zijn voor vrijwel alle in de praktijk voorkomende gebouwsfuncties eisen aan de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) gegeven. Een overzicht is weergegeven in tabel 1.

Gebruiksfunctie	Grenswaarde EPC 2012	Grenswaarde EPC 2015
Woning en woongebouwen	2,6	0,4
Woonwagens	1,3	1,3
Bijeenkomstfunctie	2,0	1,1
Celfunctie	1,8	1,0
Gezondheidsfunctie met bedgebied	2,6	1,8
Gezondheidsfunctie zonder bedfunctie	1,0	0,8
Kantoorfunctie	1,1	0,8
Logiesfunctie in logiesgebouw	1,8	1
Logiesfunctie anders (vakantiewoningen)	1,4	1,4
Onderwijsfunctie	1,3	0,7
Sportfunctie	1,8	0,9
Winkelfunctie	2,6	1,7

Tabel 1: Grenswaarden EPC conform bouwbesluit geldend per 2012 en 2015

Isolatie-eisen

Het Bouwbesluit kent naast de EPC-eis ook isolatie eisen, ook wel ‘vangneteisen’ genoemd, waarin de minimale Rc-waarde van dichte delen van de gebouwschil zijn vastgelegd. Een overzicht van deze eisen is hieronder weergegeven.

Onderdeel	eis 2012	eis 2015
Vloer	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$
Gevel dichte delen	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 4,5 \text{ m}^2\text{k/W}$
Dak	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 6,0 \text{ m}^2\text{k/W}$
Gevel open delen	$U \leq 1,65 \text{ W/m}^2\text{k}$	$U \leq 1,65 \text{ W/m}^2\text{k}$

Tabel 2: Isolatie-eisen conform Bouwbesluit geldend per 2012 en 2015

Bestaande bouw

Voor de bepaling van de kostenoptimaliteit van de eisen bij bestaande bouw is uitgegaan van een analyse van het rendement van energiebesparende maatregelpakketten die zijn toegepast op gebouwniveau. De rendementen van de verschillende pakketten zijn per gebouwtype beoordeeld op kostenoptimaliteit en vergeleken met het huidige eiseniveau in Nederland voor bestaande bouw. Nederland stelt bij ingrijpende renovatie eisen op componentniveau aan de schildelen die betrokken zijn bij deze ingrijpende renovatie. Het is dus van belang om te toetsen of het niveau van de eisen per component in overeenstemming is met het kostenoptimale niveau van de pakketten op gebouwniveau. Daarom zijn ook de losse maatregelen bezien op kostenoptimaliteit om een vergelijk te kunnen maken met de huidige componenteisen. Naast de componenteisen voor de schil bij ingrijpende renovatie geldt voor de bestaande bouw in algemene zin dat bij ingrepen in de verwarmingsinstallatie, de koeling en grotere ventilatiesystemen energetische rendementseisen worden gesteld. Omdat het type verwarmingssysteem direct invloed heeft op de energiebesparing van bouwkundige maatregelen is de invloed van het verwarmingssysteem ook in beeld gebracht.

Ingrijpende renovatie

Sinds 1 juli 2013 worden er in het geval van ingrijpende renovatie eisen gesteld aan de isolatie van de dichte delen en gevelopeningen. Er is sprake van een ingrijpende renovatie wanneer tenminste 25% van het schiloppervlak van een gebouw integraal wordt aangepakt. Hiervan is sprake wanneer bijvoorbeeld de vloer wordt vervangen, de buitengevel opnieuw wordt opgebouwd of de dakconstructie inclusief het dakbeschot maar exclusief de spanten en gordingen wordt verwijderd.

De eisen zijn van toepassing op alle ingrijpende renovatiesituaties. De bouwregelgeving stelt eisen per soort bouwdeel. Sinds 2015 zijn de volgende isolatie-eisen op componentniveau van toepassing:

Onderdeel	Eis per bouwdeel 2013	Eis per bouwdeel 2015
Vloer	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$
Gevel dichte delen	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 4,5 \text{ m}^2\text{k/W}$
Dak	$R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 6,0 \text{ m}^2\text{k/W}$
Gevel open delen	$U \leq 1,65 \text{ W/m}^2\text{k}$	$U \leq 1,65 \text{ W/m}^2\text{k}$

Tabel 3: Eisen per bouwdeel bij ingrijpende renovatie conform bouwbesluit geldend per 2013 en 2015

Niet ingrijpende renovatie

Hierboven zijn de eisen verwoord die van toepassing zijn bij ingrijpende renovatie. Wanneer er echter geen sprake is van een ingrijpende renovatie worden er in de bouwregelgeving ook eisen aan de schil gesteld. Indien er geen sprake is van ingrijpende renovatie moet bij aanpassingen of uitbreiding van het gebouw de isolatiegraad voldoen aan de eisen zoals die ooit gesteld zijn bij de vergunningverlening voor oprichting van het gebouw met een minimale warmteweerstand (R_c) van $1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Conform bouwbesluit 5.6 verbouw – lid 1). In afwijking van het hiervoor vermelde minimale warmteweerstand eis geldt bij het vernieuwen of vervangen van isolatielagen van een vloer, gevel of dak respectievelijk een warmteweerstand zoals weergegeven in tabel 4 bepaald volgens NEN 1068.

Onderdeel	Eis per bouwdeel 2012	Eis per bouwdeel 2015
Vloer	$R_c \geq 1,3 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 2,5 \text{ m}^2\text{k/W}$
Gevel dichte delen	$R_c \geq 1,3 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 1,3 \text{ m}^2\text{k/W}$
Dak	$R_c \geq 1,3 \text{ m}^2\text{k/W}$	$R_c \geq 2,0 \text{ m}^2\text{k/W}$
Kozijnen	$U \leq 2,2 \text{ W/m}^2\text{k}$	$U \leq 2,2 \text{ W/m}^2\text{k}$

Tabel 4: Eisen per bouwdeel bij vernieuwen of vervangen van isolatielagen conform bouwbesluit geldend per 2012 en 2015

2.2 Bepalingsmethode energiebesparing

De energiebesparing van de nieuwbouw referentiewoningen en -gebouwen zijn berekend op basis van de geldende bepalingmethode Energieprestatie van gebouwen NEN 7120:2011+C5, gebruikmakend van het softwareprogramma Enorm v3.60. Voor de Thermische isolatie van gebouwen is de rekenmethode NEN1068:2012+C2 gebruikt. Koudebruggen waardoor warmteverlies (transmissieverlies) optreedt worden zo veel mogelijk forfaitair ingevoerd waar nodig is gebruikgemaakt van de SBR referentiedetail (Psi-waarde). De energiebesparing voor woonwagens is berekend met de NEN 5128 (NPR5129). Hierin zit de aanname dat $E/E = Q/Q$ door de correctie met C_{epc}. De correctiefactor C_{epc} zorgt er voor dat bij een normverandering de gemiddelde epc gelijk blijft.

De energiebesparing door maatregelen in de bestaande utiliteitsgebouwen zijn bepaald met de thans geldende bepalingmethode voor bestaande utiliteitsbouw (EPA-U) die is vastgelegd in ISSO 75.1. Voor de maatregelen in de bestaande woningen en woongebouwen is gebruik gemaakt van NEN 7120:2011 inclusief C5 en het Nader voorschrift (NEN 7120+NV) waarmee thans bestaande woningbouw beoordeeld moet worden. In beide bepalingmethoden wordt het gebouwgebonden energiegebruik bepaald voor verwarming, koeling, warm tapwater, ventilatie en verlichting en wordt rekening gehouden met energieopwekking uit hernieuwbare energiebronnen.

2.3 Berekening kostenoptimaliteit

De berekeningsmethode voor kostenoptimaliteit is voorgeschreven in bijlage I van EU Verordening 244/2012 van 16 januari 2012. Er is sprake van een berekening van de totale netto contante waarden exclusief inflatie gedurende een bepaalde beschouwingsperiode. Alle toekomstige kosten of baten worden met behulp van een discontovoet teruggerekend (verdisconteerd) naar het jaar waarin de calculatie is uitgevoerd.

De standaard calculatieperiode is voor:

- Residentiële en openbare gebouwen 30 jaar
- Commerciële, niet-residentiële gebouwen 20 jaar

In de financiële en macro-economische studie is voor alle utiliteitsgebouwen gerekend met 20 jaar. Als aanvulling daarop is in de gevoeligheidsanalyse gerekend met 30 jaar ten behoeve van openbare utiliteitsgebouwen en cellengebouwen.

De scheidslijn voor openbare of commerciële gebouwen is gelegd bij gebouwen in eigendom van de overheid en waar in het algemeen overheidsinstanties zijn gevestigd.

Bij de totale kosten van een maatregel wordt rekening gehouden met:

- Investeringskosten.
- Onderhoudskosten.
- Herinvesteringen en eventuele sloopkosten van de oude voorziening.
- Effecten op de energiekosten.
- Eventuele restwaarde.

Bij de berekening van de netto contante kosten (NCC) is, in lijn met bijlage I punt 4.2 lid 4 uit de Verordening, rekeningen gehouden met de meerkosten ten opzichte van de referentiesituatie zonder de desbetreffende energiebesparende maatregelen. In de berekeningsmethode (EU Verordening 244/2012) wordt onderscheid gemaakt in een financiële en een macro-economische calculatie. In de financiële calculatie wordt belasting (energiebelasting en btw) meegenomen. In de macro-economische calculatie blijft belasting buiten beschouwing.

Daarnaast wordt in de macro-economische calculatie rekening gehouden met de kosten van CO₂-emissies. De berekeningswijze van de kosten (of baten) van de CO₂-emissies wijkt af doordat de kosten hiervan in toekomstige jaren niet worden verdisconteerd naar het startjaar van de calculatie. Subsidies zijn niet in de calculatie meegenomen (conform EU Verordening 244/2012).

Kostenoptimaal

Kostenoptimaal is gedefinieerd als de situatie waarin de NCC over de beschouwingsperiode een minimum bereiken. Er is alleen sprake van een kostenoptimaal niveau indien de totale NCC kleiner dan nul zijn. De maatregel is in dat geval kosteneffectief en verdient zichzelf dan binnen de gehanteerde uitgangspunten terug. In dat geval zijn de totale kosten voor de initiële investering, onderhoud en eventuele herinvesteringen na aftrek van een eventuele restwaarde kleiner dan de totale baten door de besparing op de energiekosten. De investering voor een kostenoptimale energiebesparende maatregel verdient zich in de financiële calculatie dus terug door de besparing op de energiekosten. Omdat er in de macro-economische calculatie ook rekening wordt gehouden met de kosten van CO₂-emissies zal de investering voor een energiebesparende maatregel zich sneller terugverdienen. Naast de besparing op de energiekosten is er immers ook sprake van een besparing op de kosten van CO₂-emissies.

Elke lidstaat kan vervolgens kiezen om bij de bepaling van de kostenoptimale niveaus uit te gaan van de financiële of de macro-economische calculatie. Door Nederland is in het verleden gekozen voor het hanteren van de financiële calculatie als basis voor de bepaling van de kostenoptimaliteit. Ook nu wordt daar weer voor gekozen

2.4 Gebruik van gegevens uit eerdere studies

Bij de uitvoering van het onderzoek is gebruik gemaakt van de voorgaande kostenoptimaliteit rapportage (Verslaglegging kostenoptimaliteit van EU (DGMR - 2013)). De betreffende studies hieronder zijn aanvullend gebruikt:

- Vervanging isolatie en kozijnen: Kostenoptimaliteit bij vervanging van isolatie en kozijnen (DGMR – 2016).
- Bestaande bouw ingrijpende renovatie voor woningen en utiliteit: Verslaglegging kostenoptimaliteit, Resultaten bestaande bouw (DGMR – 2015).
- EPC-eis (met de vangnet-studie)woningen en utiliteit (nieuwbouw): Aanscherpingsstudie EPC woningbouw en utiliteitsbouw (W/E-adviseurs en Arcadis - 2015).

Bij het opstellen van deze rapportage zijn alle financiële kaders geactualiseerd en de uitgangspunten, de maatregelen en de maatregelpakketten gecontroleerd en daar waar nodig aangevuld.

2.5 Weergave kostenoptimaliteit

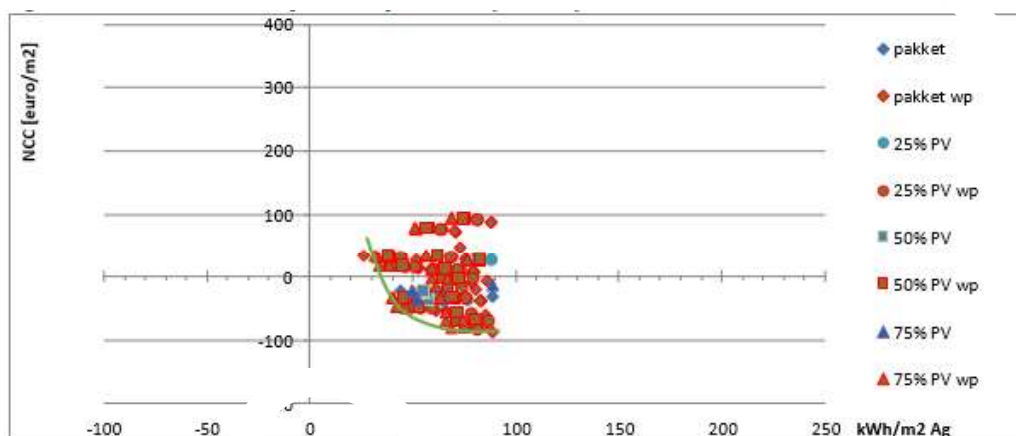
De berekende NCC zijn in de resultaatgrafieken voor nieuwbouw weergegeven ten opzichte van de E/E-waarde (Eptot/Epadmin). Dit is de verhouding tussen het karakteristieke energiegebruik van het gebouw gedeeld door het toelaatbare energiegebruik zoals dat in Nederland wordt toegepast voor de toetsing van de energieprestatie van een gebouw aan de prestatie-eisen uit de bouwregelgeving (zie paragraaf 2.1). Het toelaatbare energiegebruik is in belangrijke mate afhankelijk van het gebruiksoppervlak van een gebouw. De huidige energieprestatie-eis in Nederland ligt op een E/E-waarde van 1,0. Hierin is de EPC-eis per gebruiksfunctie verwerkt. Verschillen in energiegebruik per vierkante meter tussen verschillende typen gebouwen worden hierdoor geminimaliseerd. Deze verschillen zijn immers opgenomen in het toelaatbare energiegebruik per vierkante meter. Bij een E/E-waarde van nul is ook het energiegebruik per vierkante meter gebruiksoppervlak nul.

Bij de weergave van de NCC is er bij nieuwbouw gekozen voor een weergave van euro's per vierkante meter gebruiksoppervlak. De energieprestatie-eisen in Nederland worden gesteld aan verschillende gebruiksfuncties. Het effect van energiebesparende maatregelen is per gebruiksfuncties bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van referentiegebouwen van verschillende grootte. Door de NCC weer te geven per vierkante meter worden verschillen tussen (totale) kosten per gebouw geminimaliseerd.

Voor maatregelen in de bestaande bouw zijn de berekende NCC in de resultaatgrafieken weergegeven per type maatregel (en dus niet zoals bij nieuwbouw ten opzichte van een E/E-waarde). Bij de bouwkundige maatregelen zijn de NCC weergegeven in euro's per vierkante meter (gevel, vloer of dak). Bij de installatietechnische maatregelen voor verwarmings- en koelsystemen per kW thermisch vermogen van het opwekkingstoestel.

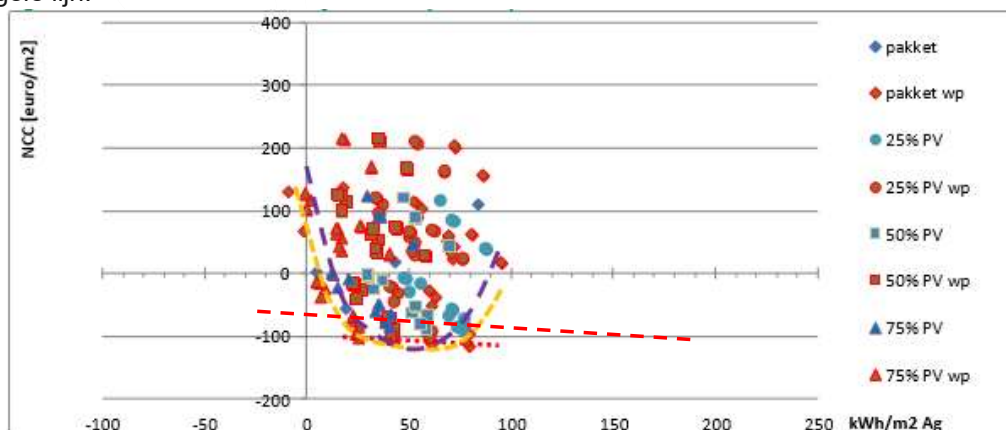
Kostenoptimale range

Bij de weergave van de doorgerekende maatregelen per gebouw kan het kostenoptimale punt in de figuren opgezocht worden door een denkbeeldige lijn door de onderste punten heen te trekken. Het kostenoptimale punt bevindt zich midden in het dal van de denkbeeldige lijn of kromme, mits de netto contante kosten kleiner zijn dan nul zoals weergegeven in figuur 1. Bij NCC groter dan nul is het kostenoptimaal punt. Het vaststellen van het kostenoptimale punt voor de gebruiksfuncties is afhankelijk van het aantal en de aard van de onderzochte pakketten. Om toch de kostenoptimaliteit vast te kunnen stellen wordt er gebruik gemaakt van een kostenoptimale range. Deze range omvat de waarden tussen de punten waar de denkbeeldige lijn de horizontale as kruist. Bij het bepalen van deze range speelt ook het aantal onderzochte pakketten en het zwaartepunt van deze pakketten een rol.



Figuur 1: Voorbeeld redelijk duidelijk kostenoptimaal punt

Indien geen sprake is van een kromme met een dal maar van een min of meer horizontale lijn is er geen sprake van een kostenoptimaal punt. In dat geval zijn de verschillende maatregelenpakketten vergelijkbaar qua kostenoptimaliteit. Dit is ook weergegeven in figuur 2. Ook is het mogelijk dat er meerdere verschillende lijnen door de punten getrokken kunnen worden zoals ook weergegeven in figuur 2 met de paarse en de gele lijn.



Figuur 2: Voorbeeld onduidelijk kostenoptimaal punt

De denkbeeldige lijn is in de grafieken met de resultaten in hoofdstuk 5 achterwege gelaten. De redenen hiervoor zijn:

- Het aantal weergegeven punten is beperkt. Er zijn alternatieve maatregelpakketten samen te stellen die niet doorgerekend zijn.
- De denkbeeldige lijn is niet wiskundig te bepalen. Afhankelijk van de doorgerekende maatregelpakketten lijkt er een zwaartepunt te zijn. Er zijn echter op de andere plaatsen in de grafiek ook meerdere punten te tonen door enigszins afwijkende maatregelpakketten door te rekenen.
- De denkbeeldige lijn wordt door verschillende mensen op verschillende wijze getrokken. Dit is een kwestie van interpretatie.

3 UITGANGSPUNTEN KOSTENOPTIMALITEIT

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten besproken die zijn gehanteerd bij de berekeningen voor de kostenoptimaliteit van de energieprestatie van gebouwen. Deze zijn overgenomen uit de voorgaande studies en zijn aangenomen als feiten. Waar nodig zijn deze geactualiseerd. Allereerst wordt ingegaan op de gehanteerde referentiegebouwen. Vervolgens worden in paragraaf 3.2 tot en met 3.11 de rekenkundige uitgangspunten besproken.

3.1 Gehanteerde referentiegebouwen

Voor de nieuwbouwstudies naar woningen, woonwagens en utiliteitsgebouwen is een vaste set referentiegebouwen gehanteerd. Voor bestaande bouw is gekeken naar de bandbreedte van de in de gebouwenvoorraad voorkomende gebouwen qua grootte, gebruiksfunctie en voorkomende bouwkundige constructies en opwekkingstechnieken.

In de tabellen wordt per referentiegebouw de gebruiksoppervlakte (Ag), de verliesoppervlakte (Als) en de oppervlakte van de scheidingsconstructies (transmissieverlies, AT) en de verhouding tussen gebruiksoppervlakte en oppervlakte van de scheidingsconstructies (AT/Ag) weergegeven. Deze getallen zijn benodigd voor het berekenen van de epg.

3.1.1 Woningbouw Nieuwbouw

Voor nieuwbouwwoningen is gebruik gemaakt van de referentiewoningen van RVO. Onderstaande tabel 5 geeft de belangrijkste afmetingen weer zoals gebruikt in deze studie.

Woningtype	Ag (m ²)	Als (m ²)	AT (m ²)	AT/Ag
Appartementen (27 won)	2.756	2.665	2.772	1,01
Galerijwoning (36 won)	2.941	3.060	3.158	1,07
Hoekwoning	124	230	244	1,96
Tussenwoning	124	157	171	1,37
Twee onder een kapwoning	148	269	286	1,94
Vrijstaande woning	170	357	375	2,21

Tabel 5: Afmetingen referentiewoningen nieuwbouw

Vakantiewoningen en woonwagens

Voor woonwagens en vakantiewoningen is gebruik gemaakt van de uitgangspunten conform tabel 6. Tabel 6 geeft de belangrijkste afmetingen weer van de beschikbare referenties.

Woningtype	Ag (m ²)	Als (m ²)	AT (m ²)	AT/Ag
Woonwagens				
Woonwagen Enkel, eenlaags	65	17	177	2,72
Woonwagen Dubbel, enkellaags	96	42	168	1,75
Woonwagen Meerlaags	120	19	142	1,18
Vakantiewoning				
Logiesfunctie anders (vakantiewoningen)	108	263,7	263,7	2,44

Tabel 6: Afmetingen referentiewoonwagens en -vakantiewoningen nieuwbouw

3.1.2 Utiliteitsbouw Nieuwbouw

Voor utiliteit is gebruikt gemaakt van een set referentiegebouwen. Onderstaande tabel 7 geeft de belangrijkste afmetingen weer. De meeste gebouwen bestaan uit meer dan één functie. Een kantoor bevat bijvoorbeeld ook een deel bijeenkomstfunctie (kantine), een verpleegtehuis bevat ook een deel kantoorfunctie.

Café restaurant	121	402	447	3,69
Buurtcentrum	300	790	880	2,93
Museum	1.200	1.943	2.141	1,78
Theater	4.800	2.000	11.198	2,33
Celfunctie				
Penitentiare inrichting	15.854	2.000	14.581	0,92
Groepspraktijk	300	719	809	2,7
Verpleegtehuis	4.000	2.000	7.525	1,88
Ziekenhuis	37.200	2.000	31.923	0,86
Klein kantoor	480	1.417	1.597	3,33
Middelgroot kantoor	4.800	2.000	7.961	1,66
Groot kantoor	15.600	2.000	16.843	1,08
Hotel	2.000	2.000	3.862	1,93
Basisschool	1.000	2.000	2.970	2,97
VO-school	7.800	2.000	10.590	1,36
HBO	13.712	2.000	13.848	1,01
Sportfunctie				
Gymnastiekzaal	250	965	1.055	4,22
Tennishal	3.440	2.000	9.886	2,87
Sporthal	2.200	2.000	6.762	3,07
Zwembad	3.270	2.000	7.079	2,16
Winkelfunctie				
Kleine winkel	90	287	314	3,49
Supermarkt	1.200	2.000	2.989	2,49
Warenhuis	2.000	2.000	5.833	2,92

Tabel 7: Afmetingen referentiegebouwen utiliteitsbouw nieuwbouw

3.1.3 Bestaande bouw

Bij woningen is gebruikgemaakt van de in de Nederlandse bestaande bouw van de volgende woningtypes: rijtussenwoning; vrijstaande woning; appartementengebouw met per appartement 1 verdieping.

Onderstaande tabel 8 geeft de belangrijkste afmetingen weer. Voor alle drie deze woningtypes is gekeken naar een ongeïsoleerde variant (voorkomend in bouwjaar periode 1946-1964) en een matig geïsoleerde variant (voorkomend in bouwjaar periode 1975-1991). Voor utiliteit is gebruik gemaakt van het middelgrote kantoor dat in veel studies naar utiliteit wordt gebruikt. Ook bij dit gebouw is onderscheid gemaakt in een ongeïsoleerde variant-en een matig geïsoleerde variant-als onderscheid voor verschillende bouwperiodes. Indicatief is uitgegaan van een referentiekantoor uit 1955 en uit 1985.

Gebouwtype	A _g (m ²)	N _{woon} (st)	A _{raam} (m ²)	A _{gevel} (m ²)	A _{dak} (m ²)
Rijtussenwoning	106	1	19,2	40,6	68,6 (hellend)
Vrijstaande woning	130	1	28,4	136,8	128 (hellend)
Appartementengebouw	3.267	36	639,3	1.204,5	653,8 (plat)
Kantoor middelgroot	4.800	n.v.t.	948,2	2.212,6	2.400 (plat)

Tabel 8: Afmetingen referentiegebouwen bestaande bouw

3.2 Discontovoet en inflatie

Bij de bepaling van de NCC wordt gebruik gemaakt van een discontovoet om de kosten in de toekomst terug te rekenen naar het basisjaar waarin de calculatie is uitgevoerd. Alle berekeningen zijn uitgevoerd met als basisjaar 2018. De calculatie is inflatievrij uitgevoerd.

	Discontovoet	Gevoeligheidsanalyse
Financiële berekening		
Woningbouw	4,5%	2,5% en 5,5%
Utiliteitsbouw	7,0%	5,5% en 8,0%
Macro-economische berekening		
Woningbouw	3,0%	2,0% en 4,0%
Utiliteitsbouw	3,0%	2,0% en 4,0%

Tabel 9: Overzicht percentages gehanteerde discontovoeten in gevoeligheidsanalyses

3.3 Energieprestatie

De energieprestatie wordt uitgedrukt in primair energiegebruik per gebouw. Voor de bepaling van de energiekosten is het primaire energiegebruik omgerekend naar kubieke meter aardgas en kWh elektriciteit. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Aardgas 35,17 MJ primaire energie per m³ aardgas.
- Elektriciteit 9,22 MJ primaire energie per kWh.

3.4 Energieprijzen

Bij de energieprijzen wordt alleen rekening gehouden met de totale variabele kosten voor energie per eenheid (commodity + variabele tariefcomponenten). Er wordt geen rekening gehouden met vaste energiekosten. In de financiële calculatie wordt daarnaast ook energiebelasting en btw meegenomen.

Er is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- De energietarieven zijn opgegeven door Energy Circle. De tarieven zijn samengesteld voor RVO.
- Voor de ontwikkeling van de energieprijzen is uitgegaan van het energiescenario zoals dat door ECN is opgesteld in de Nationale Energieverkenning 2017. Hierbij is ook rekening gehouden met de verwachte ontwikkeling van de energiebelasting. De btw blijft wel gelijk. De energieprijzen in de Nationale Energieverkenning is alleen opgegeven voor 2020, 2025, 2030 en 2035. Voor de tussenliggende jaren is er rechtlijnig geïnterpoleerd. Het scenario in de nationale Energieverkenning loopt tot en met 2035. Voor de daar op volgende periode tot en met 2046 is rekening gehouden met de lange termijn ontwikkeling van het CBS van 2% ontwikkeling van de prijs per jaar.

Klasse	Typering	Energiebelasting+ODE (€/kWh)	Tarief excl. btw, incl. energiebelasting (€/kWh)
Elektriciteit (kWh)			
1-10.000	Woningbouw	0,10458 + 0,0132	0,174
1-10.000	Utiliteit klein	0,10458 + 0,0132	0,177
10.001-50.000	Utiliteit middel	0,05278 + 0,018	0,131
50.0001-10 mln	Utiliteit groot	0,01404 + 0,0048	0,082
Gas (m³)			
1-5.000	Woningbouw	0,26001 + 0,0285	0,551
5.001-170.000	Utiliteit klein	0,26001 + 0,0285	0,566
170.000-1 mln	Utiliteit middel	0,06464 + 0,0106	0,338
>1-10 mln	Utiliteit groot	0,02355 + 0,0039	0,197

Tabel 10: Gehanteerde energieprijzen prijspeil januari 2018

*ODE Opslag Duurzame Energie

Voor het energieprijsscenario voor de gevoeligheidsanalyses in de financiële calculatie is uitgegaan van een scenario met 0,5% en 5,0% ontwikkeling van de energieprijzen (ten opzichte van de basisprijs exclusief btw en energiebelasting). De in de calculatie gehanteerde energieprijsscenario's met het verloop gedurende de volledige calculatieperiode staan vermeld in bijlage 2.

3.5 Kosten en restwaarde

Voor de kosten van de samengestelde pakketten per referentie zijn de kosten per maatregel van alle maatregelen binnen het pakket bij elkaar opgeteld. Daarbij is een projectkorting toegepast (schaalvoordeel als gevolg van het toepassen van maatregelen binnen het totale project). Er is voor gekozen om niet te rekenen met een investeringsopslag. De reden daarvoor is dat het voor het grootste deel geen extra (aanvullend te ontwerpen) elementen zijn, maar alternatieven voor elementen die nu worden toegepast. Er is gerekend met het geldende btw tarief van 21% over de investering. Zoals aangegeven hebben de kosten van de maatregelen prijspeil 2018.

In de oorspronkelijke studie Kostenoptimaliteit Bestaande Bouw is er uitgegaan van investeringskosten tijdens een natuurlijk vervangmoment. Dit betekent dat er is gerekend met de meerkosten ten opzichte van de reeds geplande vervanging. In de studie Kostenoptimaliteit bij vervanging van isolatie en kozijnen is er uitgegaan van de investeringskosten voor een op zichzelf staand moment. Hierbij wordt er rekening gehouden met alle kosten bij de maatregel horen. Voor verschillende isolatiematerialen en constructie opbouwen zijn verschillende investeringskosten gehanteerd bij dezelfde energiebesparende maatregelen. Een overzicht van de gehanteerde kengetallen, van de specificaties en toeslagen per maatregel en van de investeringskosten per referentiegebouw is weergegeven in bijlage 3. Omdat voor alle bouwkundige maatregelen een levensduur van 50 jaar is gehanteerd is er geen sprake van herinvesteringen. Wanneer de levensduur van de getroffen maatregelen langer is dan de beschouwingsperiode van 20 of 30 jaar is er conform de voorgeschreven berekeningsmethode in de bepaling van de NCC rekening gehouden met een restwaarde.

3.6 Belastingen

In de financiële calculatie is rekening gehouden met energiebelasting en btw (belasting over de toegevoegde waarde). De energiebelasting is meegenomen in de energieprijzen. Btw zit verwerkt in de energieprijzen, de investeringskosten en herinvesteringen, onderhoudskosten en eventuele restwaarde. Er is rekening gehouden met 21% btw. In het energieprijsscenario is geen rekening gehouden met ontwikkeling van de energiebelasting of de btw. Bij de macro-economische calculatie zijn de energiebelasting en btw niet meegenomen.

3.7 CO₂

De CO₂ kosten in de macro-economische berekening zijn bepaald aan de hand van de emissiegetallen die zijn vastgelegd in de huidige bepalingmethode voor energieprestatie van gebouwen (NEN7120:2011). De emissiefactoren zijn als volgt:

- Aardgas 50,6 kg CO₂/GJ primair energieverbruik 78 kg CO₂/m³.
- Elektriciteit 61,3 kg CO₂/GJ primair energieverbruik 566 kg CO₂/kWh.

Voor de CO₂ prijs is gebruik gemaakt van de voorgeschreven minimumwaarden uit bijlage II van EU Verordening 244/2012, te weten:

- heden t/m 2025 € 20,- per ton CO₂.
- 2026 t/m 2030 € 35,- per ton CO₂.
- vanaf 2031 € 50,- per ton CO₂.

3.8 Onderhoud, vervanging en levensduur

In onderstaande tabel zijn de waarden voor de levensduur en het onderhoud weergegeven. Bij herinvesteringen is er gerekend met hetzelfde investeringsbedrag als in het startjaar van de calculatie. Er is dus van uitgegaan dat de vervangingskosten gelijk zijn aan de oorspronkelijke investeringskosten. Wanneer de levensduur van de getroffen maatregelen al dan niet na herinvestering langer is dan de beschouwingsperiode van 20 of 30 jaar, is er conform de voorgeschreven berekeningsmethode rekening gehouden met een restwaarde. Voor de jaarlijkse onderhoudskosten van de maatregelen is uitgegaan van een percentage over het investeringsbedrag.

Opwekking gas en warmtepomp	15	3,0%
Isolatie van vloer, gevel en dak, infiltratie	50	0,0%
Kozijnen en beglazing	30	0,0%
Verlichting PL	25	6,0%
Verlichting LED	10	1,0%
Verlichting regeling	20	0,0%
PV (inclusief vervanging omvormer)	25	3,0%
Zonneboiler	15	2,5%
Ventilatie (systeem en regeling)	15	2,0%
Douche WTW	20	2,0%

Tabel 11: Overzicht gehanteerde levensduur en percentage onderhoud

4 ENERGIEBESPARENDE MAATREGELLEN

In dit hoofdstuk worden voor zowel nieuwbouw als bestaande bouw, voor woningen en utiliteitsgebouwen de doorgerekende maatregelen en maatregelpakketten besproken.

4.1 Nieuwbouw

De nieuwbouw referentiegebouwen dekken gezamenlijk alle gebruiksfuncties waarvoor een EPC-eis geldt. Elke gebruiksfunctie heeft zijn eigen energetische karakteristieken. Per gebruiksfunctie is daarom het effect van energiebesparende maatregelen anders. In scholen wordt bijvoorbeeld gerekend met een hoge luchtvolumestroom, waardoor de keuze van het ventilatiesysteem grote invloed zal hebben. Woningen en sportgebouwen hebben een relatief hoge warmtapwatervraag, waardoor een zonneboiler of douchewarmteterugwinning effectief kan zijn, et cetera. Per gebruiksfunctie is daarom een pakket samengesteld dat zo goed mogelijk past bij de energetische karakteristieken van de woning en het gebouw. Deze maatregelen zijn marktrijp, robuust, grootschalig toepasbaar, niet schadelijk voor het binnenmilieu en niet strijdig met het Bouwbesluit en met Arbo-, wet- en regelgeving.

4.1.1 Woningbouw

Voor de zes referentiewoningen/-woongebouwen zijn verschillende representatieve maatregelpakketten samengesteld om zo de huidige EPC-eis te kunnen beoordelen. Deze variërende maatregelpakketten spreiden zich tussen de circa 0,75 tot en met 1,20 ten opzichte van de huidige E/E 1,0 (is gelijk aan de huidige wettelijke epc eis). Het overzicht met de maatregelen per woning/woongebouw zijn gegeven in bijlage 4.

Het uitgangspunt voor het samenstellen van de maatregelpakketten is dat de gekozen maatregelen zo veel mogelijk aansluiten op de dagelijkse bouwpraktijk. De gekozen isolatiewaarden voor de gebouwschil en het installatieconcept zijn afgestemd op de gebruiksfunctie. De basisreferentie is zo samengesteld dat het voldoet aan de wet- en regelgeving geldend per januari 2018. Op basis van deze basisreferentie zijn er varianten van maatregelpakketten opgesteld, waarbij er is gevarieerd op de volgende onderdelen:

- Verschillende isolatie-eisen (vloer – gevel – dak).
- Verschillende soorten warmteopwekking en koeling.
- Verschillende soorten ventilatiesystemen.
- Het toepassen van douche-warmteterugwinning (DWTW).
- Het toepassen van een zonneboiler (ZB).
- Het toepassen van PV-panelen (PV).

Woonwagens en vakantiewoningen

Bij woonwagens is er voor gekozen om de bestaande pakketten woonwagens uit de voorgaande studie te handhaven. De reden hiervoor is dat de EPC eis van woonwagens ongewijzigd is gebleven en de bestaande maatregelpakketten aansluiten op de gehanteerde Rc waarden uit het Bouwbesluit.

Bij vakantiewoningen is net zoals bij de andere woonfuncties één referentiewoning samengesteld met een viertal maatregelenpakketten die variëren over de E/E -as. Wel zijn voor vakantiewoningen minder maatregelpakketten samengesteld, omdat de standaard maatregelen resulteren in een relatief lage E/E. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de thermische isolatie-eisen vanuit het Bouwbesluit gelden voor alle woningfuncties en dus ook voor vakantiewoningen, terwijl de epc voor vakantiewoningen hoger is. Op basis van deze basisreferentie zijn er varianten van maatregelpakketten opgesteld, waarbij er is gevarieerd op de volgende onderdelen:

- Verschillende isolatie-eisen (vloer – gevel – dak).
- Verschillende soorten warmteopwekking en koeling.
- Verschillende soorten ventilatiesystemen.

4.1.2 Utiliteitsbouw

Voor de 22 referentiegebouwen met utiliteitsfuncties zijn pakketten maatregelen samengesteld waarmee de gebouwen voldoen aan de huidige energieprestatie-eisen. De meeste referentiegebouwen bestaan uit meer dan één gebruiksfunctie. In die gevallen is niet gekeken naar de beoogde EPC van de belangrijkste gebruiksfunctie, maar naar het toelaatbare karakteristieke energiegebruik van het gebouw, berekend met de EPC-eisen van 2015.

Binnen de utiliteitsgebouwen zijn in het Bouwbesluit verschillende gebruiksfuncties gedefinieerd. Deze gebruiksfuncties hebben elk hun eigen EPC-eis en hebben in de rekenmethodiek van NEN 7120 elk hun eigen invoerparameters (binnentemperatuur, verlichtingsduur, ventilatiedebieten, et cetera). Een overzicht van de maatregelen per referentiegebouw voor utiliteitsbouw is gegeven in bijlage 4.

Het uitgangspunt voor het samenstellen van de maatregelpakketten is dat de gekozen maatregelen zo veel mogelijk aansluiten op de dagelijkse bouwpraktijk. De gekozen isolatiewaarden voor de gebouwschil en het installatieconcept zijn afgestemd op de gebruiksfunctie. De basisreferentie is zo samengesteld dat het voldoet aan de wet- en regelgeving geldend per januari 2018. Op basis van deze basisreferentie zijn er varianten van maatregelpakketten opgesteld, waarbij er is gevarieerd op de volgende onderdelen:

- Verschillende isolatie-eisen (vloer – gevel – dak).
- Verschillende soorten warmteopwekking en koeling.
- Verschillende soorten ventilatiesystemen.
- Het toepassen van douche-warmteterugwinning (DWTW).
- Het toepassen van een zonneboiler (ZB).
- Het toepassen van PV-panelen (PV).
- Verschillende soorten verlichting.
- De regelbaarheid van verlichting.

4.2 Isolatie-eisen nieuwbouw

In het Bouwbesluit zijn vangnet-eisen opgenomen voor het verbeteren van de thermische prestaties van de gebouwschil. Er is gekozen om gedifferentieerde isolatie-eisen te hanteren (dak/gevel/vloer van 6,0 / 4,5 / 3,5 m²K/W) in plaats van een zelfde eis voor de volledige gebouwschil (5,0 m²K/W).

Woningbouw

Voor woningbouw is van alle woningtypen een vergelijk gemaakt tussen een maatregelenpakket met de gedifferentieerde eisen en de eisen van Rc=5,0. Daarbij zijn alle andere variabelen gelijk gehouden, zodat het effect van de wijziging van de Rc-waarden zichtbaar wordt. Op basis van het verschil van de NCC tussen de maatregelpakketten met de gedifferentieerde eis en de pakketten met de eis van 5,0, is het mogelijk om af te leiden of de gedifferentieerde eisen kostenoptimaal zijn. De resultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

Utiliteitsbouw

Voor utiliteitsbouw is voor de gebouwtypen Kantoor middel en verpleeghuis een vergelijking gemaakt tussen de gedifferentieerde Rc-waarden en de gelijke Rc-waarden. Daarbij zijn alle andere variabelen gelijk gehouden, zodat het effect van de wijziging van de Rc-waarden zichtbaar wordt. Op basis van het verschil van de NCC tussen de maatregelpakketten met de gedifferentieerde eis en de pakketten met de eis van 5,0, is het mogelijk om af te leiden of de gedifferentieerde eisen kostenoptimaal zijn.

Het effect van de wijzigingen voor de referenties Kantoor middel en Verpleeghuis is representatief voor de wijzigingen in de overige gebouwtypen. De resultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

4.3 Bestaande bouw, ingrijpende renovatie

Dit onderdeel richt zich op gebouwen waaraan energiebesparende maatregelen worden getroffen, die aan de orde zijn bij ingrijpende renovatie. Ingrijpende renovatie impliceert een ingreep bij tenminste 25% van het totale schiloppervlak. Voor de te beoordelen maatregelen is in geval van na-isolatie gekeken naar dak, vloer en/of gesloten gevel en vernieuwing van de beglazing. Tevens zijn een aantal installatietechnische maatregelen beoordeeld zowel zelfstandig als in combinatie met de bouwkundige maatregelen.

Voor de referenties bestaande bouw (woningen en utiliteit) zijn de volgende pakketten energiebesparende maatregelen gehanteerd:

- Verschillende isolatie-eisen (vloer – gevel – dak).
- Verlagen warmtedoorlatendheid open delen gebouwschil.
- Verschillende soorten ruimteverwarming.
- Verschillende opties voor het verwarmen van warmtapwater.
- Het toepassen van PV-panelen (PV)

Vloerisolatie is in de maatregelpakketten voor kantoren niet meegenomen omdat er in de meeste gevallen sprake is van een betonnen vloerconstructie. Ingrijpende renovatie van de vloer is dan niet aan de orde. Bij het doorrekenen van de maatregelenpakketten en de afzonderlijke maatregel is er per type referentiegebouw voor de referentiesituatie onderscheid gemaakt in de aanwezigheid van een HR107 ketel en een elektrische warmtepomp.

Het effect van het combitoestel voor de opwekking van tapwater is separaat onderzocht. In het kantoorgebouw is voor tapwater gezien de geringe tapwatervraag steeds uitgegaan van elektrische keukenboilers.

Voor PV-panelen is bij zowel platte als hellende daken uitgegaan van een oppervlak aan PV-panelen dat gelijk is aan de helft van het dakoppervlak zoals dat voor de transmissie verliesberekening is aangehouden. In bijlage 4 zijn de hierboven vermelde energiebesparende maatregelen meer in detail beschreven.

4.4 Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)

Dit onderdeel richt zich op energiebesparende maatregelen die aan de orde zijn bij aanpassing van de gebouwschil (kleiner dan 25%). Voor de te beoordelen maatregelen is gekeken naar vervanging van isolatie in vloer, gevel en dak en naar vernieuwing van de kozijnen inclusief beglazing. De energiebesparende maatregelen zijn beoordeeld per referentiegebouw. Daarbij is per type referentiegebouw onderscheid gemaakt tussen twee bouwjaren. De periode rond 1955 waarin gebouwen niet van isolatie waren voorzien en werden uitgevoerd met enkel glas en de periode rond 1985, waarin gebouwen matig werden geïsoleerd met dubbele beglazing. Voor isolatie en kozijnen zijn de volgende pakketten energiebesparende maatregelen gehanteerd:

- Verschillende isolatie-eisen (vloer – gevel – dak).
- Verlagen warmtedoorlatendheid open delen gebouwschil.

Voor de vloeren is er in de berekeningen onderscheid gemaakt tussen vloeren boven kruipruimten en vloeren met als begrenzing “buitenlucht onder” (bijvoorbeeld een vloer van een woning boven een parkeergarage). Er zijn geen combinaties van bovenstaande maatregelen doorgerekend omdat de maatregelen elkaar onderling niet beïnvloeden.

Bij het doorrekenen van de maatregelen is voor invulling van de warmtebehoefte gebruik gemaakt van een HR107-ketel omdat deze in de meest voorkomende gevallen aanwezig is of bij vervanging van een verwarmingsketel met een lager rendement naar verwachting wordt geplaatst. Voor tapwater is in de woningen uitgegaan van een combitoestel. In het kantoorgebouw is voor tapwater gezien de geringe tapwatervraag uitgegaan van elektrische keukenboilers.

In de verordening 244/2012 wordt aangegeven dat ten minste een maatregel(pakket) beschouwd moet worden voor een standaardrenovatie die nodig is om het gebouw in stand te houden. In deze studie is hiervoor uitgegaan van de renovatie van het dak waarmee een gebouw waterdicht gehouden wordt. Daarbij is uitgegaan van de maatregel bij een Rc-waarde van 2.5 m²K/W.

5 KOSTENOPTIMALITEIT FINANCIËEL

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van de financiële calculatie van de maatregelen en maatregelpakketten voor nieuwbouw, bestaande bouw en voor isolatie-eisen. De energiebesparing en investeringskosten zijn per maatregel weergegeven in bijlage 5 tot en met 7. De resultaten van de calculatie zijn weergegeven als netto contante meerkosten per vierkante meter gebruiksoppervlak van de desbetreffende referentiegebouwen. Alleen voor het onderzoek naar het effect van isolatiemaatregelen (paragraaf 5.4 en 6.4) is gebruikgemaakt van absolute kosten. Op de horizontale as is steeds E/E (Epot/Epadmin) weergegeven (zie paragraaf 2.4).

Bij de resultaten zijn alleen maatregelen en maatregelpakketten weergegeven met een energieprestatie die circa maximaal 20% boven de huidige eis ligt (1,2 keer de EPC-eis). Hierdoor is de impact ten opzichte van de huidige eis volledig in beeld en blijven verschillen in maatregelpakketten waarmee (net) niet aan de huidige eis voldaan wordt ook in beeld.

Tevens zijn maatregelpakketten met een uitkomst van de NCC groter dan €300 per m²/Ag niet getoond in de grafieken. Deze zijn niet relevant voor het vaststellen van de kostenoptimaliteit.

Er zijn verschillende maatregelpakketten opgesteld om een kostenoptimaliteitspakket te creëren.

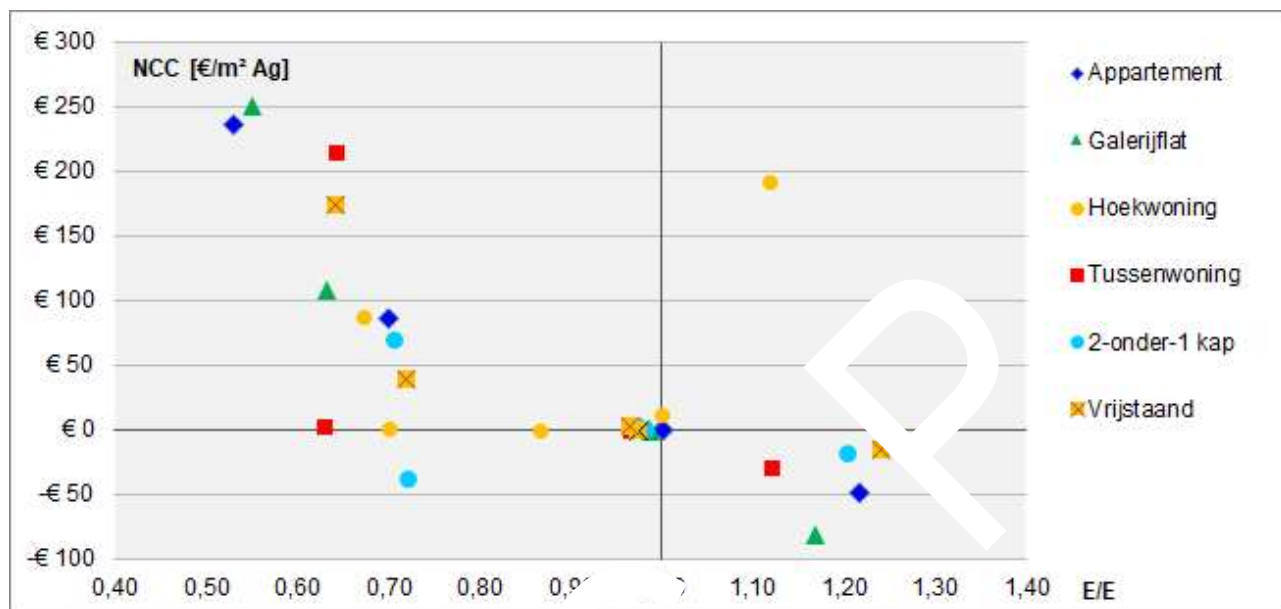
Als laatste is de grafiek niet altijd toereikend om alle content te kunnen overgeven. Het komt voor dat maatregelpakketten op elkaar lijken waardoor zij als resultaat elkaar overlappen in de grafiek, wat niet van elkaar te onderscheiden is bij het analyseren van de grafiek. Om hier meer verschil in te kunnen zien kan men de achterliggende tabellen (zie bijlage 5 tot en met 7) raadplegen waar de pakketten getalsmatig zijn gepresenteerd.

5.1 Nieuwbouw

Van zowel woningbouw, vakantiewoningen, werkplaatsen en utiliteitsbouw zijn de effecten op de NCC van de doorgerekende maatregelpakketten per gebruiksfunctie weergegeven in de grafieken. Per grafiek is een korte toelichting gegeven over de resultaten van het onderzoek. Om hier meer verschil in te kunnen zien kan men de achterliggende tabellen (zie bijlage 5) raadplegen waar de pakketten getalsmatig zijn gepresenteerd.

5.1.1 Woningbouw, nieuwbouw

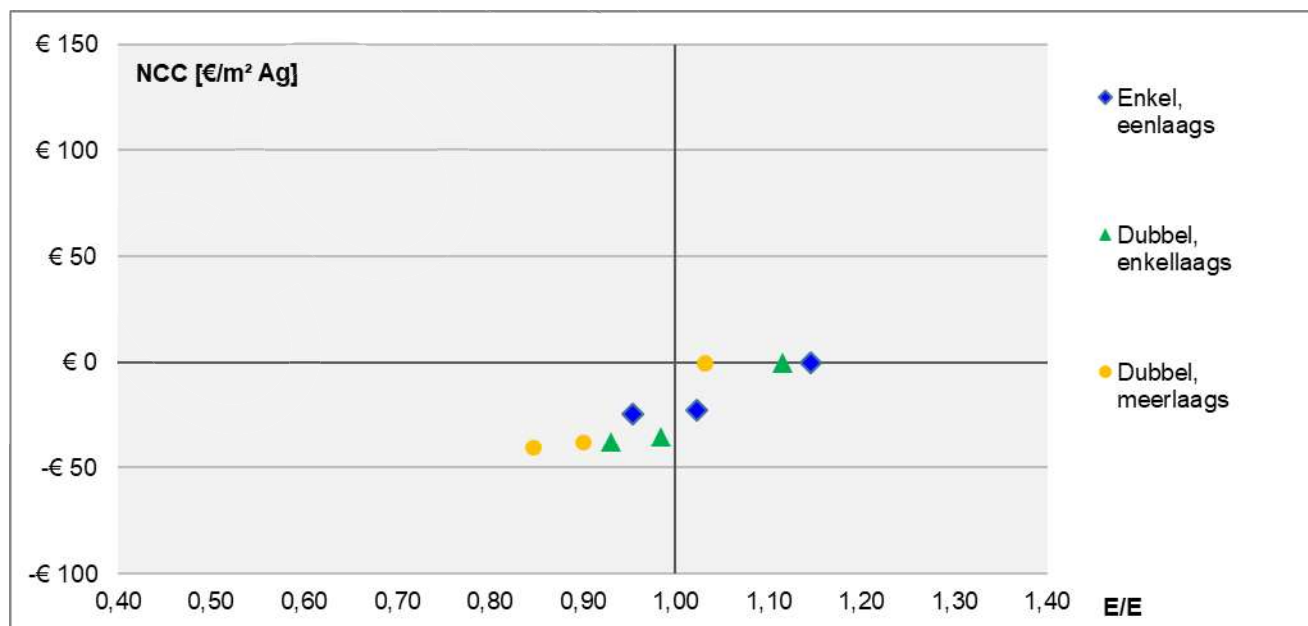
In grafiek 1 is te zien dat het treffen van aanvullende energiebesparende maatregelen voor bijna alle referentiewoningen leidt tot hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,70 en 1,20 ten opzichte van de E/E van 1,00. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 0,4 voor woonfuncties uit het Bouwbesluit. De afwijking van de gele punt rechtsboven (hoekwoning) ten opzichte van de andere punten is opvallend. Deze ontstaat door een duur maatregelpakket dat weinig energiebesparing oplevert.



Grafiek 1: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten per woningtype

Vakantiewoningen en woonwagens

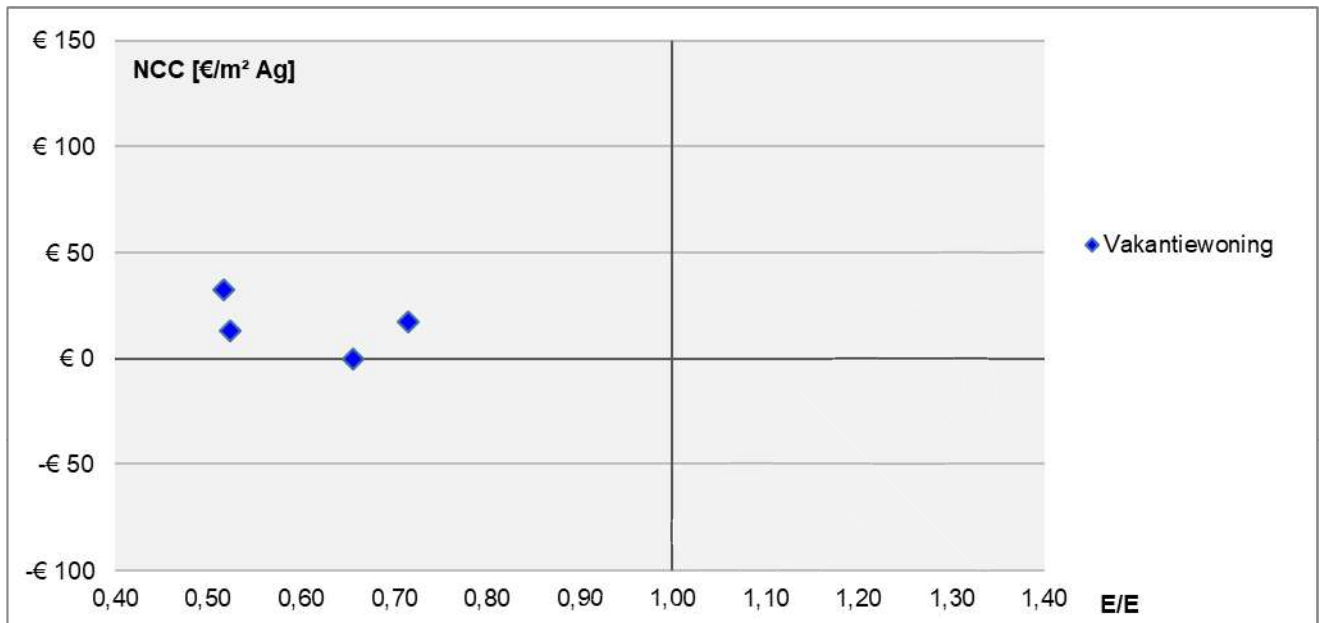
In grafiek 2 is te zien dat de energiebesparende maatregelen voor de referentie woonwagens leiden tot lagere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,90 en 1,05 ten opzichte van de E/E van 1,00. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 1,3 voor woonwagens uit het Bouwbesluit.



Grafiek 2: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten per type woonwagen

Bij vakantiewoning (zie grafiek 3) is ten opzichte van de referentie sprake van meerkosten voor alle energiebesparende maatregelen. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 1,4 voor vakantiewoningen uit het Bouwbesluit.

De vangnet eisen voor minimale isolatie (zie paragraaf 2.1) zijn bepalend voor de energieprestatie en leiden reeds tot een E/E die lager ligt dan 0,75. De maatregelpakketten zijn echter niet kosteneffectief omdat de NCC groter dan 0 is. Het is hierdoor niet mogelijk om voor de E/E een kostenoptimaal punt te bepalen.



Grafiek 3: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor vakantiewoningen

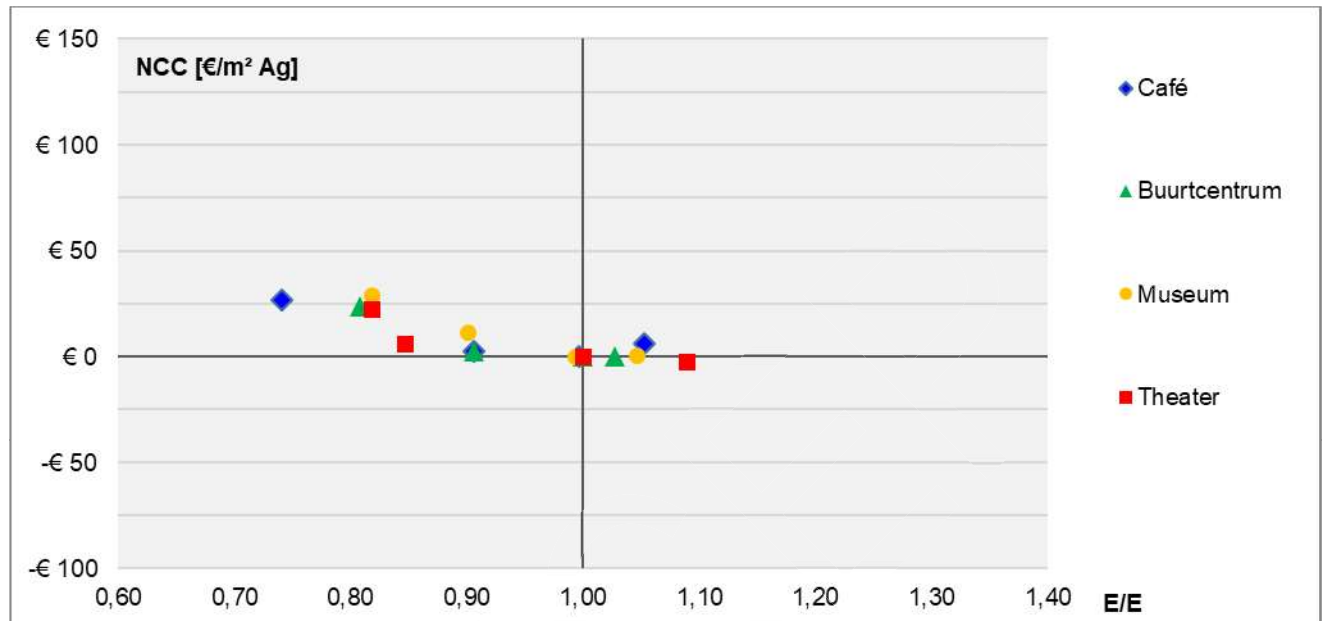
5.1.2 Utiliteitsbouw, nieuwbouw

Het effect op de NCC van de maatregelen is per gebruiksfunctie weergegeven in grafiek 4 tot en met 12.

Bijeenkomstgebouwen

Bij bijeenkomstfuncties (zie grafiek 4) zijn verschillende maatregelen te realiseren die leiden tot dezelfde of beperkt hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,85 en 1,05 ten opzichte van de E/E van 1,00. Dit geldt voor alle onderzochte gebouwtypen binnen de bijeenkomstfunctie.

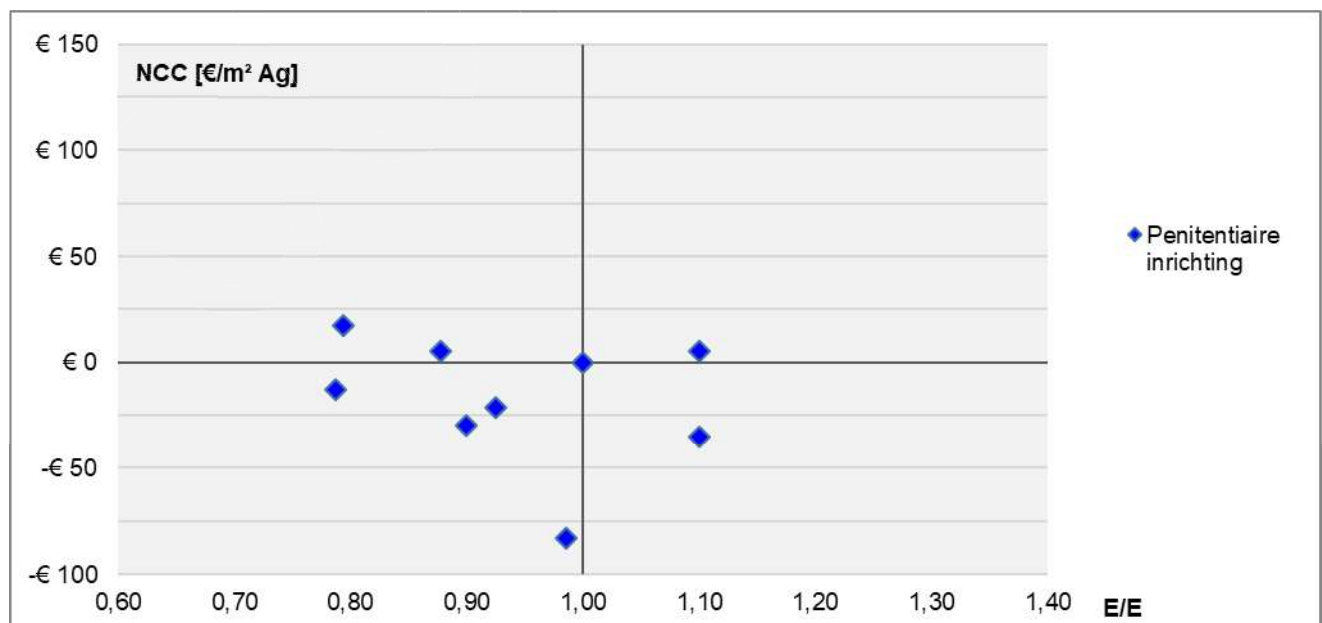
De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 1,1 voor bijeenkomstgebouwen uit het Bouwbesluit.



Grafiek 4: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor bijeenkomstgebouwen

Cellengebouwen

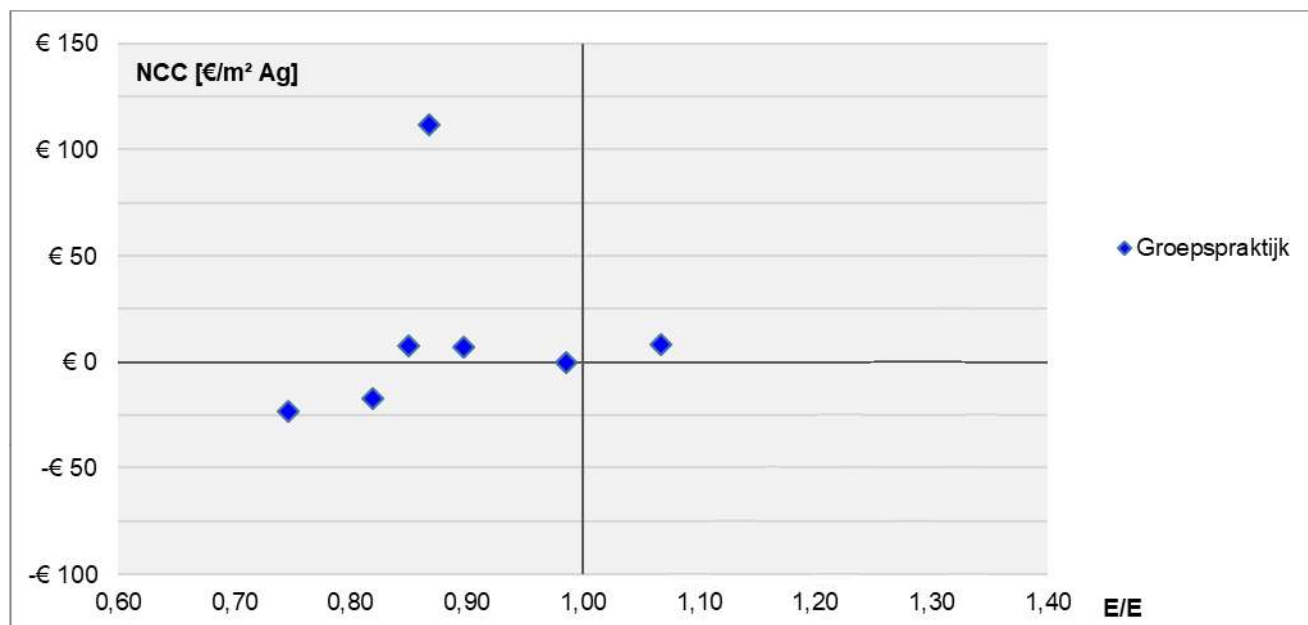
Bij de cellengebouwen (zie grafiek 5) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen voor het referentiegebouw penitentiaire inrichting kunnen leiden tot lagere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,75 en 1,1 ten opzichte van de E/E van 1,00. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 1,0 voor celfunctie uit het Bouwbesluit.



Grafiek 5: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor celfunctie

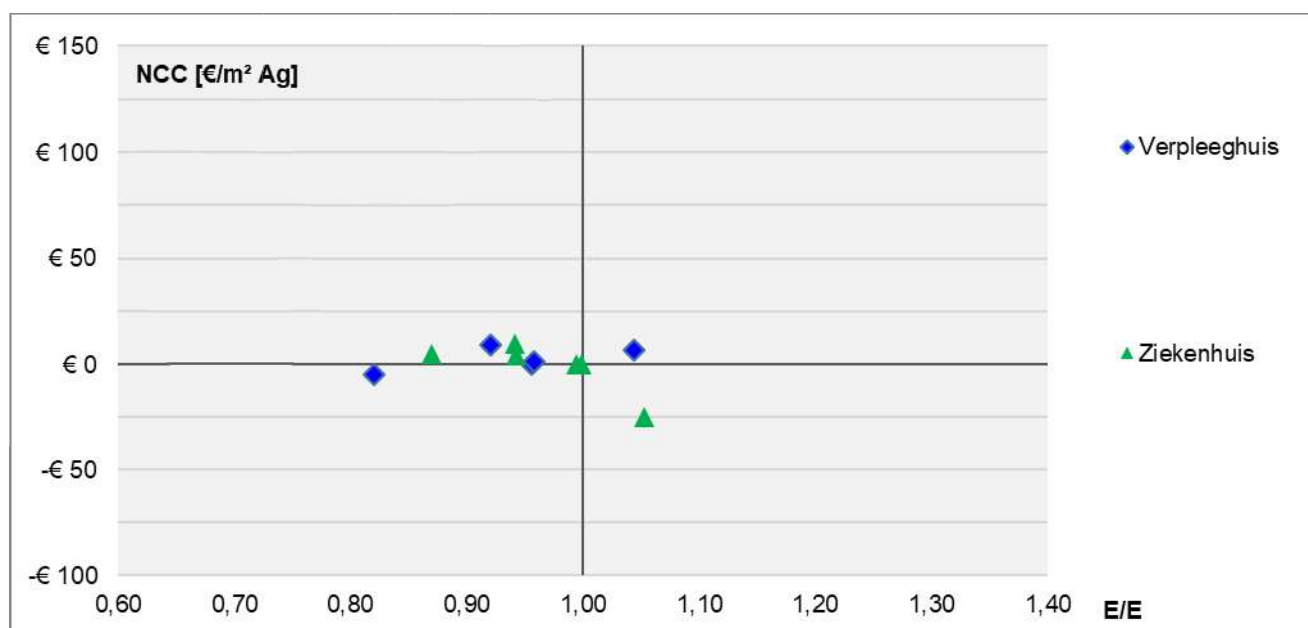
Gezondheidszorggebouwen

In de gezondheidszorggebouwen zonder bedfunctie (zie grafiek 6) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen voor het referentiegebouw groepspraktijk kunnen leiden tot lagere NCC. De kostenoptimale range ligt indicatief tussen circa 0,75 en 1,00 ten opzichte van de E/E van 1,00. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 0,80 voor gezondheidszorg zonder bedgebied uit het Bouwbesluit.



Grafiek 6: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor gezondheidszorggebouwen zonder bedfunctie

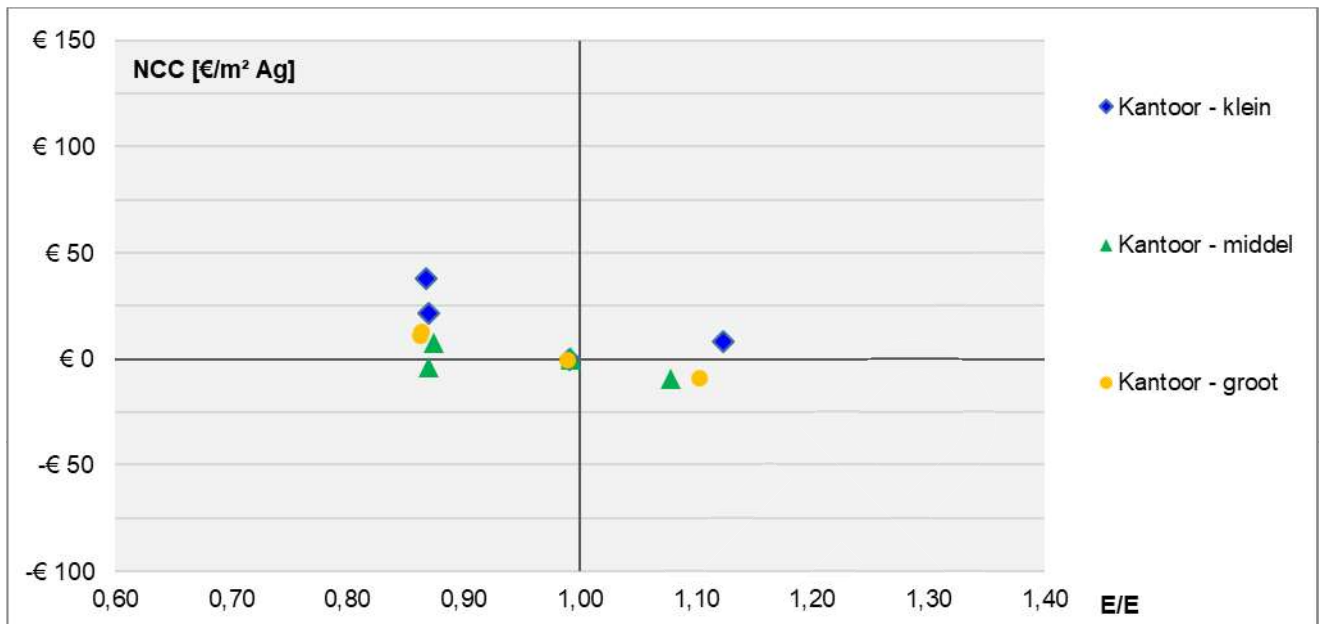
Bij gezondheidszorggebouwen met bedfunctie (zie grafiek 7) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen voor zowel verpleeghuis als ziekenhuis leiden tot hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,8 en 1,05 ten opzichte van de E/E van 1,00. Deze range is onafhankelijk van het type zorggebouw: deze geldt voor beide onderzochte gebouwtypen binnen de gebruiksfunctie zorg met bedgebied. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 1,8 voor gezondheidszorggebouwen met bedgebied uit het Bouwbesluit.



Grafiek 7: Netto contante meerkosten van maatregelpakketten voor gezondheidszorggebouwen met bedfunctie

Kantoorgebouwen

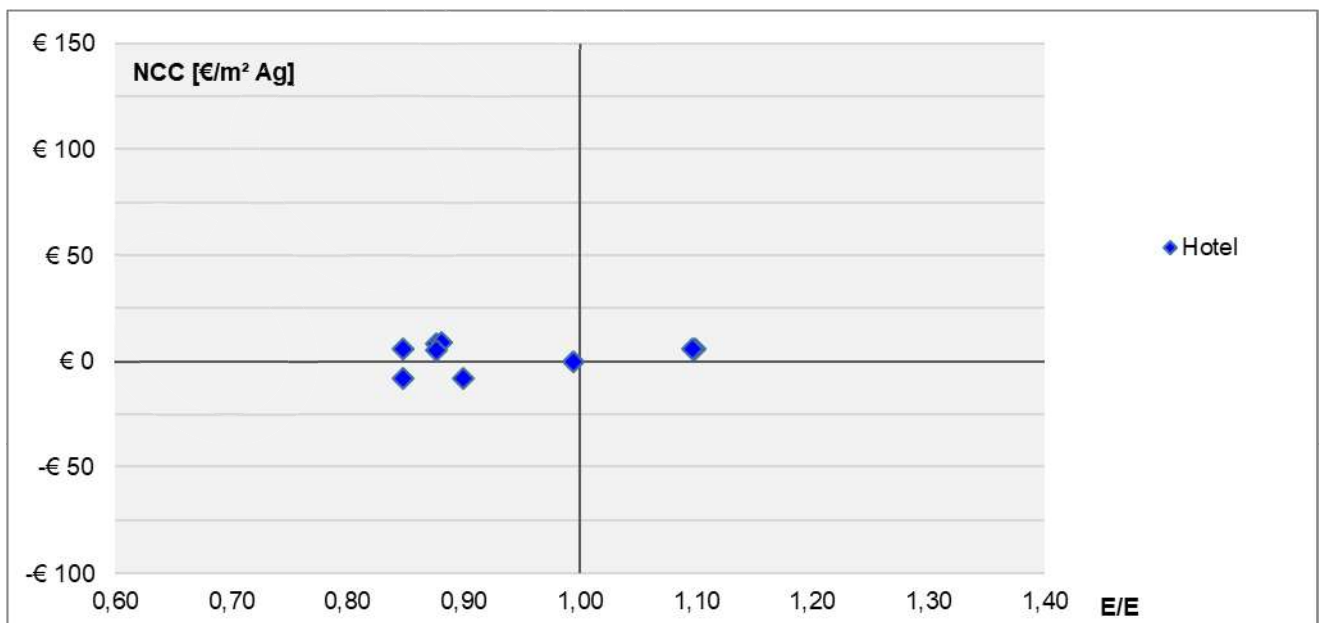
Bij kantoorgebouwen (zie grafiek 8) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen voor de verschillende kantoorgebouwen leiden tot hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,85 en 1,10 ten opzichte van de E/E van 1,00. Deze range is onafhankelijk van de grootte van het kantoorgebouw. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 0,8 voor kantoorfunctie in het Bouwbesluit.



Grafiek 8: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor kantoorgebouwen

Logiesgebouwen

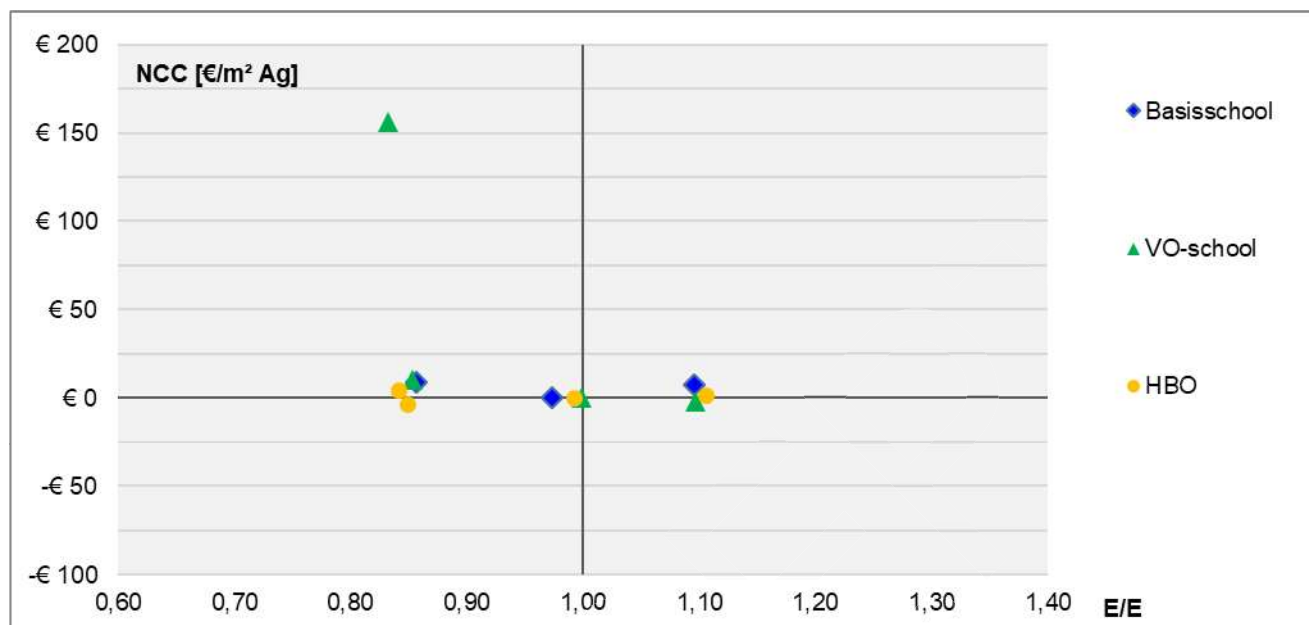
Bij logiesgebouwen (zie grafiek 9) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen zorgen voor een beperkt hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,85 en 1,0 ten opzichte van de E/E van 1,00. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 1,0 voor logiesfunctie in logiesgebouw in het Bouwbesluit.



Grafiek 9: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor logiesgebouwen

Onderwijsgebouwen

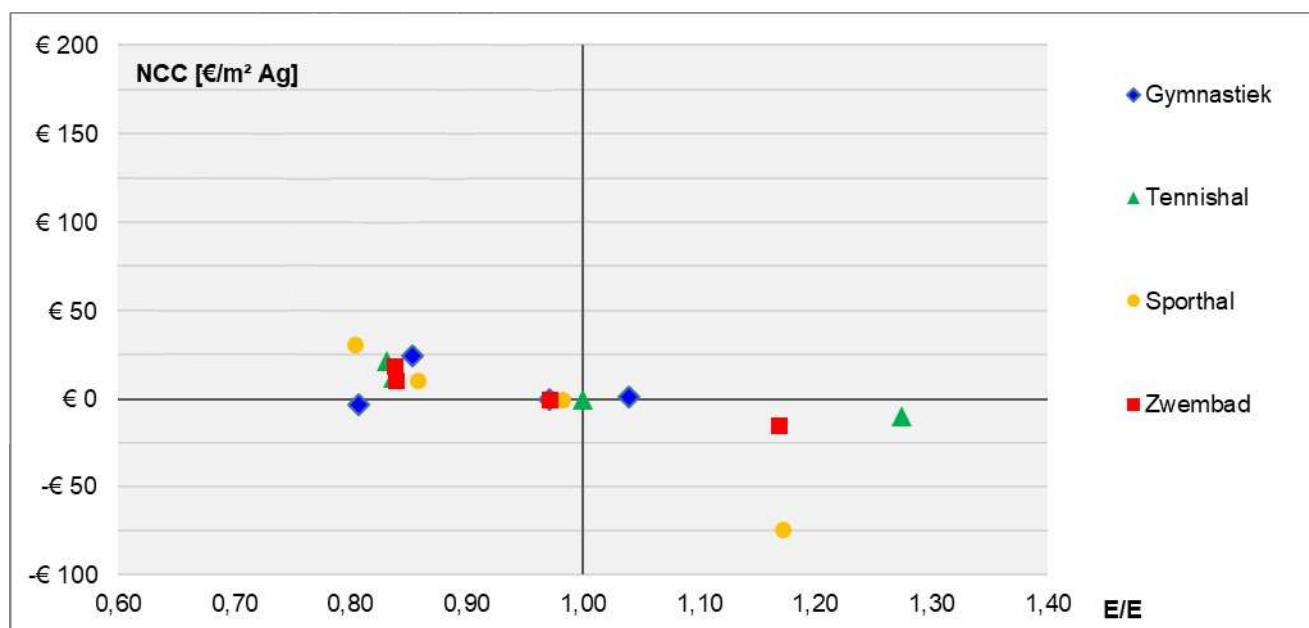
Bij onderwijsgebouwen (zie grafiek 10) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen voor bijna alle referentiegebouwen leiden tot hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,85 en 1,10 ten opzichte van de E/E van 1,00. Deze range is onafhankelijk van het type onderwijsgebouw: deze geldt voor alle onderzochte gebouwtypen binnen de gebruiksfunctie onderwijs. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 0,7 voor onderwijsfunctie in het Bouwbesluit.



Grafiek 10: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor onderwijsgebouwen

Sportgebouwen

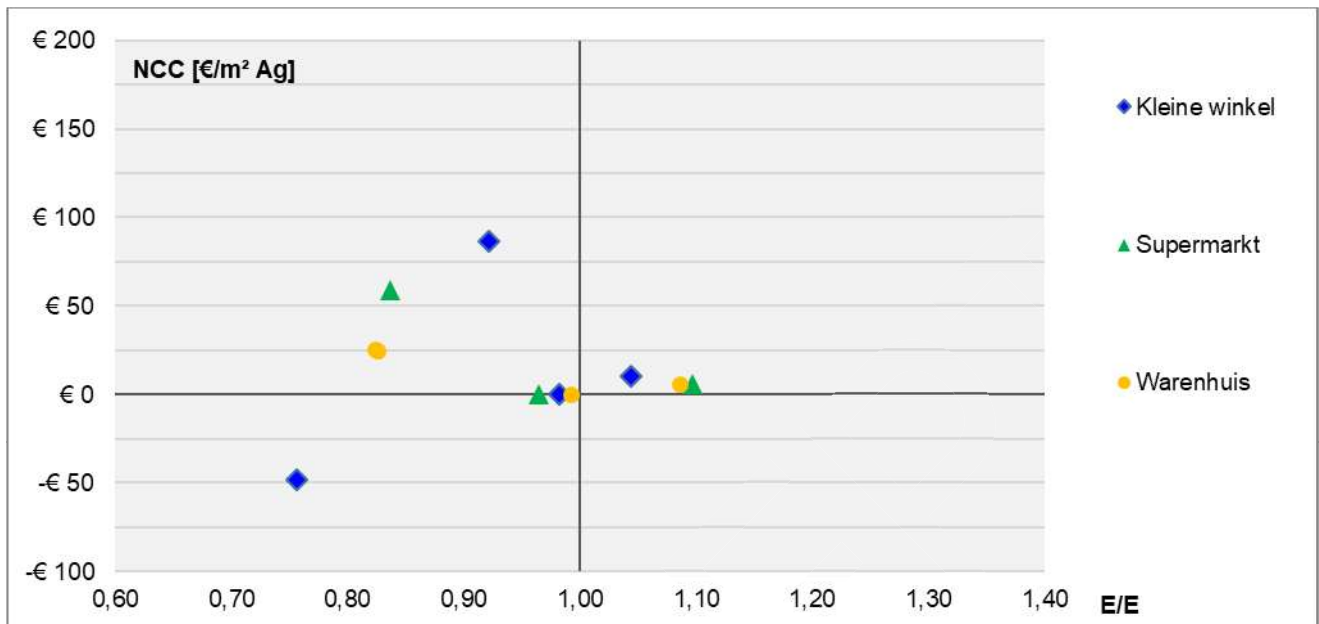
Bij sportgebouwen (zie grafiek 11) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen voor bijna alle referentiegebouwen leiden tot hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,8 en 1,20 ten opzichte van de E/E van 1,00. Deze range is onafhankelijk van het type sportgebouw: deze geldt voor alle onderzochte gebouwtypen binnen de gebruiksfunctie sportgebouwen. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 0,9 voor sportfunctie in het Bouwbesluit.



Grafiek 11: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor sportgebouwen

Winkelgebouwen

Bij winkelgebouwen (zie grafiek 12) is te zien dat aanvullende energiebesparende maatregelen voor bijna alle referentiegebouwen leiden tot hogere NCC. De kostenoptimale range ligt tussen circa 0,75 en 1,0 ten opzichte van de E/E van 1,00. Dit geldt voor alle onderzochte gebouwtypen binnen de gebruiksfunctie winkelfunctie. De E/E van 1,00 komt overeen met de EPC-eis van 1,7 voor winkelfunctie in het Bouwbesluit.



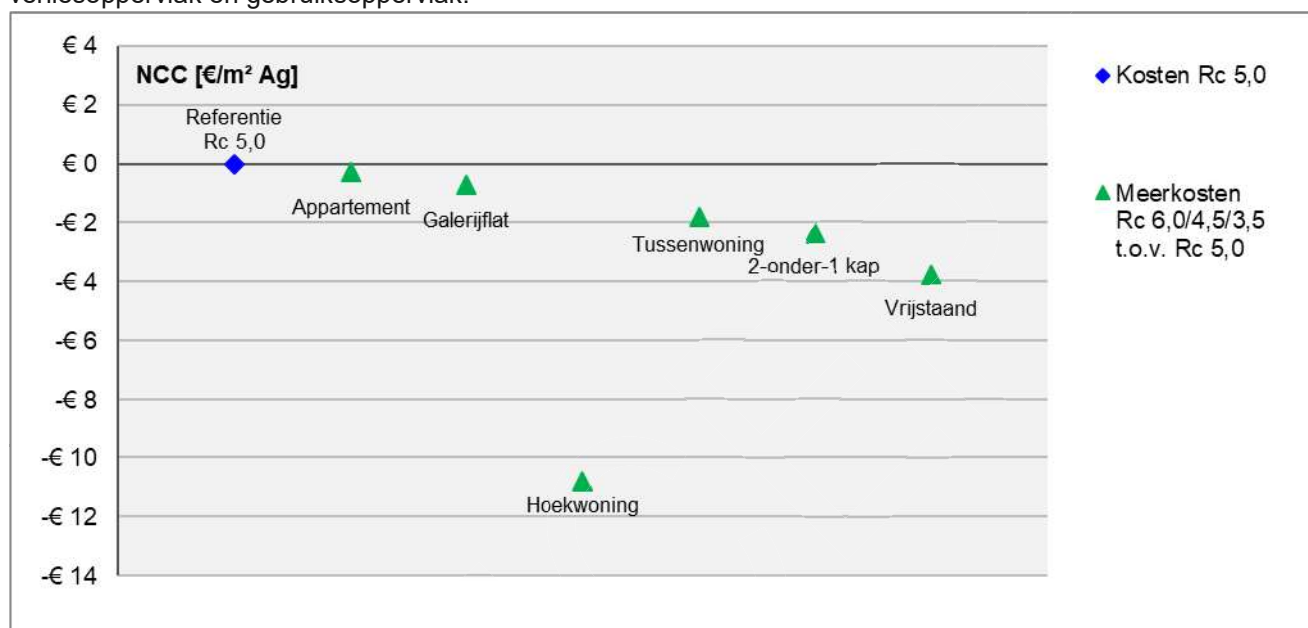
Grafiek 12: Netto contante meerkosten (financieel) van maatregelpakketten voor winkelgebouwen

5.2 Isolatie-eisen nieuwbouw

Onderstaand zijn de resultaten van het onderzoek naar de kostenoptimaliteit van de isolatie-eisen voor nieuwbouw weergegeven, gesplitst naar woningbouw en utiliteitsbouw. Deze eisen worden ook wel de 'vangnet-eisen' genoemd.

5.2.1 Woningbouw

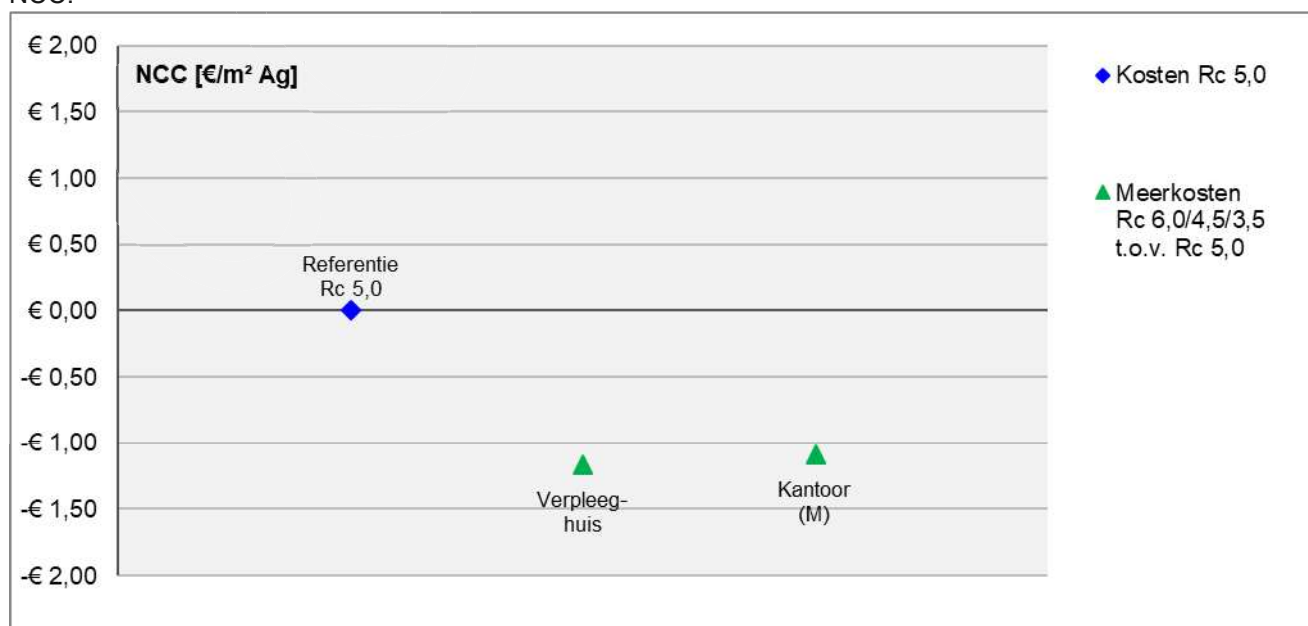
Het vervangen van de Rc-waarde van 5,0 door de gedifferentieerde waarden (dak/gevel/vloer) 6,0/4,5/3,5 leidt bij de onderzochte referentiegebouwen tot beperkt lagere NCC. De afwijking van de hoekwoning ten opzichte van de andere woningen is opvallend. Deze ontstaat door een afwijkende verhouding tussen verliesoppervlak en gebruiksoppervlak.



Grafiek 13: Netto contante meerkosten (financieel) van de gedifferentieerde vangneteisen voor woningbouw

5.2.2 Utiliteitsbouw

Het vervangen van de Rc-waarde van 5,0 door de gedifferentieerde waarden (dak/gevel/vloer) 6,0/4,5/3,5 leidt bij de onderzochte referentiegebouwen (gezondheidszorg met bed en kantoorfunctie) tot beperkt lagere NCC.



Grafiek 14: Netto contante meerkosten (financieel) van de gedifferentieerde vangneteisen voor utiliteitsbouw

5.3 Bestaande bouw, ingrijpende renovatie

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van de financiële calculatie van de maatregelen en maatregelpakketten voor verschillende ingrijpende renovatiesituaties bij bestaande bouw. De berekeningen zijn uitgevoerd voor gebouwen als geheel. De resultaten van de calculatie zijn weergegeven als netto contante meerkosten (zie paragraaf 3.7) per vierkante meter gebruiksoppervlak van de desbetreffende referentiegebouwen. Op de horizontale as van de figuren is het effect weergegeven van het maatregelpakket op het primaire energiegebruik in kWh per vierkante meter gebruiksoppervlak (zie paragraaf 2.4).

De resultaten voor woningen en kantoren zijn achtereenvolgens in paragraaf 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3 en 5.3.4 gepresenteerd. Bij de weergave van de resultaten zijn primair de maatregelenpakketten op gebouwniveau geëvalueerd. In tweede instantie is een check uitgevoerd op de rentabiliteit van afzonderlijke maatregelen. De energiebesparende maatregelpakketten betreffen een combinatie van bouwkundige en installatietechnische maatregelen zoals aangegeven in paragraaf 4.3. Om hier meer verschil in te kunnen zien kan men de achterliggende tabellen (zie bijlage 6) raadplegen waar de pakketten getalsmatig zijn gepresenteerd.

5.3.1 Maatregelpakketten woningbouw

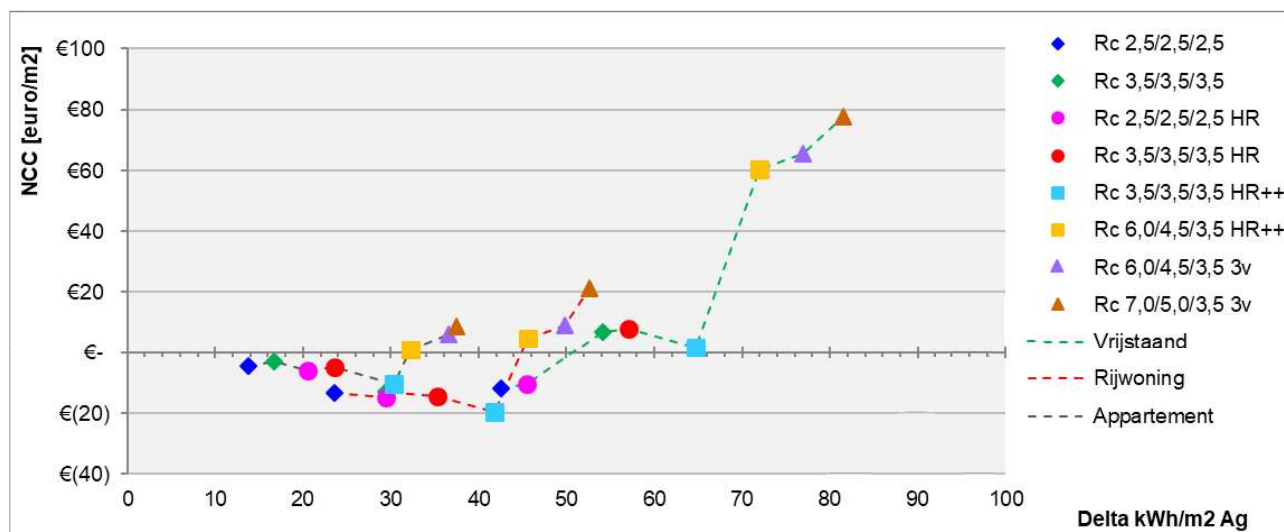
De resultaten van de beschouwde maatregelpakketten zijn weergegeven in grafiek 15 tot en met grafiek 18. Per maatregelpakket zijn de resultaten weergegeven voor zowel de grondgebonden woningen als voor de appartementen. De afzonderlijke maatregelen zijn weergegeven in grafiek 19 tot en met grafiek 25. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de verschillende referentiegebouwen.

In grafiek 15 tot en met grafiek 18 zijn de NCC weergegeven van de bouwkundige maatregelpakketten met na-isolatie van dak, gevel en vloer in combinatie met beglazing in combinatie met een HR107 combiketel en een warmtepomp.

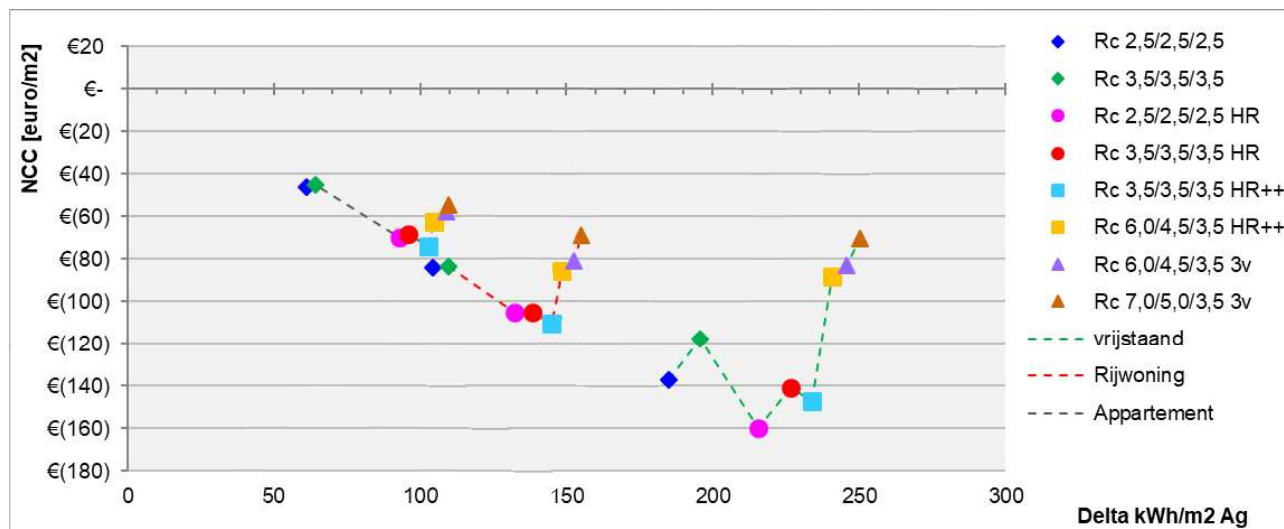
In de figuren is per gebouw een kostenoptimaliteitslijn weergegeven bestaande uit de acht punten van de verschillende maatregelpakketten. De energiebesparing in de figuren is het kleinst bij het appartement (grijze lijn) en het grootst bij de vrijstaande woning (groene lijn). De tussenliggende resultaten voor de rijwoning zijn weergegeven met een rode lijn.

Isolatiepakketten bij toepassen van een HR combiketel

In grafiek 15 en grafiek 16 is onderscheid gemaakt tussen de matig geïsoleerde en ongeïsoleerde referentiegebouwen bij toepassing van een HR combiketel.



Grafiek 15: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in matig geïsoleerde woningen (appartement, rijkwoning, vrijstaand); bij toepassing van HR combiketel

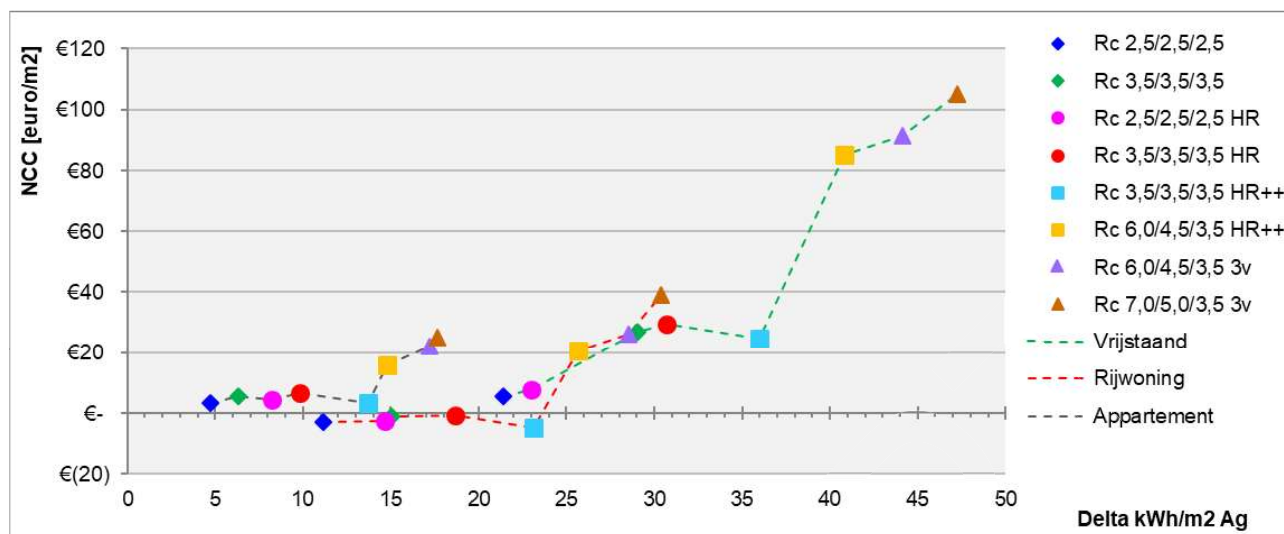


Grafiek 16: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in niet geïsoleerde woningen (appartement, rijkwoning, vrijstaand); bij toepassing van HR combiketel

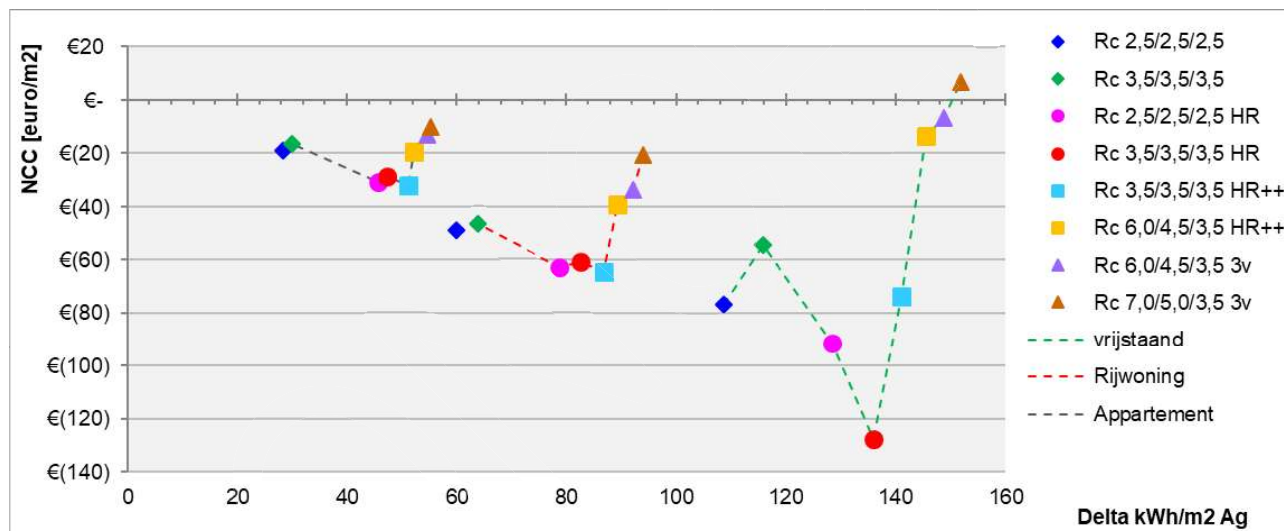
In grafiek 15 zijn in de meeste gevallen de maatregelpakketten kosteneffectief. De maatregelen verdienen zich hierdoor binnen de gehanteerde uitgangspunten terug. Het kostenoptimale pakket is (dak/gevel/vloer/glas) Rc 3,5/3,5/3,5/HR++ voor de rijkwoning en het appartement. Voor de vrijstaande woning is dit Rc 2,5/2,5/2,5/HR. Voor de niet geïsoleerde woningen in grafiek 16 zijn alle maatregelpakketten kosteneffectief. Ook hier geldt dat voor de rijkwoning en het appartement het pakket Rc 3,5/3,5/3,5/HR++ kostenoptimaal is. Voor de vrijstaande woning is het pakket Rc 2,5/2,5/2,5/HR kostenoptimaal.

Isolatiepakketten bij toepassing van een warmtepomp

Bij de resultaten in grafiek 17 en grafiek 18 is onderscheid gemaakt tussen de matig geïsoleerde en ongeïsoleerde referentiegebouwen bij toepassing van een warmtepomp.



Grafiek 17: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in matig geïsoleerde woningen (appartement, rijwoning, vrijstaand); bij toepassing van een warmtepomp



Grafiek 18: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in niet geïsoleerde woningen (appartement, rijwoning, vrijstaand); bij toepassing van een warmtepomp

In grafiek 17 zijn bijna in alle gevallen de maatregelpakketten niet kosteneffectief. De maatregelen verdienen zich hierdoor niet binnen de gehanteerde uitgangspunten terug. Het kostenoptimale pakket is Rc 3,5/3,5/3,5/HR++ voor de rijwoning en appartement. Voor de vrijstaande woningen is er geen sprake van een kostenoptimaal punt. Voor de niet geïsoleerde woningen in grafiek 18 zijn alle maatregelpakketten kosteneffectief. Het kostenoptimale pakket is Rc 3,5/3,5/3,5/HR++ voor de rijwoning en appartement. Voor de vrijstaande woningen is het kosten optimale punt Rc 3,5/3,5/3,5/HR.

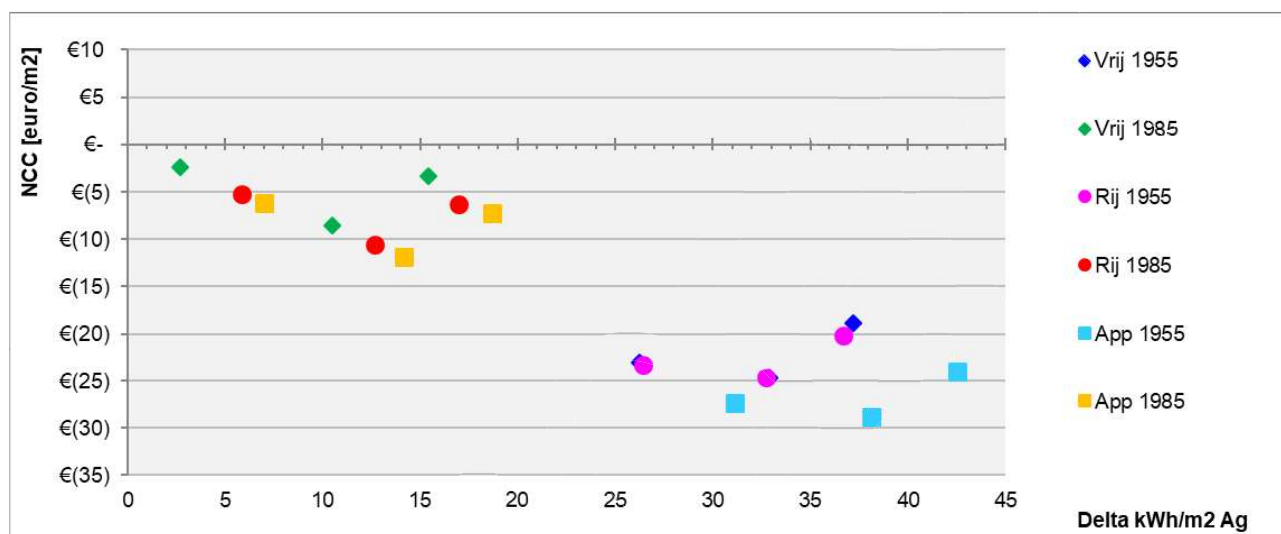
Wanneer de maatregelpakketten worden toegepast in combinatie met een warmtepomp (grafiek 17 & 18) worden de NCC hoger dan ten opzichte van een HR combiketel (grafiek 15 en 16).

5.3.2 Losse maatregelen woningbouw

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven voor de losse maatregelen op het gebied van beglazing, spouw isolatie, verwarming en hernieuwbare energie (zonneboiler en PV). Bij de gepresenteerde resultaten is uitgegaan van een HR-combiketel. Dit geeft voldoende inzicht om te concluderen of de eisen op componentniveau in lijn zijn met het kostenoptimale niveau van de pakketten. Volledigheidshalve zijn de getalsmatige resultaten in geval van een warmtepomp weergegeven in bijlage 6.

Beglazing (HR, HR++ en drievoudig)

In grafiek 19 zijn per gebouw drie resultaten voor beglazing weergegeven. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe voor HR, HR++ en drievoudige beglazing. Bijvoorbeeld: de drie groene ruitjes linksboven in de grafiek geven de resultaten voor een vrijstaande woning uit 1985 die wordt voorzien van respectievelijk HR, HR++ en drievoudige beglazing. Het kostenoptimale punt is HR++ beglazing voor elk referentiegebouw.

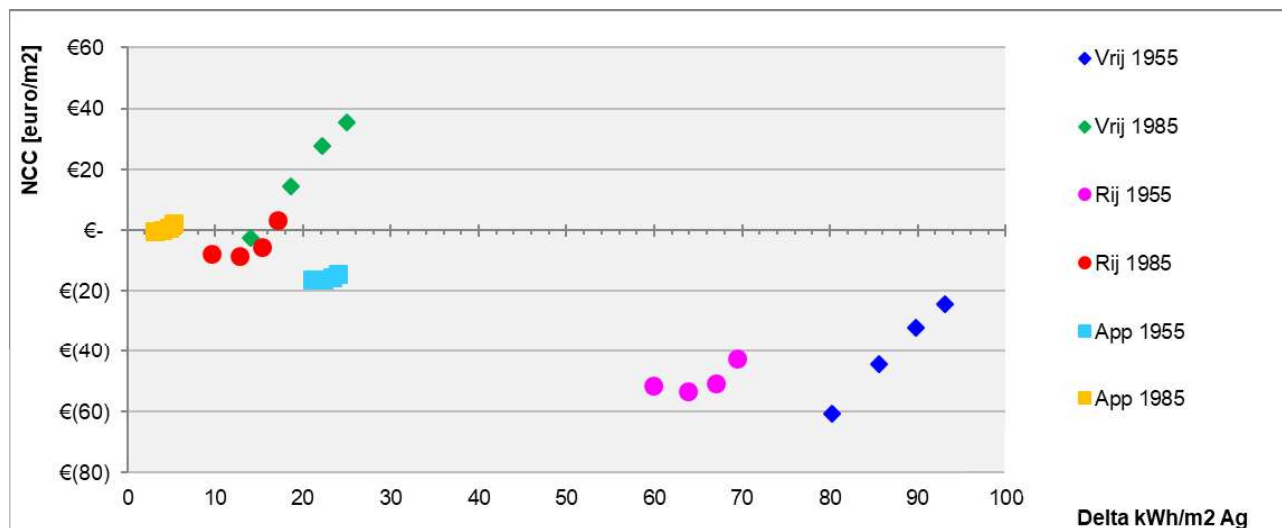


Grafiek 19: Netto contante meerkosten van beglazing; toepassing van HR combiketel

Dak (Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 6,0 - 7,0 m²K/W)

In grafiek 20 zijn per gebouw de resultaten voor na-isolatie van het dak weergegeven met een Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 6,0 - 7,0 m²K/W. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe met toenemende Rc-waarde. Bijvoorbeeld: de vier rode rondjes links in de grafiek geven de resultaten voor een rijwoning uit 1985 die wordt voorzien van dakisolatie met een Rc van respectievelijk 2,5 - 3,5 - 6,0 - 7,0 m²K/W.

Toepassing van Rc 3,5 m²K/W is bij de rijwoning en de appartementen het kostenoptimale punt. Voor de vrijstaande woning nemen de kosten toe bij toenemende isolatiewaarde. Dit wordt enerzijds veroorzaakt doordat de prijs per vierkante meter van een geïsoleerde dakelement door de grotere overspanningen bij de vrijstaande woning groter is en anderzijds doordat de vrijstaande woning een relatief groot dakoppervlak heeft (ten opzichte van de energiebesparing die met de na-isolatie gerealiseerd wordt). Het kostenoptimale punt voor vrijstaande woningen is Rc 2,5 m²K/W.

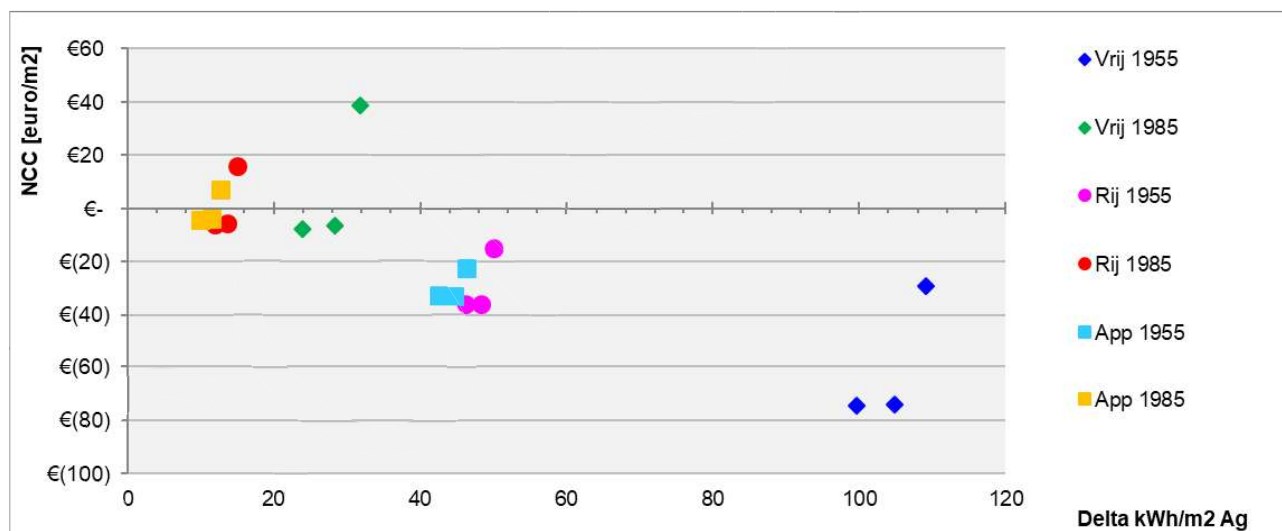


Grafiek 20: Netto contante meerkosten bij na-isolatie van het dak; toepassing van HR combiketel

Gevel (Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 4,5 m²K/W)

In grafiek 21 zijn per gebouw de resultaten voor na-isolatie van de gevel weergegeven met een Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 4,5 m²K/W. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe met toenemende Rc-waarde. Bijvoorbeeld: de drie groene ruitjes linksboven in de grafiek geven de resultaten voor een vrijstaande woning uit 1985 die wordt voorzien van gevelisolatie met een Rc van respectievelijk 2,5 - 3,5 - 4,5 m²K/W.

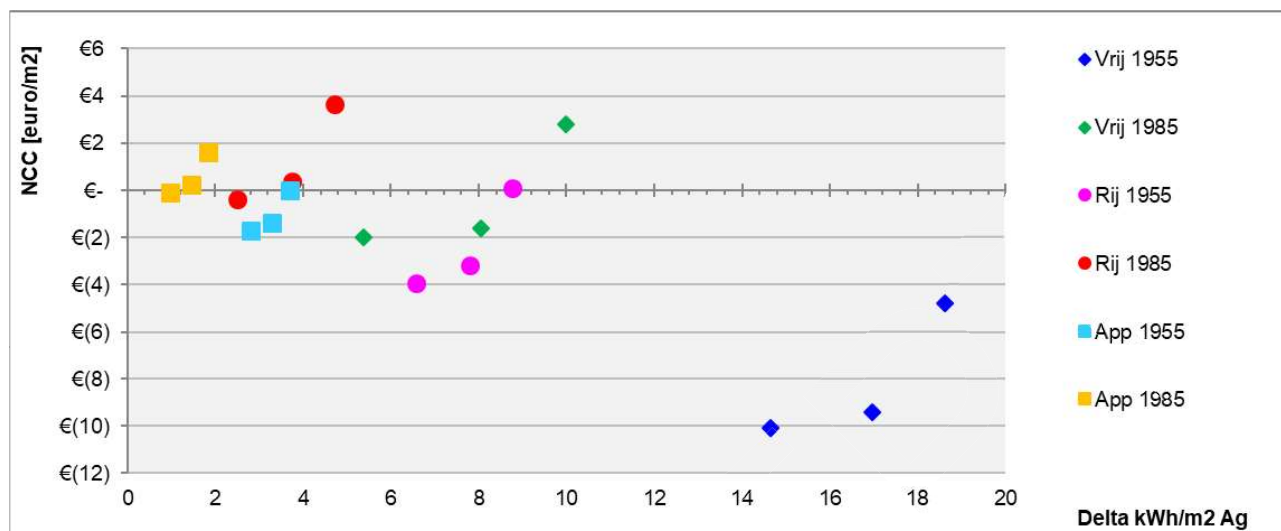
Het kostenoptimale punt voor alle referentiegebouwen ligt tussen de Rc 2,5 en 3,5 m²K/W. Bij toepassing van Rc 4,5 m²K/W nemen de NCC toe. Ook hier is het effect bij de vrijstaande woning het grootst, circa € 40,- door het relatief grote geveleppervlak van een vrijstaande woning.



Grafiek 21: Netto contante meerkosten bij na-isolatie van de gevel; toepassing van HR combiketel

Vloer (Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 5,0 m²K/W)

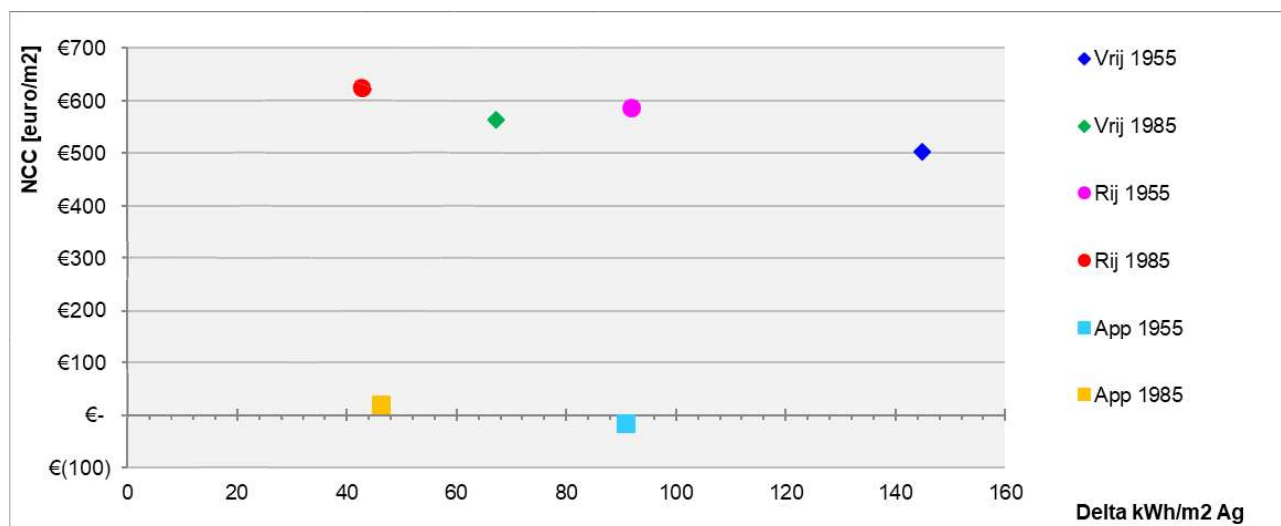
In grafiek 22 zijn per gebouw de resultaten weergegeven voor na-isolatie van een standaard vloer op grondslag vloer met een Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 5,0 m²K/W. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe met toenemende Rc-waarde. Bijvoorbeeld: de drie rode rondjes linksboven in de grafiek geven de resultaten voor een rijwoning uit 1985 die wordt voorzien van vloerisolatie met een Rc van respectievelijk 2,5 - 3,5 - 5,0 m²K/W. Het kostenoptimale punt voor alle referentiegebouwen is Rc 2,5 m²K/W.



Grafiek 22: Netto contante meerkosten bij na-isolatie van een vloer op grondslag; toepassing van HR combiketel

Verwarming

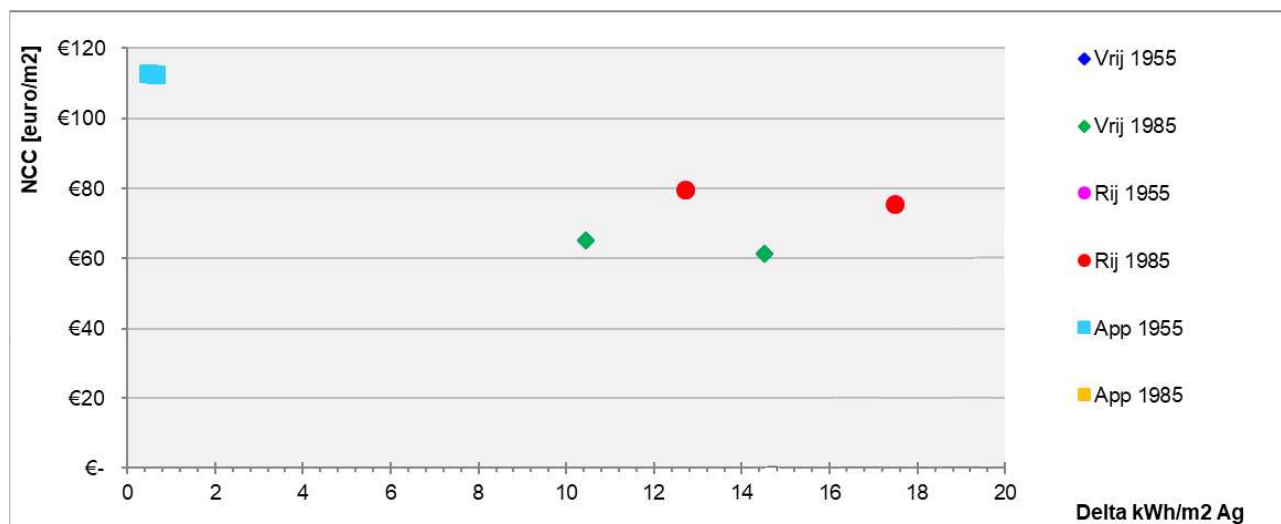
In grafiek 23 staan de resultaten voor toepassing van een warmtepomp in plaats van een HR107 combiketel. Toepassing van een warmtepomp in plaats van een HR combiketel heeft in vrijwel alle gevallen een NCC hoger dan nul. Alleen in geval van het appartementengebouw 1955 en 1985 is sprake van een kosteneffectieve investering waar de NCC circa nul zijn. Bij vrijstaand en rijwoningen is er geen sprake van een kosteneffectieve investering en verdient de maatregel zich niet terug.



Grafiek 23: Netto contante meerkosten bij toepassing van een warmtepomp in plaats van een HR107 combiketel

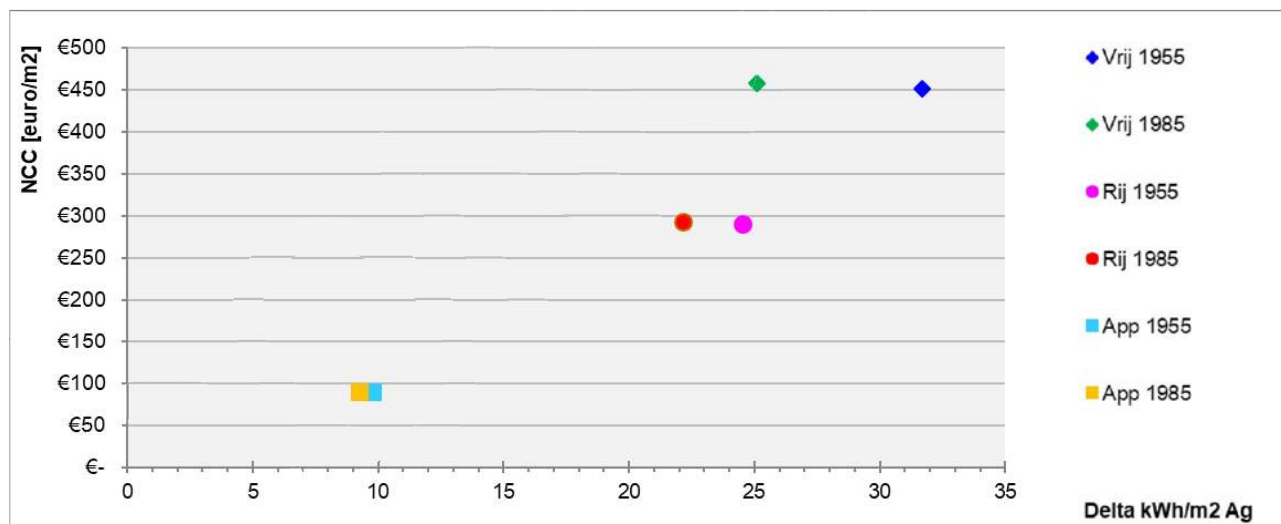
Hernieuwbare energie

In grafiek 24 zijn de resultaten weergegeven voor toepassing van een zonneboiler voor tapwater en in grafiek 25 voor toepassing van PV-panelen. Toepassing van een zonneboiler leidt in alle gevallen tot hogere NCC die boven nul liggen. Dit betekent dat de investering zich niet terugverdient. De resultaten voor de woonfuncties uit 1955 zijn gelijk aan de resultaten uit 1985.



Grafiek 24: Netto contante meerkosten bij toepassing van een zonneboiler

Bij toepassing van PV panelen leidt het altijd tot hogere NCC die boven nul liggen. Dit betekent dat de investering zich niet terugverdient. De maximale energiebesparing is mede afhankelijk van het totale gebouwgebonden elektriciteitsverbruik.



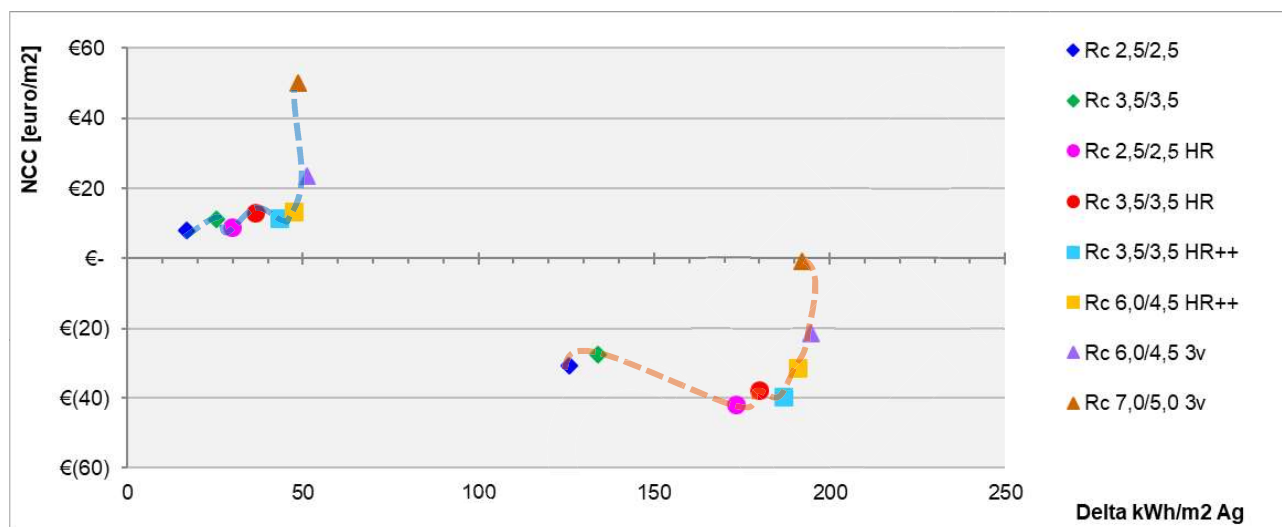
Grafiek 25: Netto contante meerkosten bij toepassing van PV-panelen

5.3.3 Maatregelpakketten utiliteitsbouw

Bij de weergave van de resultaten voor kantoor zijn net als bij woningen primair de maatregelenpakketten op gebouwniveau geëvalueerd (paragraaf 5.3.1). In tweede instantie is een check uitgevoerd op de rentabiliteit van afzonderlijke maatregelen (paragraaf 5.3.2). De energiebesparende maatregelpakketten betreffen een combinatie van bouwkundige en installatietechnische maatregelen zoals aangegeven in hoofdstuk 4. Per maatregel(pakket) zijn de resultaten voor zowel de het ongeïsoleerde kantoor uit 1955 als het matig geïsoleerde kantoor uit 1985 weergegeven.

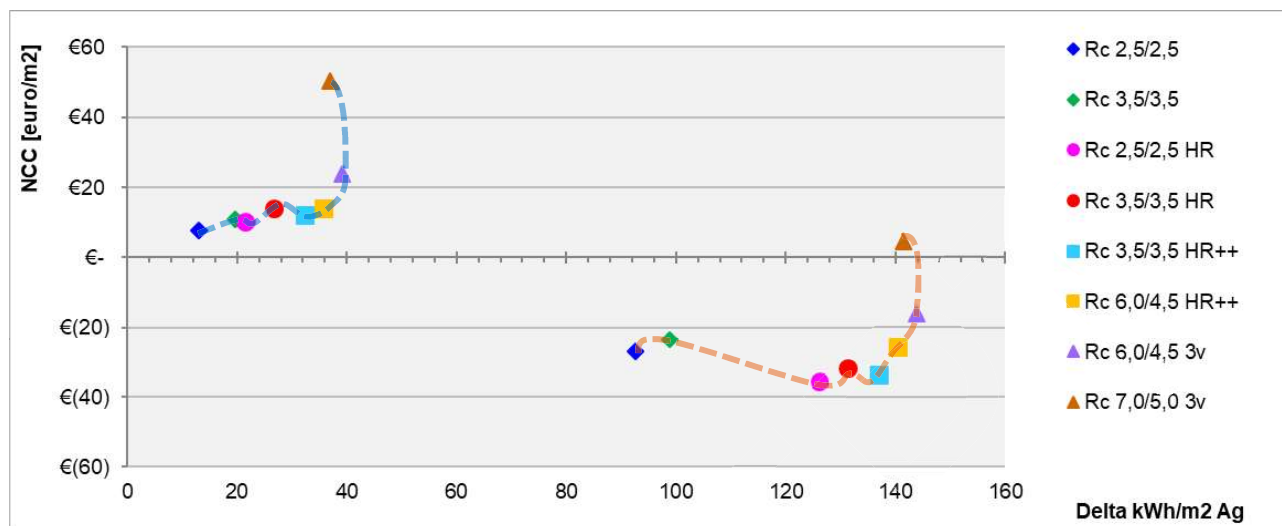
Vloerisolatie is in de maatregelpakketten niet meegenomen omdat er in de meeste gevallen sprake is van een betonnen vloerconstructie. Ingrijpende renovatie van de vloer is dan niet aan de orde. De resultaten zijn weergegeven in grafiek 26 en 27 voor achtereenvolgens de volgende opweksystemen: HR107-combiketel en warmtepomp. In de grafieken is een kostenoptimaliteitslijn weergegeven die de acht punten van de verschillende maatregelpakketten verbindt. Voor het matig geïsoleerde kantoor is deze **blauw** gemarkeerd en voor het niet geïsoleerde kantoor **oranje**. De energiebesparing is logischerwijs het kleinst bij het matig geïsoleerde kantoor.

In grafiek 26 is te zien dat de maatregelen zich voor niet geïsoleerde kantoren binnen de gehanteerde uitgangspunten terugverdienen. Bij niet geïsoleerde kantoren is sprake van een kostenoptimaal punt namelijk de Rc van 2,5/2,5 HR en 3,5/3,5 HR++ beglazing. Voor het matig geïsoleerde kantoor is er bij alle maatregelpakketten sprake van NCC hoger dan nul, zijn de pakketten niet kosteneffectief en is hierdoor geen sprake van een kostenoptimaal punt.



Grafiek 26: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in kantoren matig geïsoleerd verbonden met een **blauw**-gemarkeerd lijn en kantoor niet geïsoleerd met een **oranje**-gemarkeerd lijn; toepassing HR combiketel

In grafiek 27 is te zien dat bijna alle maatregelen zich voor niet geïsoleerde kantoren binnen de gehanteerde uitgangspunten terugverdienen. Het maatregelpakket Rc van 7,0/5,0 3V ligt iets hoger dan de nul lijn en is hierdoor net niet kosteneffectief. Bij niet geïsoleerde kantoren is sprake van een kostenoptimaal punt namelijk de Rc van 2,5/2,5 HR en 3,5/3,5 HR++ beglazing. Voor het matig geïsoleerde kantoor is er bij alle maatregelpakketten sprake van NCC hoger dan nul en zijn hierdoor niet kosteneffectief. Hier is dan ook geen sprake van een kosten optimaal punt.



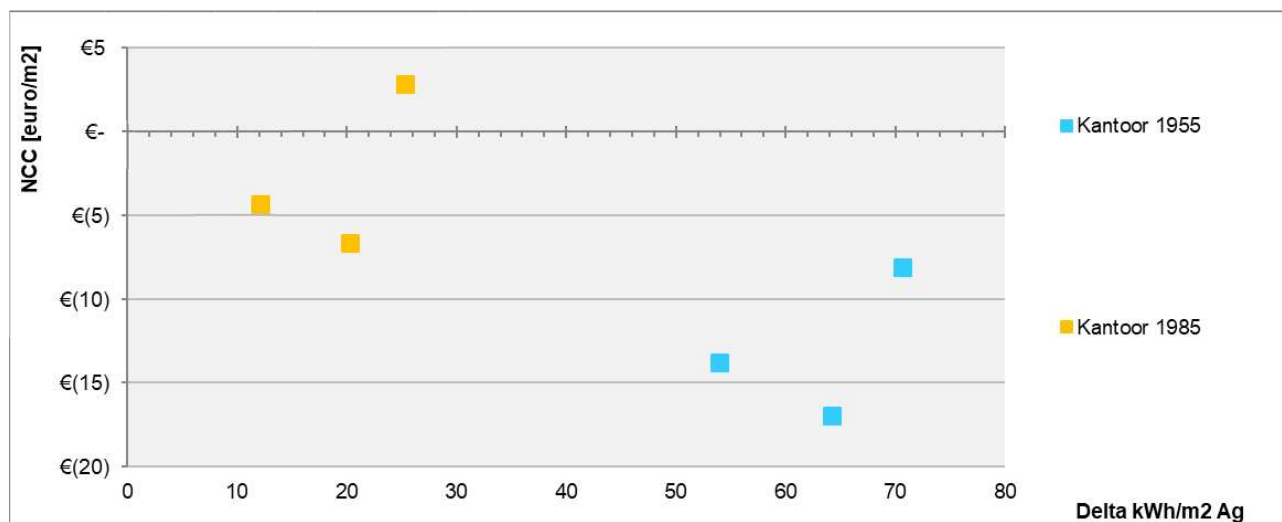
Grafiek 27: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in kantoren matig geïsoleerd verbonden met een blauw-gemarkeerd lijn en kantoor niet geïsoleerd met een oranje-gemarkeerd lijn; toepassing van een warmtepomp

5.3.4 Losse maatregelen u liteitsbouw

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven voor de losse maatregelen op het gebied van beglazing, isolatie, verwarming en PV. De resultaten zijn gepresenteerd uitgaande van een HR combiketel. Dit geeft voldoende inzicht om te concluderen of de eisen op een bepaald niveau in lijn zijn met het kostenoptimale niveau van de pakketten, zoals dat blijkt uit paragraaf 5.3.2. volledigheidshalve zijn de getalsmatige resultaten in geval van een warmtepomp weergegeven in bijlage 6.

Beglazing (HR, HR++ en drievoudig).

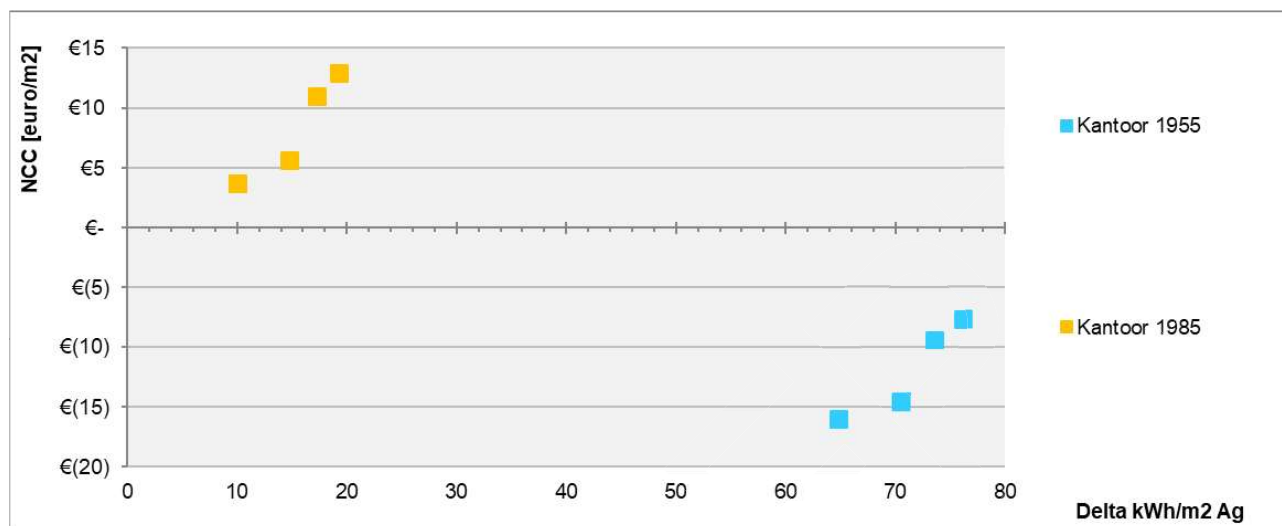
In grafiek 28 zijn voor beide kantoren gebouwen drie resultaten weergegeven voor beglazing. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe voor HR, HR++ en drievoudige beglazing. Toepassing van HR++ beglazing heeft de laagste NCC en is dan ook het kostenoptimale punt.



Grafiek 28: Netto contante meerkosten van beglazing; toepassing van HR combiketel

Dak (Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 6,0 - 7,0 m²K/W)

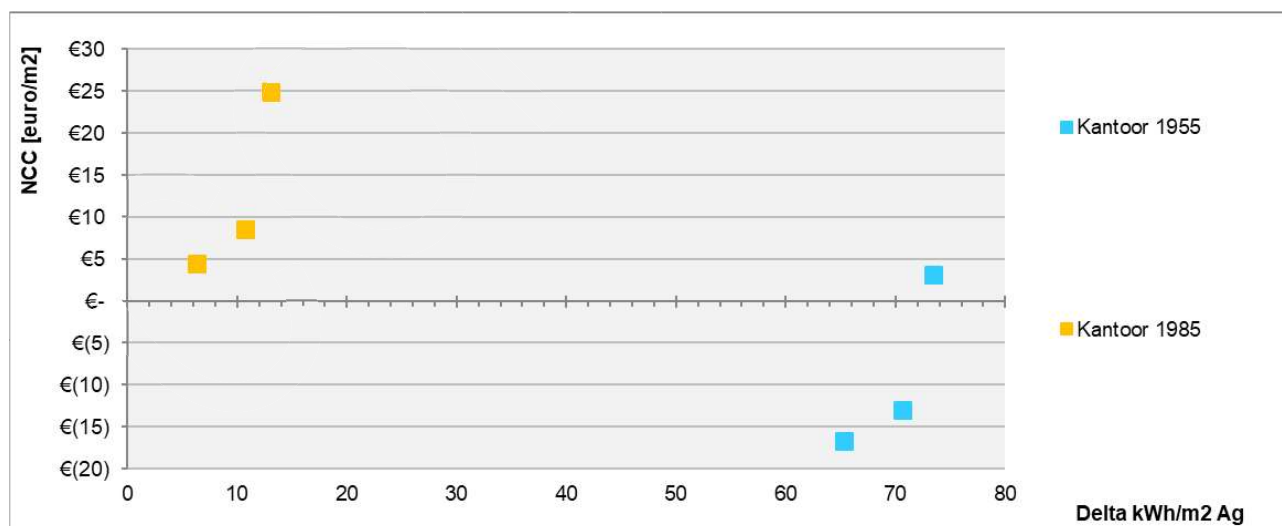
Voor de kantoorgebouwen met een HR combiketel zijn in grafiek 29 de resultaten weergegeven voor na-isolatie van het dak met een Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 6,0 - 7,0 m²K/W. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe met toenemende Rc-waarde. Voor de kantoren 1955 is het kostenoptimale punt Rc-waarde van 2,5. Voor de kantoren 1985 nemen de kosten toe bij toenemende isolatiewaarde. Bij het matig geïsoleerde kantoor zijn de NCC hierdoor allemaal hoger dan nul, en is er geen sprake van een kostenoptimaal punt. Bij toepassing van een warmtepomp zijn de NCC altijd groter dan nul. De resultaten voor de warmtepomp zijn opgenomen in bijlage 6.



Grafiek 29: Netto contante meerkosten bij na-isolatie van het dak; toepassing van HR combiketel

Gewel (Rc-waarde van 2,5 - 3,5 - 4,5 m²K/W)

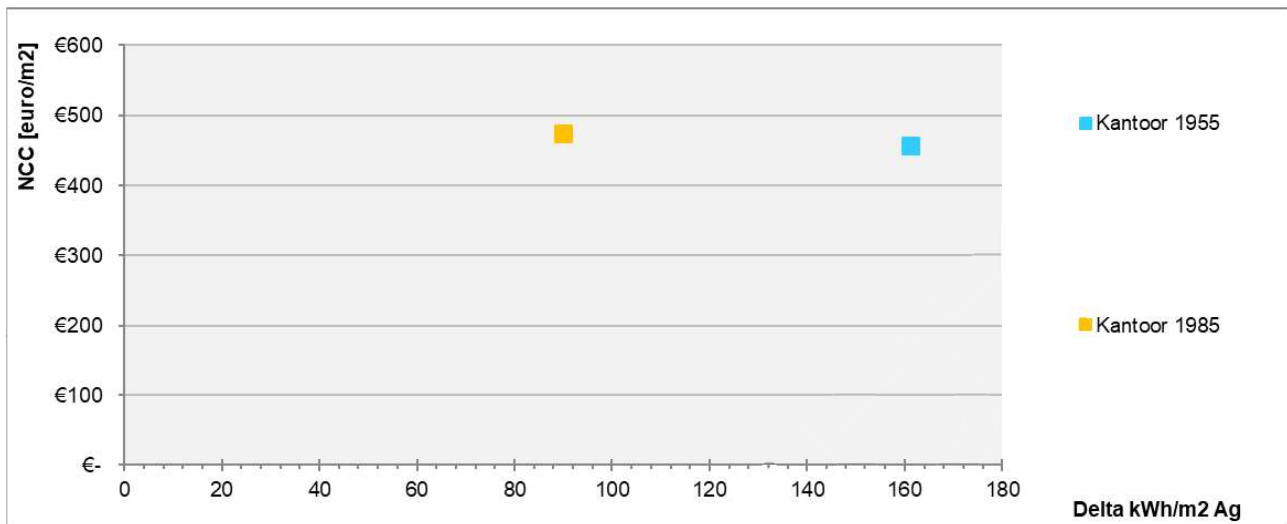
In grafiek 30 zijn de resultaten weergegeven voor na-isolatie van de gewel van de kantoren met een HR combiketel, waarbij de Rc-waarde oploopt van 2,5 - 3,5 - 4,5 m²K/W. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe met toenemende Rc-waarde. Voor het kantoor 1955 is het kostenoptimale punt Rc 2,5 m²K/W. Bij toepassing van Rc 4,5 m²K/W nemen de NCC relatief veel toe. Bij kantoor 1985 is er geen sprake van een kostenoptimaal punt.



Grafiek 30: Netto contante meerkosten bij na-isolatie van de gewel; toepassing van HR combiketel

Verwarming

In grafiek 31 zijn de resultaten weergegeven voor toepassing van een warmtepomp in plaats van een HR107 combiketel. In beide gevallen voor kantoren is er geen sprake van een kostenoptimaal punt bij het vervangen van een HR combiketel door een Warmtepomp. De maatregel verdient zich niet terug en is dus niet kosteneffectief.

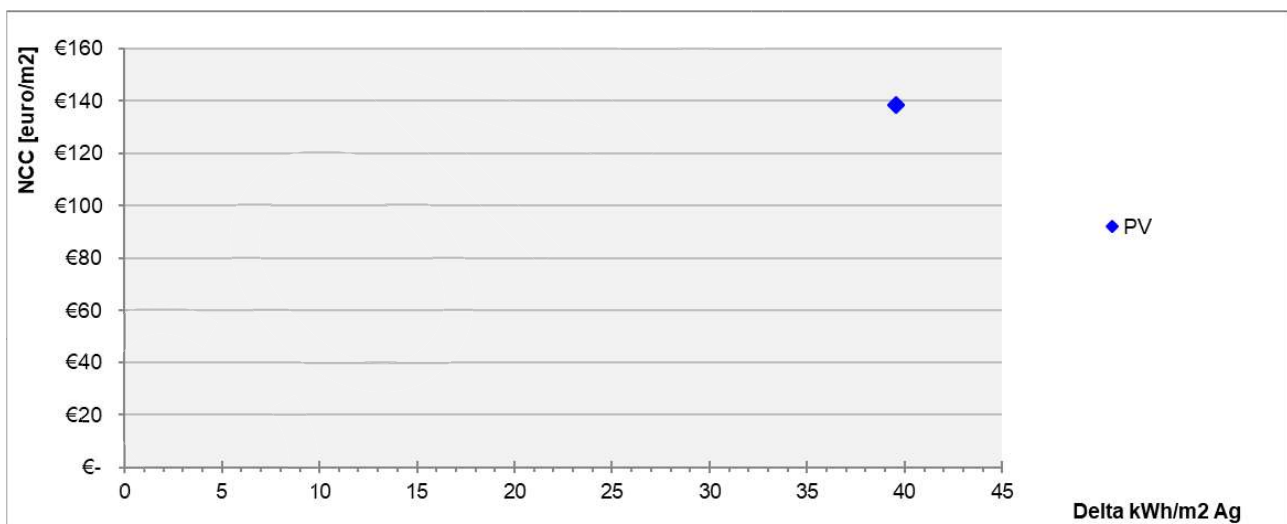


Grafiek 31: Netto contante meerkosten bij toepassing van een warmtepomp in plaats van een HR combiketel

PV

In grafiek 32 zijn de resultaten weergegeven voor toepassing van PV-panelen.

Toepassing van PV leidt altijd tot hogere NCC en verdient zich niet terug. De maximale energiebesparing is mede afhankelijk van het totale gebouw gebonden elektriciteitsverbruik. De resultaten voor het kantoor uit 1955 en 1985 zijn gelijk.



Grafiek 32: Netto contante meerkosten bij toepassing van PV-panelen

5.4 Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van de financiële calculatie van de maatregelen voor verschillende situaties bij vervanging van isolatie en beglazing binnen de bestaande bouw. De berekeningen zijn uitgevoerd voor gebouwen als geheel. Bij de resultaten in dit hoofdstuk zijn alleen die situaties getoond die bepalend zijn voor de eisen bij vervanging van isolatie of kozijnen. De getalsmatige resultaten van de energiebesparing en investeringskosten zijn voor elk van de beschouwde maatregelen weergegeven in bijlage 7.

In paragraaf 5.4.1 tot en met 5.4.4 zijn achtereenvolgens de resultaten weergegeven voor de volgende situaties die bepalend zijn voor de generieke eisen die gesteld kunnen worden aan deze constructiedelen:

- vervanging van isolatie bij vloeren boven buitenlucht
- vervanging van isolatie bij spouwmuren
- vervanging van isolatie bij hellende daken aan de buitenzijde
- vervanging van kozijnen met beglazing

5.4.1 Vloer

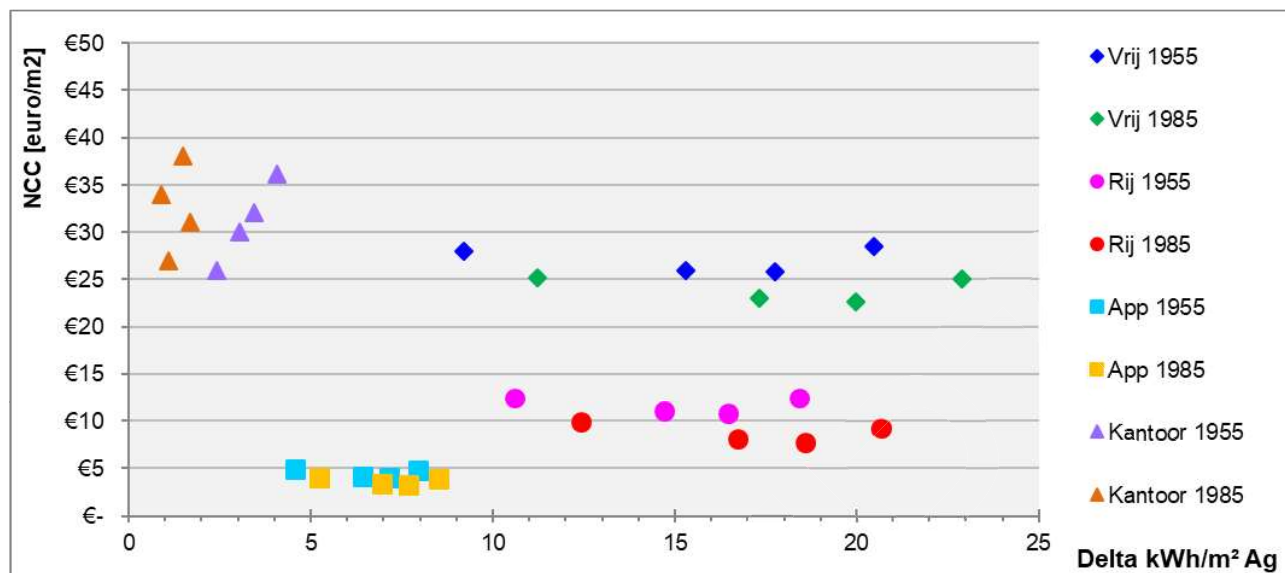
De generieke regelgeving in Nederland is van toepassing op alle mogelijke verschillende constructies van vloeren. De maximale isolatiedikte bij vervanging van vloeren boven buitenlucht is in voorkomende gevallen bepalend voor de generieke eisen die aan vloeren gesteld worden. Omdat er niet op voorhand vastgesteld kon worden of het kostenoptimale niveau niet zou optreden bij andere constructievarianten is er in het onderzoek ook gekeken naar de resultaten voor vervanging van isolatie bij vloeren boven kruipruimtes. Gebleken is dat deze situatie niet bepalend is voor de generieke eisen aan vloeren. De resultaten voor vloeren boven buitenlucht worden besproken in bijlage 7.

Bij vervanging van de isolatie van vloeren boven buitenlucht kan er sprake zijn van een beperking van de maximale isolatiedikte doordat de vrije hoogte onder de vloer boven buitenlucht beperkt is, bijvoorbeeld in een parkeergarage. Voor vloeren boven buitenlucht is er gekeken naar drie verschillende isolatiesystemen. In grafiek 33 tot en met grafiek 35 zijn de resultaten weergegeven voor achtereenvolgens een lichtgewicht cellenbeton plafond, minerale wol met beplating en een PIR plaat met beplating.

Cellenbeton

In grafiek 33 zijn per gebouw van links naar rechts de resultaten weergegeven voor een lichtgewicht cellenbeton plafond van 60, 100, 120 en 160 mm dik met een R_c van 1.3, 2.0, 2.5 en 3.5 m²K/W. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe met toenemende R_c -waarde. Bijvoorbeeld: de vier roze rondjes rechtsonder in de grafiek geven de resultaten voor een rijwoning uit 1955 die wordt voorzien van vloerisolatie met een R_c van respectievelijk 1.3, 2.0, 2.5 en 3.5 m²K/W.

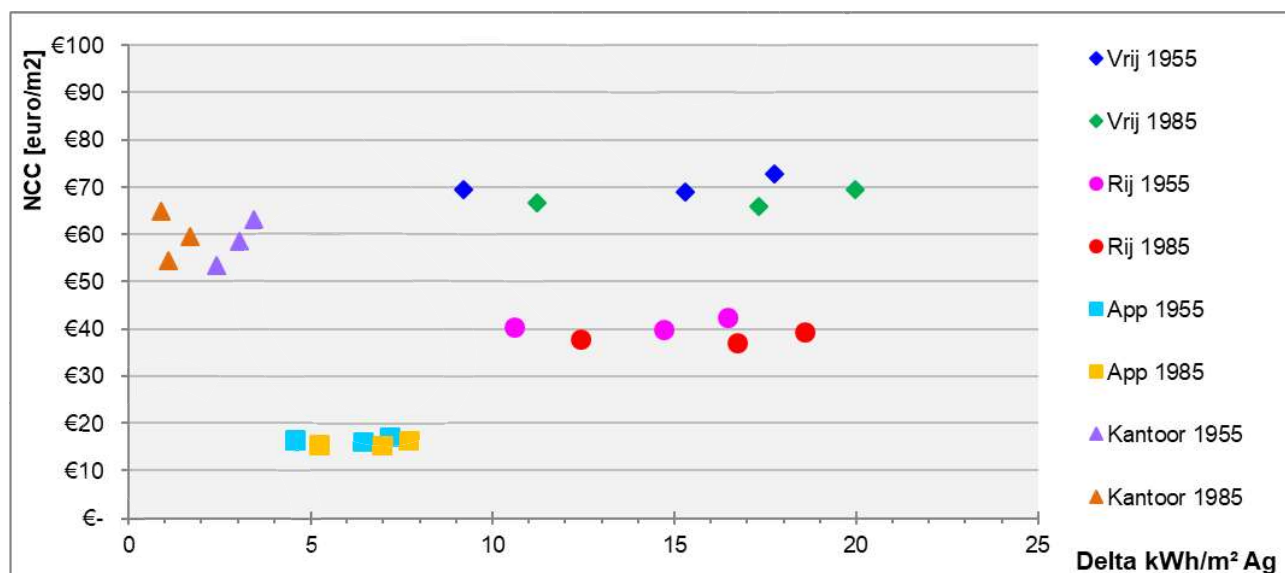
Voor de woningen lijkt de minst nadelige terugverdientijd te liggen bij een Rc van 2.5 m²K/W. Hiervoor is 120 mm isolatiemateriaal nodig. Bij de kantoren is er sprake van toenemende NCC bij hogere isolatiewaarden. Bij het kantoor uit 1985 is er bij hogere isolatiewaarden ook sprake van een toename van het energiegebruik door koeling waardoor de totale energiebesparing terugvalt.



Grafiek 33: NCC bij vervanging van isolatie bij vloeren boven buitenlucht – cellenbeton

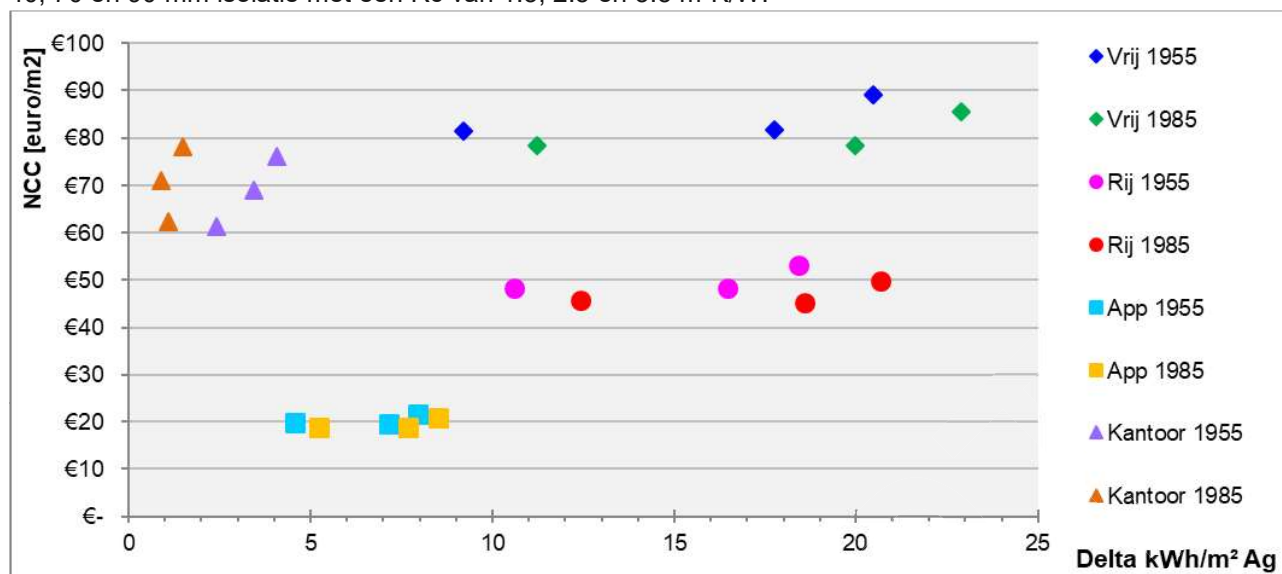
Minerale wol en PIR

De resultaten voor een plafond met minerale wol en beplating zijn weergegeven in grafiek 34. Van links naar rechts zijn de resultaten weergegeven voor 40, 70 en 90 mm isolatie met een Rc van 1.3, 2.0 en 2.5 m²K/W.



Grafiek 34: NCC bij vervanging van isolatie bij vloeren boven buitenlucht – minerale wol

In grafiek 35 zijn de resultaten weergegeven voor een plafond met PIR en beplating. Bij PIR is uitgegaan van 40, 70 en 90 mm isolatie met een Rc van 1.3, 2.5 en 3.5 m²K/W.



Grafiek 35: NCC bij vervanging van isolatie bij vloeren boven buitenlucht – PIR

Het isolatiesysteem met minerale wol en met PIR laten qua NCC een vergelijkbaar beeld zien. Bij PIR zijn de NCC circa €5-€15/m² hoger bij dezelfde Rc-waardes. Beide constructietypes zijn doorerekend bij een Rc van 1.3 m²K/W maar de overige Rc-waardes verschillen. Dit is ook te zien bij de resultaten van de twee rechtse punten per gebouwtype. Deze hebben bij PIR een grotere energiebesparing (liggen meer naar rechts) dan bij minerale wol. Er is geen sprake van een kostenoptimale punt bij de woningen. Wel is op te merken dat de maatregel met de minst nadelige terugverdientijd bij minerale wol een Rc van 2.0 m²K/W en bij PIR een Rc van 2.5 m²K/W. Bij beide constructietypes lijkt het kostenoptimale niveau voor woningen dus te liggen bij een isolatiedikte van 70 mm. Bij de kantoren is er sprake van toenemende NCC bij hogere isolatiewaarden. Er is geen sprake van een kostenoptimaal punt.

Indien in de bestaande situatie een isolatielaag aanwezig is van circa 40 mm is de verwachting dat toepassing van een nieuwe isolatielaag van ten minste 70 mm in de praktijk in de meeste gevallen mogelijk is. Indien in de bestaande situatie een isolatielaag van slechts 20 mm aanwezig is kan dit in voorkomende gevallen niet mogelijk zijn.

Geconcludeerd wordt dat bij woningen de minst nadelige terugverdientijd een Rc van circa 2.0 / 2.5 m²K/W. Bij de kantoren is er sprake van toenemende NCC bij hogere isolatiewaarden waardoor de minst nadelige terugverdientijd Rc 1.3 m²K/W is.

5.4.2 Gevel

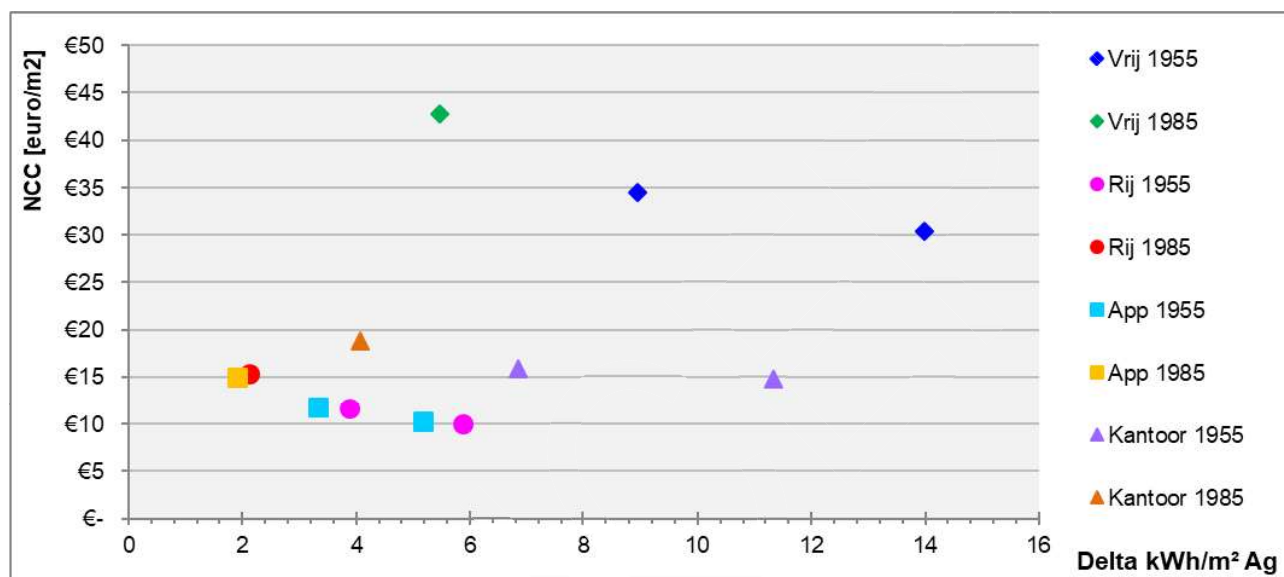
Bij vervanging van spouwisolatie is de bestaande spouwbreedte in voorkomende gevallen bepalend voor de maximale isolatiedikte die gerealiseerd kan worden. Dit is vervolgens direct bepalend voor de generieke eis die aan gevels gesteld kan worden. In het onderzoek is er ook gekeken naar vervanging van spouwisolatie bij vervanging van het buitenspouwblad. In dat geval is het ook mogelijk de spouw te verbreden en een dikkere isolatielaag toe te passen. Onderzocht is of dit leidt tot lagere NCC.

Naast de vervanging van spouwisolatie is er in het onderzoek ook gekeken naar vervanging van isolatie in voorzetwanden aan de binnenzijde. Deze situatie bleek niet bepalend voor de generieke eisen aan gevels. De resultaten voor vervanging van isolatie in voorzetwanden aan de binnenzijde zijn weergegeven in bijlage 7.

In grafiek 36, 37 en 38 zijn de resultaten weergegeven voor vervanging van de isolatie in een spouwmuur. Hierbij is zowel gekeken naar de resultaten voor vervanging van alleen spouwisolatie (grafiek 36), vervanging van de isolatie en het buitenspouwblad bij gelijkblijvende spouwbreedte (grafiek 37) en bij aangepaste spouwbreedte (grafiek 20) waarbij sprake is van aanpassing van fundering, dakranden en kozijnaansluitingen.

Vervanging spouwisolatie 40 en 50 mm

Bij vervanging van de spouwisolatie (grafiek 36) is er gekeken naar een spouwdikte van 40 en 50 mm met een Rc-waarde van 1.3 en 1.6 m²K/W. De toepassing van een dikkere spouwvulling (50 mm, Rc 1.6 m²K/W) heeft lagere NCC dan een spouwvulling van 40 mm (Rc 1.3 m²K/W). In een spouw van 40 mm kan echter geen isolatie van 50 mm dik aangebracht worden. Beide varianten zijn dus niet uitwisselbaar. Bij de vrijstaande woning is het geveleppervlak het grootst waardoor ook de netto contante kosten relatief het hoogst zijn.



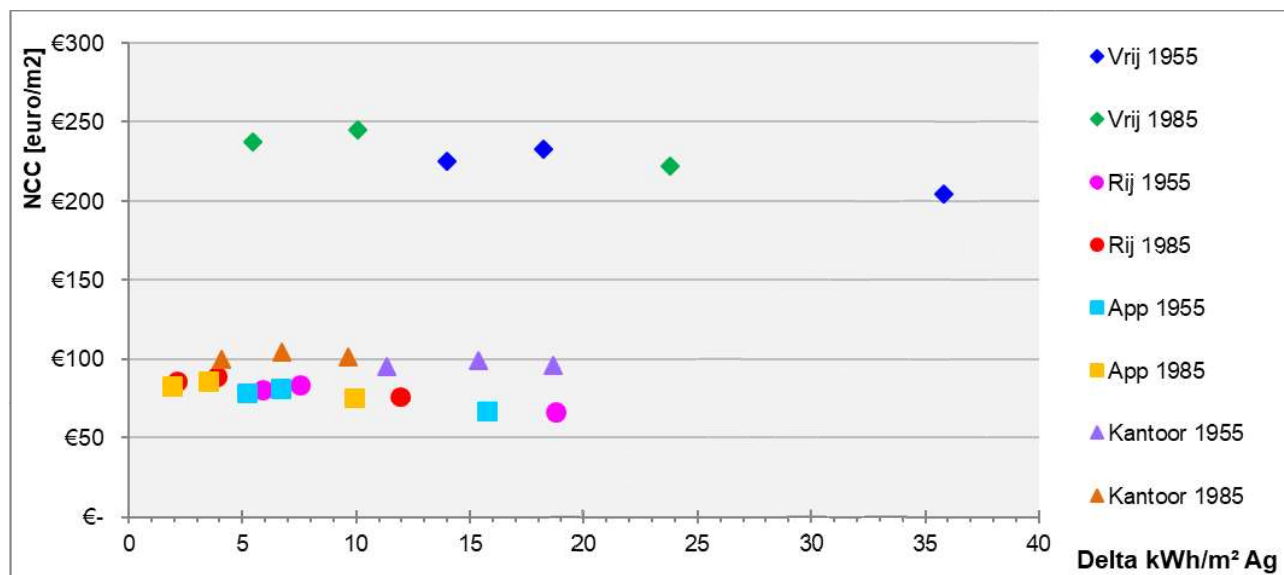
Grafiek 36: NCC bij vervanging van spouwisolatie in een spouw van 40 en 50 mm

Vervanging spouwisolatie en buitenspouwblad gelijke breedte

In grafiek 37 zijn per gebouwtype drie producten weergegeven die toegepast kunnen worden bij vervanging van de spouwisolatie (circa 50 mm) zonder verder aanpassing van de spouwconstructie:

- minerale wol (R_c 1.6 m^2K/W)
- minerale wol met aluminium cachering (R_c 2.0 m^2K/W)
- PIR (R_c 2.5 m^2K/W)

Direct te zien is dat bij vervanging van het buitenspouwblad er sprake is van veel hogere netto contante kosten (€70-€250/ m^2) dan bij vervanging van (alleen) de spouwisolatie zoals weergegeven in grafiek 36 (€20-€90/ m^2). Voor de productvarianten in grafiek 37 zijn de kosten voor vervanging van het buitenblad gelijk. In vergelijking met vervanging van alleen spouwisolatie is dit echter een wezenlijk onderscheid.



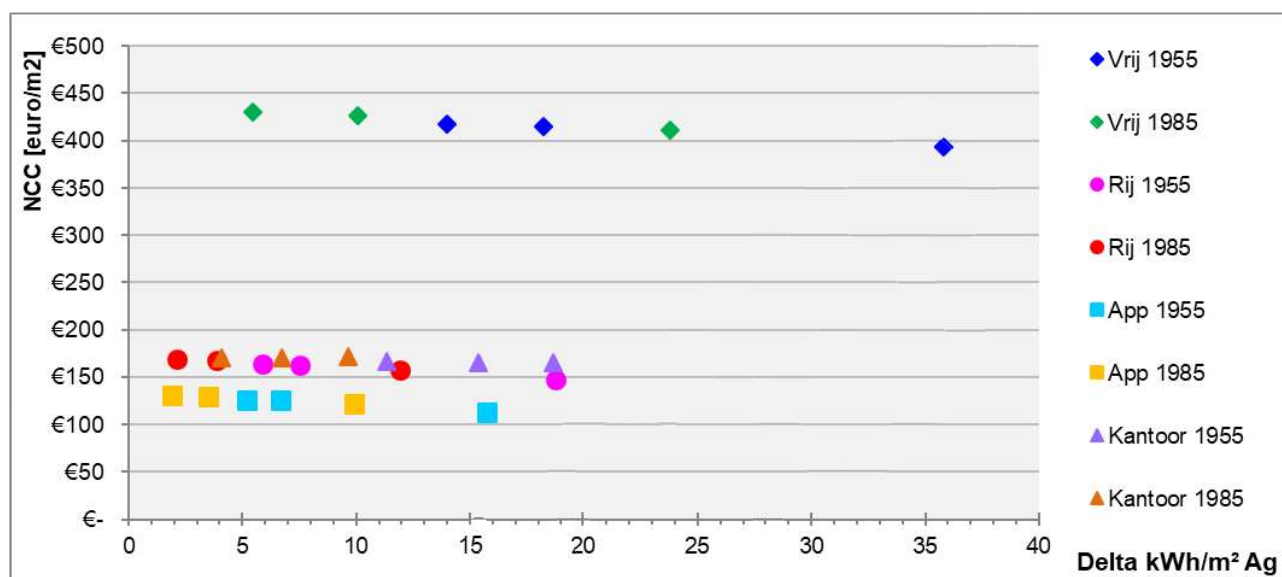
Grafiek 37: NCC bij vervanging spouwisolatie en buitenspouwblad – gelijke spouwbreedte

Vervanging spouwisolatie en buitenspouwblad aangepaste spouwbreedte

In grafiek 38 zijn per gebouwtype drie producten weergegeven die toegepast kunnen worden bij vervanging van de spouwisolatie wanneer de spouwconstructie verbreed wordt. Qua kosten heeft dit ook consequenties voor de aansluitdetails van kozijnen en dakaansluitingen. De volgende typen producten zijn in de beoordeling meegenomen:

- 50 mm minerale wol (R_c 1.6 m^2K/W)
- 60 mm minerale wol (R_c 2.0 m^2K/W)
- 70 mm minerale wol (R_c 2.5 m^2K/W)

Indien gekozen wordt voor hogere isolatiewaarden waarbij er sprake is van aanpassing van de spouwbreedte (grafiek 38) zijn de NCC met €120-€440/ m^2 nog weer een stap hoger dan zonder aanpassing van de spouwbreedte (grafiek 37). Aanpassing van de spouwbreedte (inclusief de kosten voor aanpassing van de aansluitdetails) verdient zich dus niet terug.



Grafiek 38: NCC bij vervanging spouwisolatie en buitenspouwblad – aangepaste spouwbreedte

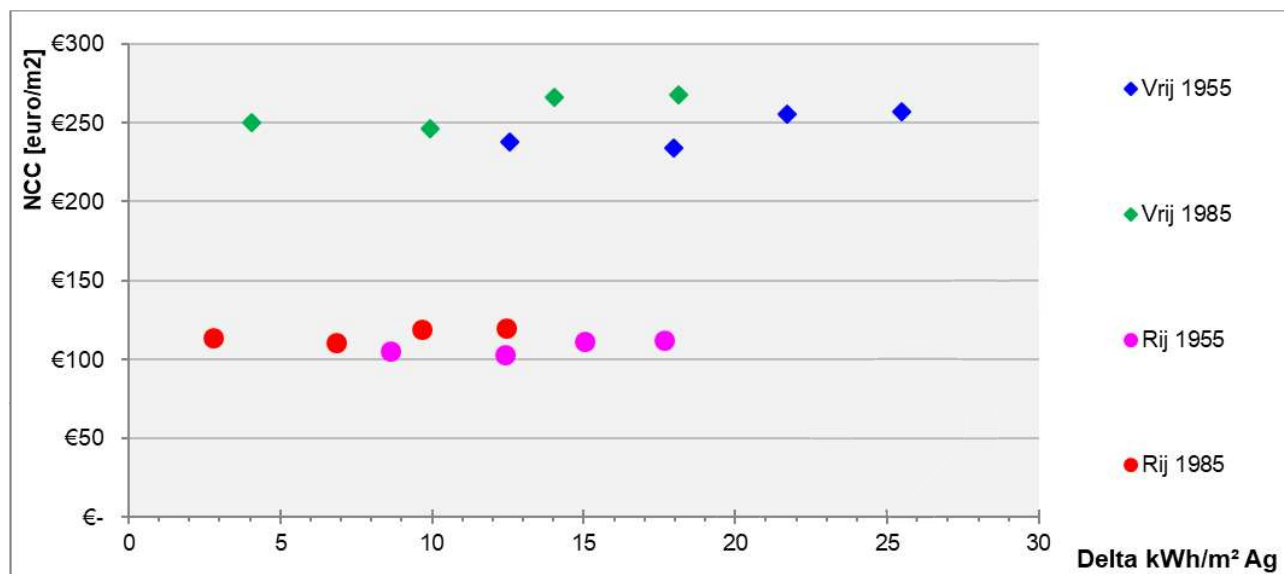
Gesteld wordt dat bij vervanging van spouwisolatie (zoals bij vervanging van spouwisolatie van 50 mm) in alle overige gevallen leidt tot hogere NCC door vervanging van het buitenspouwblad. Indien er een bestaande spouw is van slechts 40 mm ligt de minst nadelige terugverdientijd bij een R_c van 1.3 m^2K/W . De generieke regelgeving in Nederland is van toepassing op alle mogelijke verschillende constructies van gevels. Een spouw van 40 mm is voor alle voorkomende constructies de meest beperkende situatie. Het kostenoptimale niveau voor gevels wordt daardoor bepaald door de voorkomende spouwbreedtes en niet door verschillende (constructie)varianten. Bij een spouw van 40 mm is er maximaal een R_c van 1.3 m^2K/W realiseerbaar. Dit sluit aan bij de generieke R_c eis ≥ 1.3 m^2K/W die wordt gesteld aan gedeeltelijke vervanging van isolatie in gevels.

5.4.3 Dak

Hellende daken komen bij de gehanteerde referentiewoningen alleen voor bij de rijwoning en de vrijstaande woning. Bij de appartementen en de kantoren is er sprake van een plat dak. De generieke regelgeving in Nederland is van toepassing op alle mogelijke verschillende constructies van daken. Vervanging van isolatie bij hellende daken aan de buitenzijde is bepalend voor de generieke eisen die aan daken gesteld worden. De onderzochte constructievarianten voor vervanging van isolatie bij platte daken en bij hellende daken aan de binnenzijde zijn niet bepalend voor het kostenoptimale niveau.

Voor vervanging van isolatie bij hellende daken zijn in grafiek 39 van links naar rechts de resultaten weergegeven voor een renovatieplaat van 39, 50, 66 en 98 mm met een R_c van 1.6, 2.0, 2.5 en 3.5 m^2K/W . Bij alle varianten is er rekening gehouden met vervanging van de goot, randpannen en vorsten. Bij de variant van 66 en 98 mm dik is bovendien rekening gehouden met bijkomende kosten door aanpassing van de aansluiting met de buurwoning en gevelaansluitingen.

Bij toepassing van een isolatiedikte van 50 mm nemen de NCC enigszins af ten opzichte van een isolatiedikte van 39 mm. Bij de hogere isolatiediktes liggen de NCC hoger door de bijkomende kosten. Het kostenoptimale punt lijkt bij isolatie aan de buitenzijde van hellende daken te liggen bij een R_c van $2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Geconcludeerd wordt dat bij vervanging van isolatie in daken er bij woningen met hellende daken bij isolatie aan de buitenzijde de minst nadelige terugverdientijd bij een R_c van ongeveer $2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Grafiek 39: NCC bij vervanging van isolatie bij hellende daken aan buitenzijde

5.4.4 Kozijn

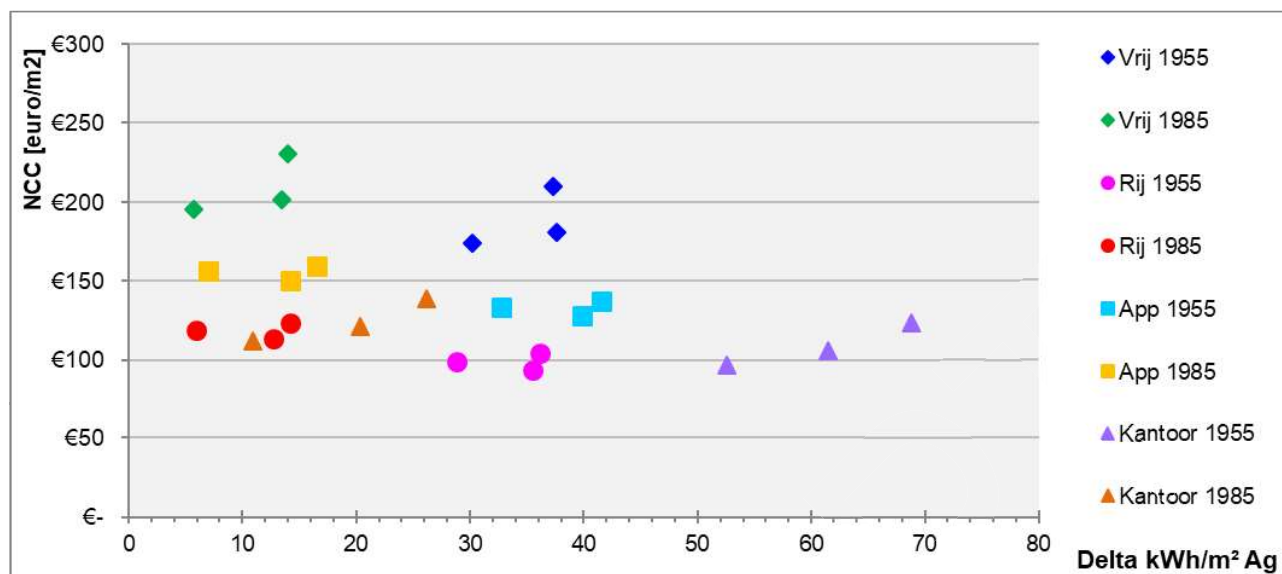
Bij de vervanging van kozijnen is onderscheid gemaakt tussen verschillende typen beglazing:

- HR-glas (U kozijn+glas $2.2 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- HR++-glas (U kozijn+glas $1.65 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- drievoudige beglazing (U kozijn+glas $1.3 \text{ m}^2\text{K/W}$)

In grafiek 40 zijn per gebouw drie resultaten voor vervanging van kozijnen met verschillende typen beglazing weergegeven. De energiebesparing neemt van links naar rechts toe voor HR, HR++ en drievoudige beglazing. Bijvoorbeeld: de drie groene ruitjes linksboven in de grafiek geven de resultaten voor een vrijstaande woning uit 1985 die wordt voorzien van respectievelijk HR, HR++ en drievoudige beglazing.

Bij de vrijstaande woning is de minst nadelige terugverdientijd HR. Bij de rijwoning en de appartementen is de minst nadelige terugverdientijd HR++. Bij de kantoren is de minst nadelige terugverdientijd HR. Bij alle referentiegebouwen zijn de NCC van vervanging van kozijnen met drievoudige kosten het hoogst.

Geconcludeerd wordt dat bij vervanging van kozijnen bij woningen de minst nadelige terugverdientijd bij HR of HR++ ligt dit is dan afhankelijk van het bouwtype. Bij de kantoren is de minst nadelige terugverdientijd HR.



Grafiek 40: NCC bij vervanging van kozijnen met beglazing

5.5 Gevoeligheidsanalyse

In de financiële calculatie is gerekend met een discontovoet van 4,5% voor woningbouw en 7,0% voor utiliteitsbouw. In een scenarioanalyse is gekeken naar het effect van een lagere discontovoet van 2,5% voor woningbouw en 5,5% voor utiliteitsbouw en een hogere discontovoet van 5,5% voor woningbouw en 8,0% voor utiliteitsbouw.

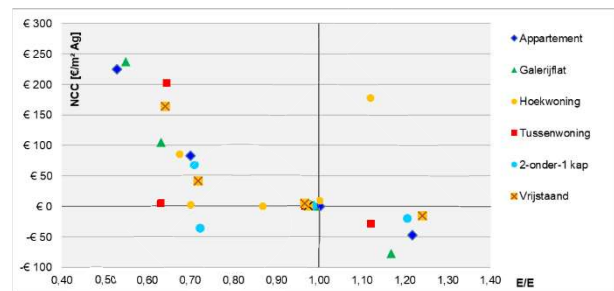
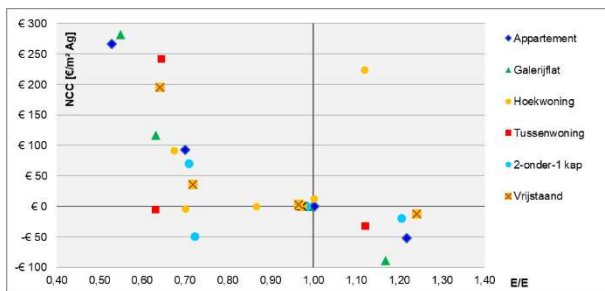
Naast de gevoeligheidsanalyse voor de discontovoet is er ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de energieprijzen. Deze is alleen uitgevoerd voor de financiële calculatie bij de standaarddiscontovoet van 4,5% voor woningbouw en 7,0% voor utiliteitsbouw. Er is gekeken naar een energieprijsscenario met een jaarlijkse ontwikkeling van de energieprijzen van 0,5% per jaar en een energiescenario met een ontwikkeling van 5% per jaar.

Voor utiliteitsbouw is in een gevoeligheidsanalyse gekeken naar de invloed van een calculatieperiode van 30 in plaats van 20 jaar. In onderstaande paragrafen is van enkele berekeningen het resultaat grafisch weergegeven. De resultaten van de overige berekeningen zijn zichtbaar in de tabellen in bijlagen 5 tot en met 8.

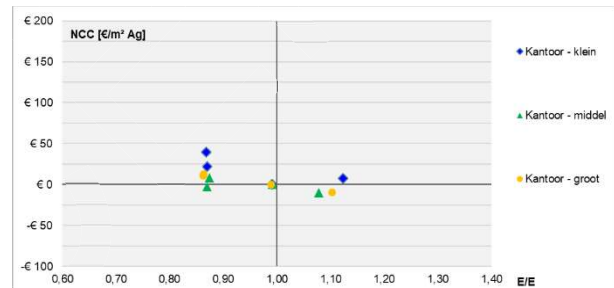
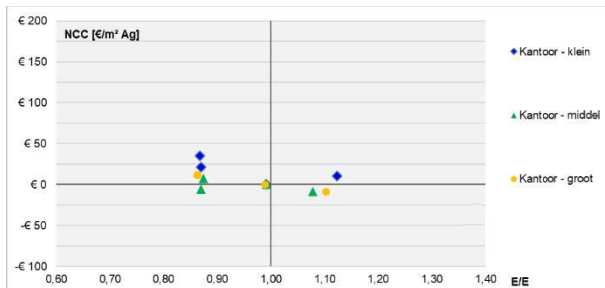
5.5.1 Nieuwbouw

Discontovoet

De gevoeligheidsanalyse met lagere discontovoeten laat bij woningbouw zowel enigszins lagere als enigszins hogere totale NCC zien. Bij de utiliteitsbouwfuncties zijn de resultaten nagenoeg gelijk tot enigszins lager. In de gevoeligheidsanalyse met hogere discontovoeten is het effect precies tegenovergesteld. Door het geringere verschil tussen de standaard discontovoet en de discontovoet in de gevoeligheidsanalyse is het effect bij de hogere discontovoeten ook kleiner dan bij de gevoeligheidsanalyse met de lagere discontovoeten. De absolute resultaten van de gevoeligheidsanalyses leiden niet tot significante verschillen. De relatieve resultaten vertonen een relatief grote afwijking bij resultaten waarbij de referentiesituatie rond € 0 liggen.



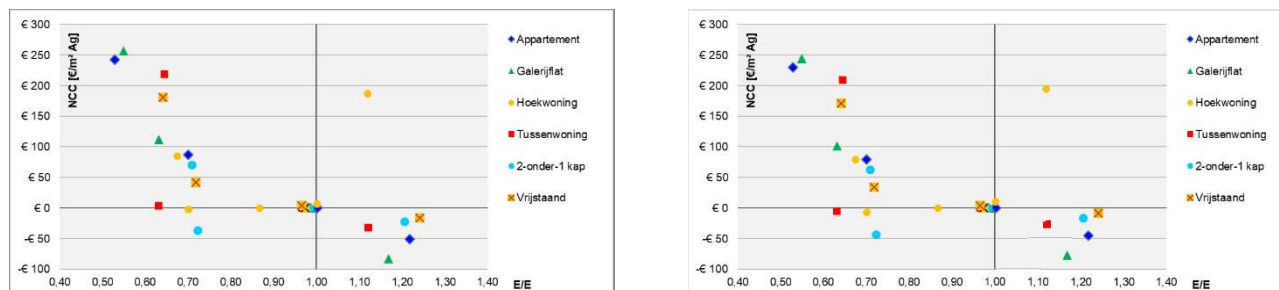
Grafiek 41 en 42: Woningen met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)



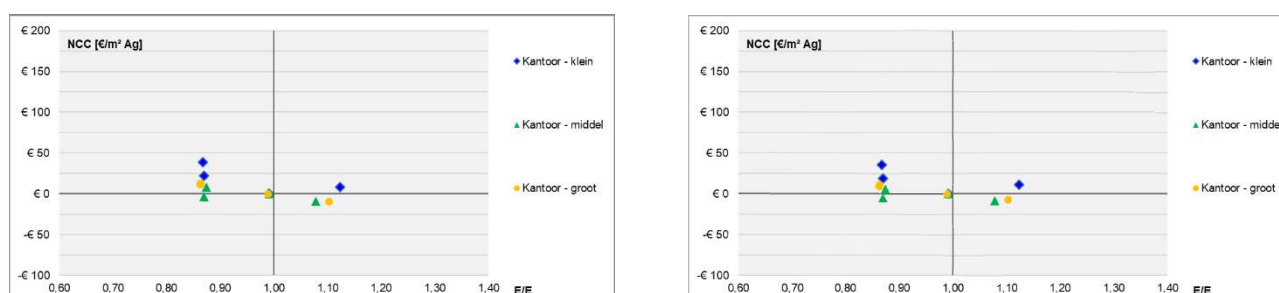
Grafiek 43 en 44: Kantoren met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)

Energieprijs

De energieprijsscenario's laten lagere respectievelijk hogere NCC zien. Het verschil is echter verwaarloosbaar klein bij de gehanteerde energieprijsscenario's. Geconcludeerd wordt dat een kleinere of grotere energieprijsontwikkeling niet leidt tot significante verschillen in de resultaten.



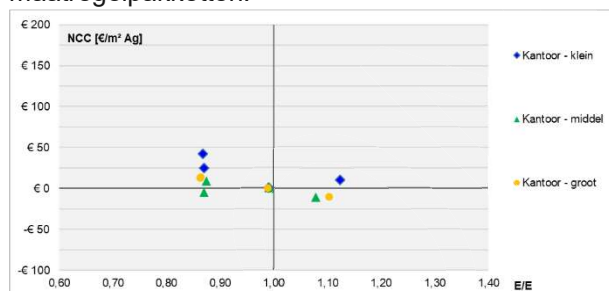
Grafiek 45 en 46: Woningen met energieprijsscenario 0,5% (links) en energieprijsscenario 5,0% (rechts)



Grafiek 47 en 48: Kantoren met energieprijsscenario 0,5% (links) en energieprijsscenario 5,0% (rechts)

Calculatieperiode

Bij een calculatieperiode van 30 jaar zijn de NCC voor kantoren enigszins hoger. Een langere calculatieperiode leidt echter niet tot andere conclusies over het kostenoptimale niveau van de maatregelpakketten.



Grafiek 49: Kantoren met calculatieperiode 30 jaar

Conclusie

Op grond van de verschillende gevoeligheidsanalyses wordt geconcludeerd dat enigszins afwijkende aannames voor discontovoet, energieprijsscenario en calculatieperiode niet van invloed zijn op de eerder gestelde conclusies.

5.5.2 Isolatie-eisen nieuwbouw

Discontovoet

De gevoeligheidsanalyse met lagere discontovoeten laat een beperkte afwijking ten opzichte van de totale NCC zien. Door het geringere verschil tussen de standaard discontovoet en de discontovoet in de gevoeligheidsanalyse is het effect bij de hogere discontovoeten ook kleiner dan bij de gevoeligheidsanalyse met de lagere discontovoeten. De gevoeligheidsanalyses leiden niet tot significante verschillen in de resultaten.

Energieprijs

De energieprijsscenario's laten lagere respectievelijk hogere NCC zien. Het verschil is echter verwaarloosbaar klein bij de gehanteerde energieprijsscenario's. Geconcludeerd wordt dat een kleinere of grotere energieprijsontwikkeling niet leidt tot significante verschillen in de resultaten.

Calculatieperiode

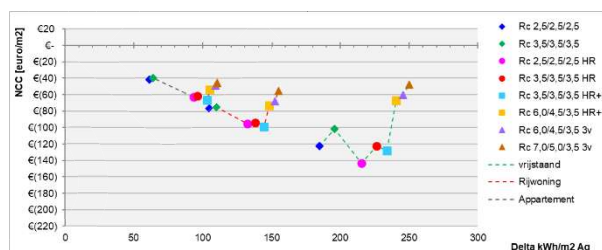
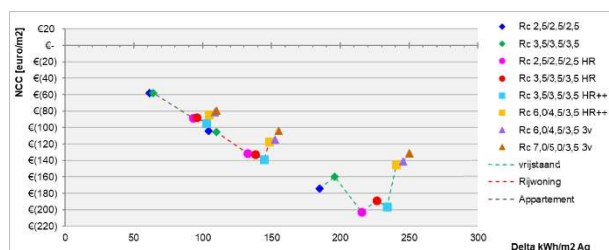
Bij een calculatieperiode van 30 jaar zijn de NCC voor de vangneten binnen de utiliteitsbouw enigszins hoger. Een langere calculatieperiode leidt echter niet tot andere conclusies over het kostenoptimale niveau van de maatregelpakketten.

Op grond van de verschillende gevoeligheidsanalyses wordt geconcludeerd dat enigszins afwijkende aannames voor discontovoet en calculatieperiode niet van invloed zijn op de eerder gestelde conclusies.

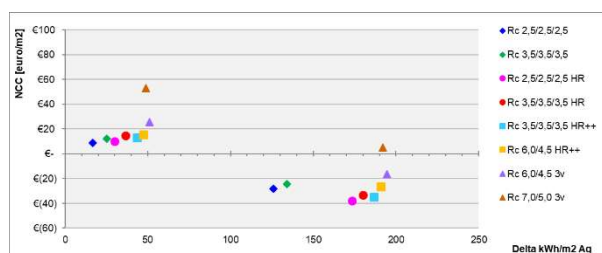
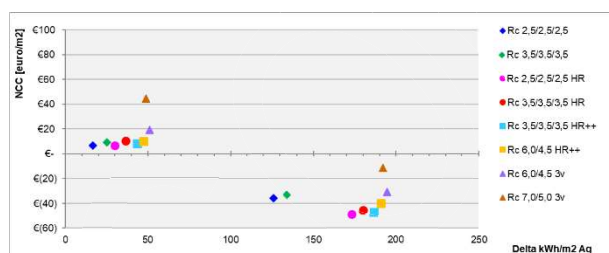
5.5.3 Bestaande bouw, ingrijpende renovatie

Discontovoet

De gevoeligheidsanalyse met lagere discontovoeten laat bij de maatregelpakketten zowel bij kantoren als bij woningbouw beduidend lagere NCC zien. Het verschil in kosten tussen pakketten met een hogere Rc-waarde en een lagere Rc-waarde is kleiner geworden. In de gevoeligheidsanalyse met hogere discontovoeten is het effect tegengesteld. De absolute resultaten van de gevoeligheidsanalyses leiden niet tot significante verschillen. De relatieve resultaten vertonen een relatief grote afwijking bij resultaten waarbij de referentiesituatie rond € 0 liggen. De gevoeligheidsanalyses leiden niet tot andere conclusies over het kostenoptimale niveau van de maatregelpakketten.



Grafiek 50 en 51: Niet geïsoleerde woningen (HR-combiketel) met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)



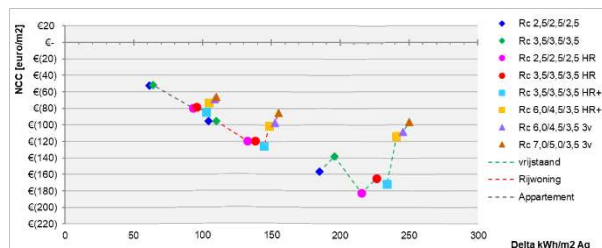
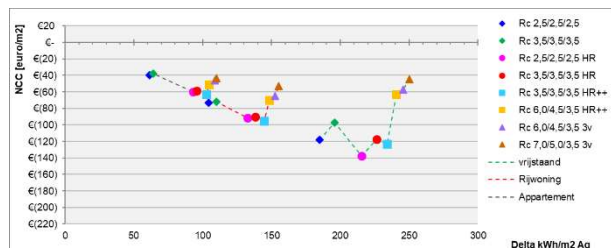
Grafiek 52 en 53: Matig geïsoleerd kantoor (HR-combiketel) met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)

Energieprijs

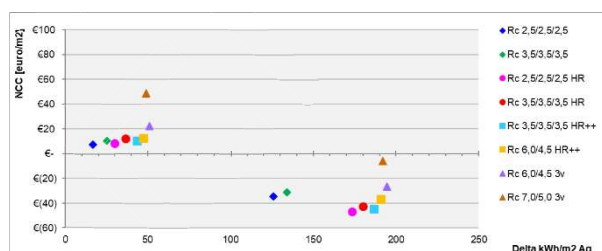
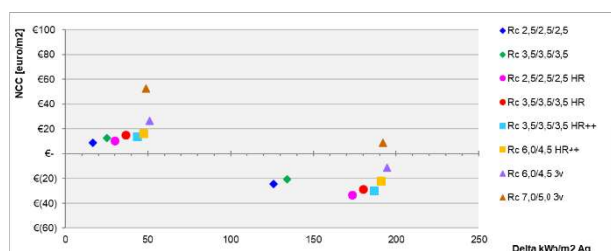
Naast de gevoeligheidsanalyse voor de discontovoet is er ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de energieprij. Deze is alleen uitgevoerd voor de financiële calculatie bij de standaard discontovoet van 5,5% voor woningbouw en 8,0% voor utiliteitsbouw.

Er is gekeken naar een energieprijsscenario met een ontwikkeling van de energieprij van 0,5% ten opzichte van de basisprijs voor 2018 en een energiescenario met een ontwikkeling van 5% ten opzichte van de basisprijs voor 2017.

De energieprijsscenario's laten enigszins hogere respectievelijk lagere NCC zien. Het verschil is echter beperkt bij de gehanteerde energieprijsscenario's. Geconcludeerd wordt dat een kleinere of grotere energieprijontwikkeling niet leidt tot significante verschillen in de resultaten.



Grafiek 54 en 55: Niet geïsoleerde woningen (HR-combiketel) met energieprijsscenario 0,5% (links) en energieprijsscenario 5,0% (rechts)



Grafiek 56 en 57: matig geïsoleerd kantoor (HR-combiketel) met energieprijsscenario 0,5% (links) en energieprijsscenario 5,0% (rechts)

Calculatieperiode

Bij een calculatieperiode van 30 jaar zijn de NCC voor kantoren enigszins hoger. Een langere calculatieperiode leidt echter niet tot andere conclusies over het kostenoptimale niveau van de maatregelpakketten.

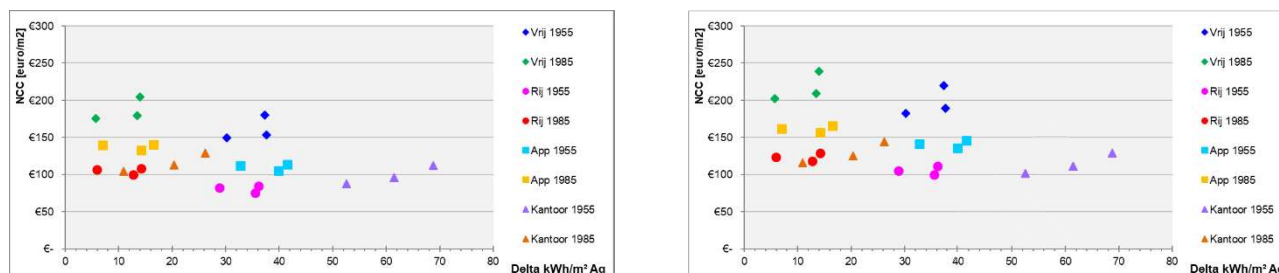
Conclusie

Op grond van de verschillende gevoeligheidsanalyses wordt geconcludeerd dat enigszins afwijkende aannames voor discontovoet en calculatieperiode niet van invloed zijn op de eerder gestelde conclusies.

5.5.4 Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie

Discontovoet

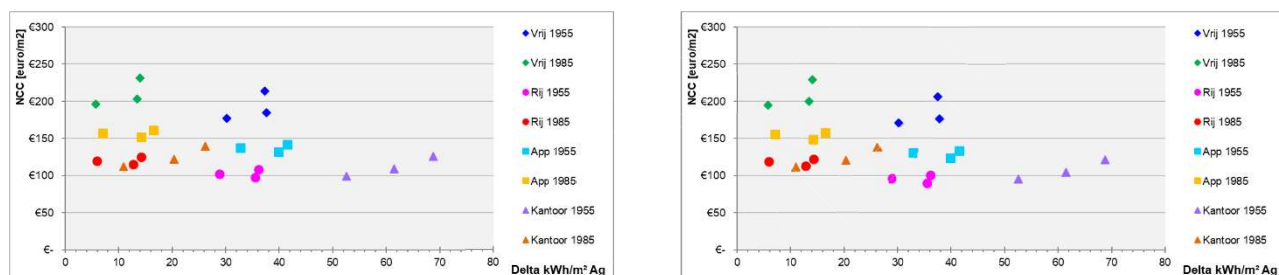
Bij de lagere discontovoet is er sprake van enigszins lagere NCC. Bij de hogere discontovoet zijn er over het algemeen enigszins hogere NCC. Over het algemeen kan gesteld worden dat de verschillen die ontstaan door aanpassing van de discontovoet klein zijn. Alleen bij woningen met vloeren boven buitenlucht is er geen sprake meer van een kostenoptimum. Voor het overige veranderen de conclusies niet.



Grafiek 58 en 59: Vervangen kozijnen met beglazing met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)

Energieprijjs

De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses laten enigszins hogere respectievelijk lagere NCC zien. Geconstateerd wordt dat de doorgerekende scenario's nauwelijks invloed hebben op de resultaten.



Grafiek 60 en 61: Vervangen kozijnen met beglazing met energieprijsscenario 0,5% (links) en energieprijsscenario 5,0% (rechts)

Calculatieperiode

Voor kantoren is in een gevoeligheidsanalyse gekeken naar de invloed van een calculatieperiode van 30 in plaats van 20 jaar. De aanpassing van de calculatieperiode heeft alleen invloed op de resultaten voor kantoren. De doorgerekende maatregelen hebben bij 30 jaar iets hogere NCC. Dit beïnvloedt de resultaten niet.

Conclusie

Op grond van de verschillende gevoeligheidsanalyses wordt geconcludeerd dat enigszins afwijkende aannames voor discontovoet en calculatieperiode niet van invloed zijn op de eerder gestelde conclusies.

6 KOSTENOPTIMALITEIT MACRO-ECONOMISCH

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van de macro-economische calculatie van de maatregelen en maatregelpakketten voor nieuwbouw, bestaande bouw en voor vervanging van isolatie en kozijnen. De energiebesparing, reductie van de CO₂-emissies en investeringskosten zijn per maatregel weergegeven in bijlage 5 tot en met 7.

Tevens zijn maatregelpakketten met een uitkomst van de NCC groter dan €300 per m²/Ag niet getoond in de grafieken. Deze zijn niet relevant voor het vaststellen van de kostenoptimaliteit. Daarnaast kan het zijn dat er andere onregelmatigheden ontstaan in de grafiek. Om deze afwijking ten opzichte van de andere gebouwen te kunnen verklaren moet gekeken worden naar de afwijking in het samengestelde maatregelenpakket. Doordat er getracht is variatie te creëren in de maatregelpakketten kan het zijn dat deze hierdoor niet passen in de kostenoptimaliteitswolk en hierdoor niet relevant zijn voor de studie.

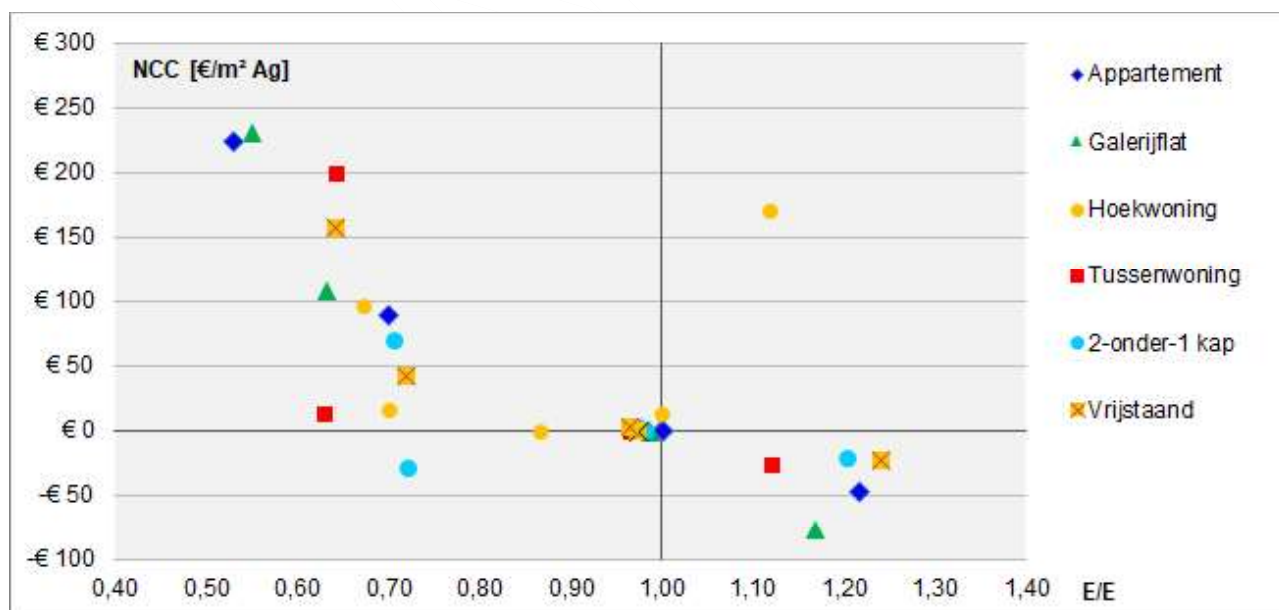
Als laatst is de grafiek niet altijd toereikend om alle content te kunnen weergeven. Het komt voor dat maatregelpakketten op elkaar lijken waardoor zij als resultaat elkaar overlappen in de grafiek, wat niet van elkaar te onderscheiden is bij het analyseren van de grafiek. Om hier meer verschil in te kunnen zien kan men de achterliggende tabellen raadplegen waar de pakketten getalsmatig zijn gepresenteerd.

Bij een aantal gebruiksfuncties zijn de NCC iets lager ten opzichte van de financiële calculatie. De resultaten van de macro-economische calculatie leiden echter tot dezelfde constatering over het kostenoptimale punt als bij de financiële calculatie in het vorige hoofdstuk. De opmerkingen over de plaats van het kostenoptimale punt zijn in dit hoofdstuk daarom niet opnieuw vermeld.

6.1 Nieuwbouw

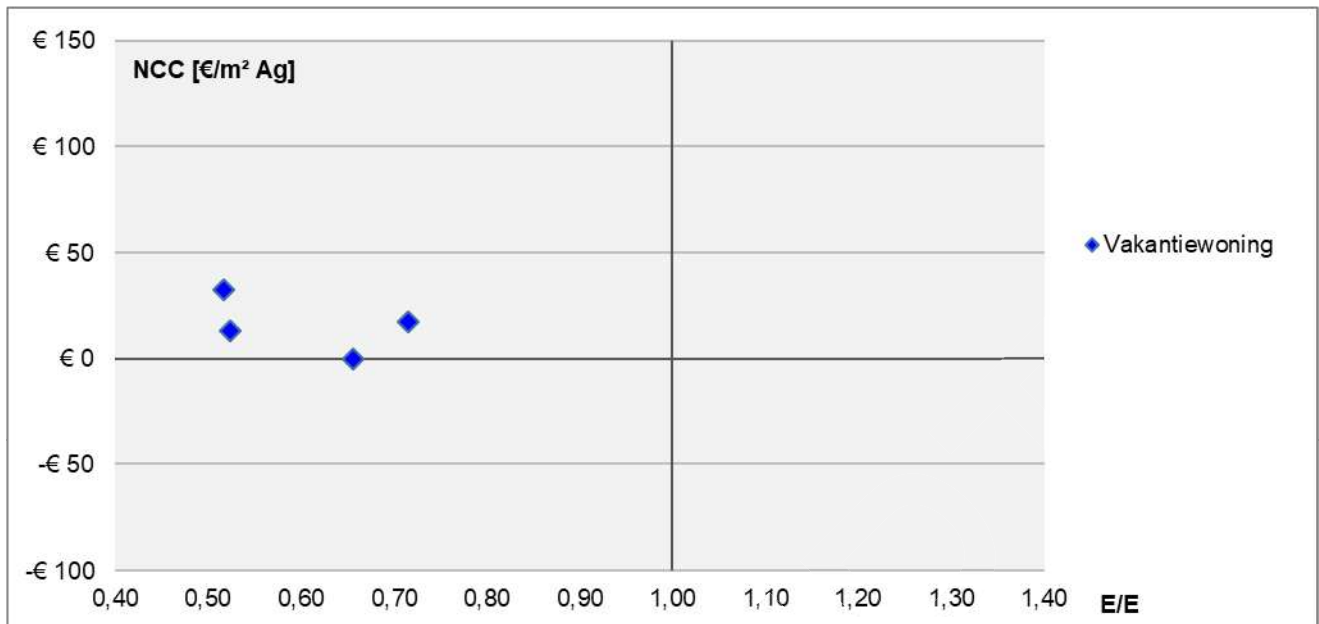
Van zowel woningbouw, vakantiewoningen, woonwagens en utiliteitsbouw zijn de effecten op de NCC van de doorgerekende maatregelpakketten per gebruiksfunctie weergegeven in de grafieken. De getalsmatige resultaten van de energiebesparing, reductie van de CO₂-emissies en investeringskosten zijn per maatregel weergegeven in bijlage 5 voor zowel de maatregelpakketten als de losse maatregelen.

6.1.1 Woningbouw

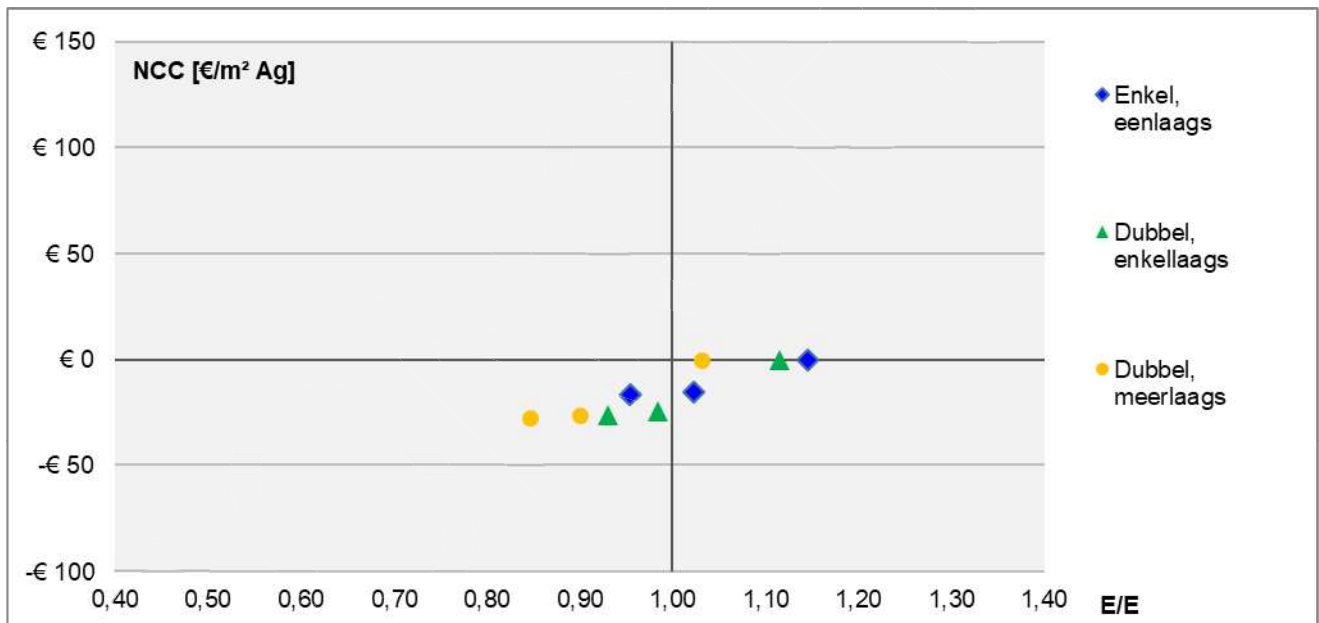


Grafiek 62: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten per woningtype

Vakantiewoningen en woonwagens



Grafiek 63: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten per type woonwagen

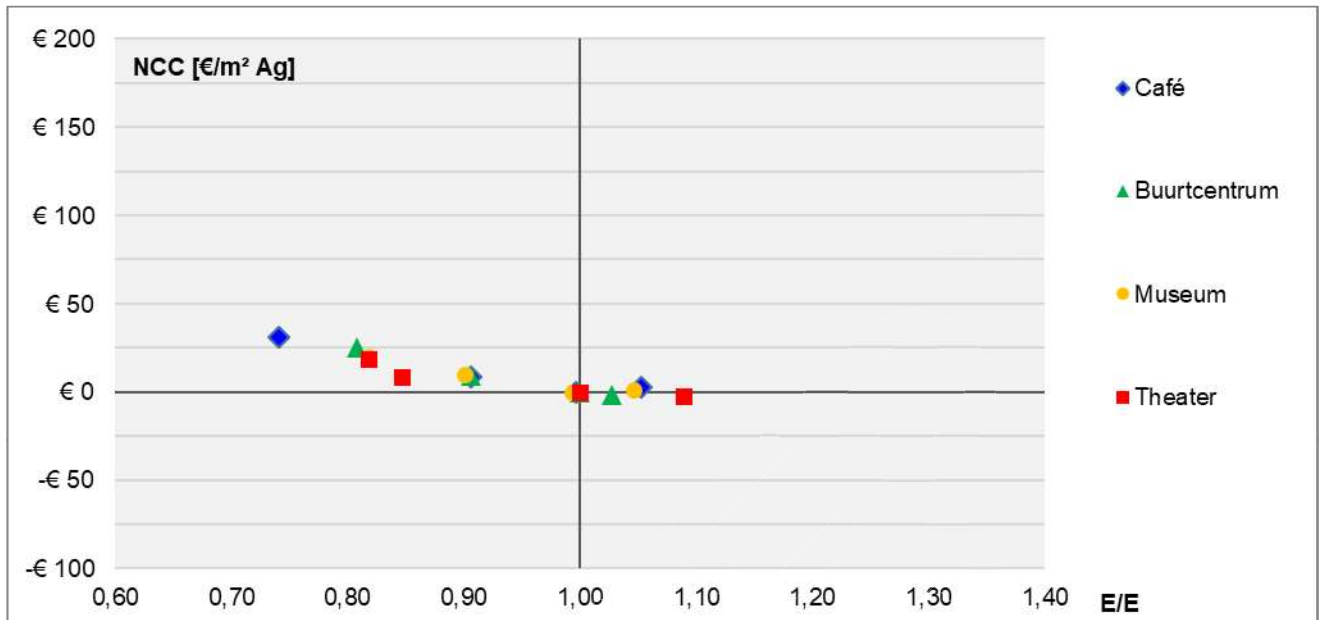


Grafiek 64: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor vakantiewoningen

6.1.2 Utiliteitsbouw

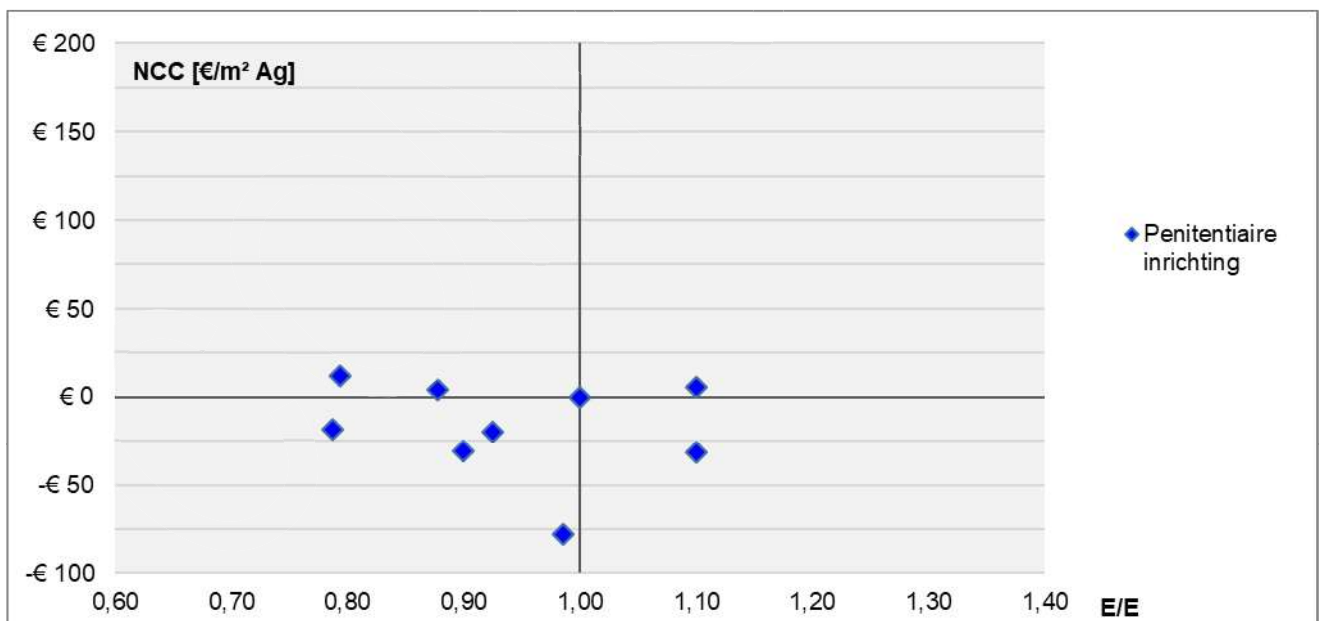
Het effect op de NCC van de doorgerekende maatregelen is per gebruiksfunctie weergegeven in grafiek 44 tot en met 52.

Bijeenkomstgebouwen



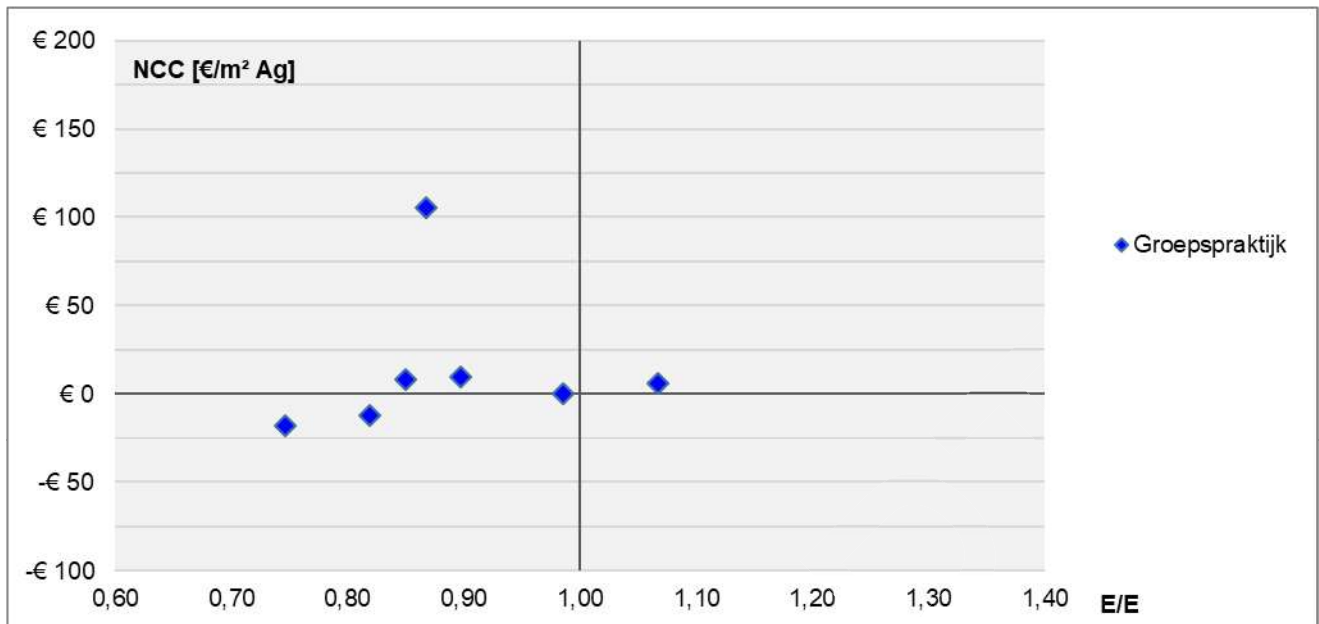
Grafiek 65: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor bijeenkomstgebouwen

Cellengebouwen

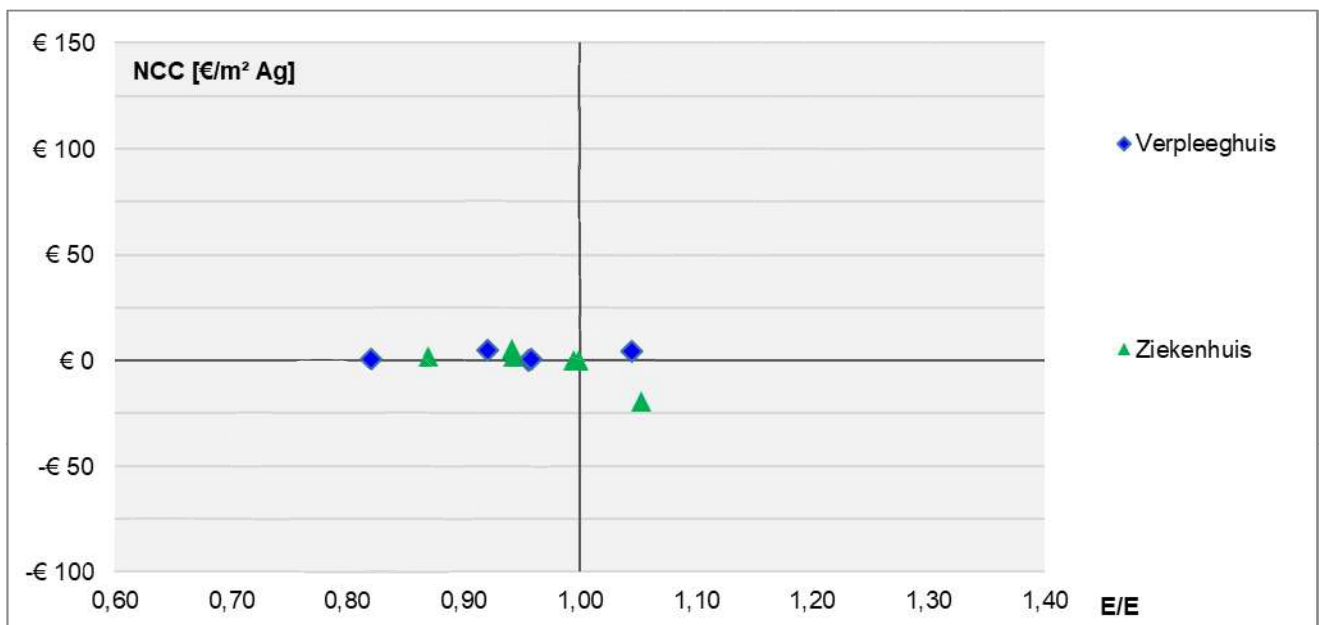


Grafiek 66: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor cellengebouwen

Gezondheidszorggebouwen

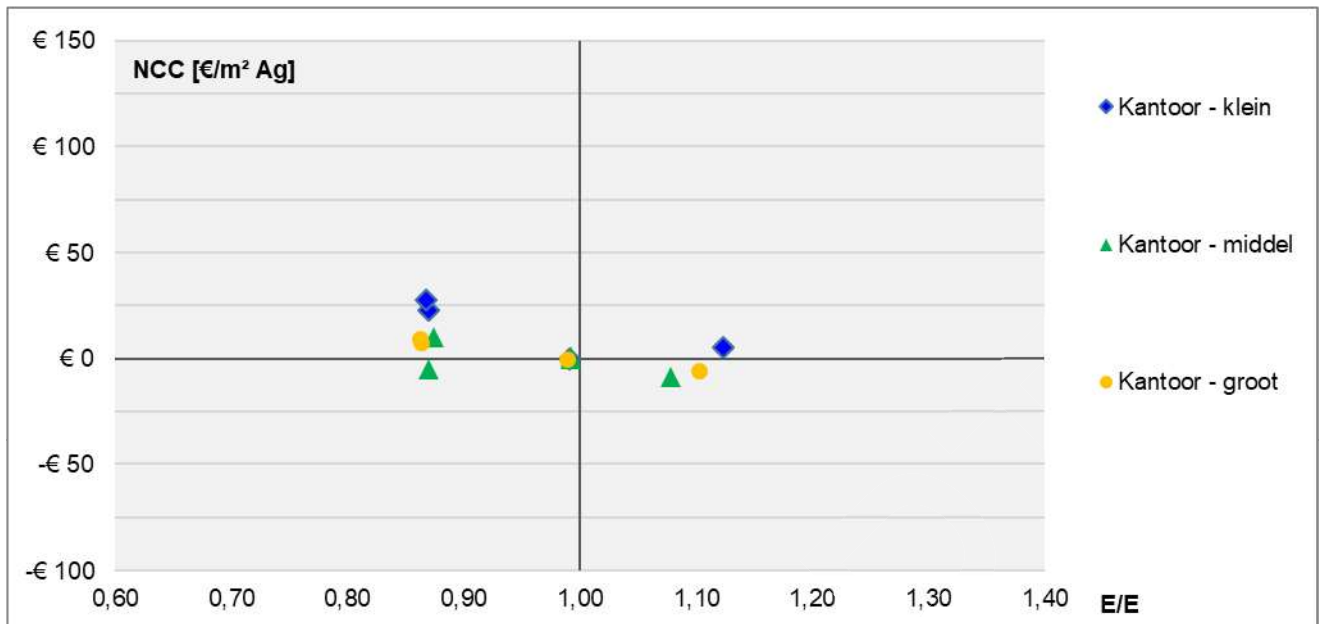


Grafiek 67: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor gezondheidszorggebouwen zonder bedfunctie



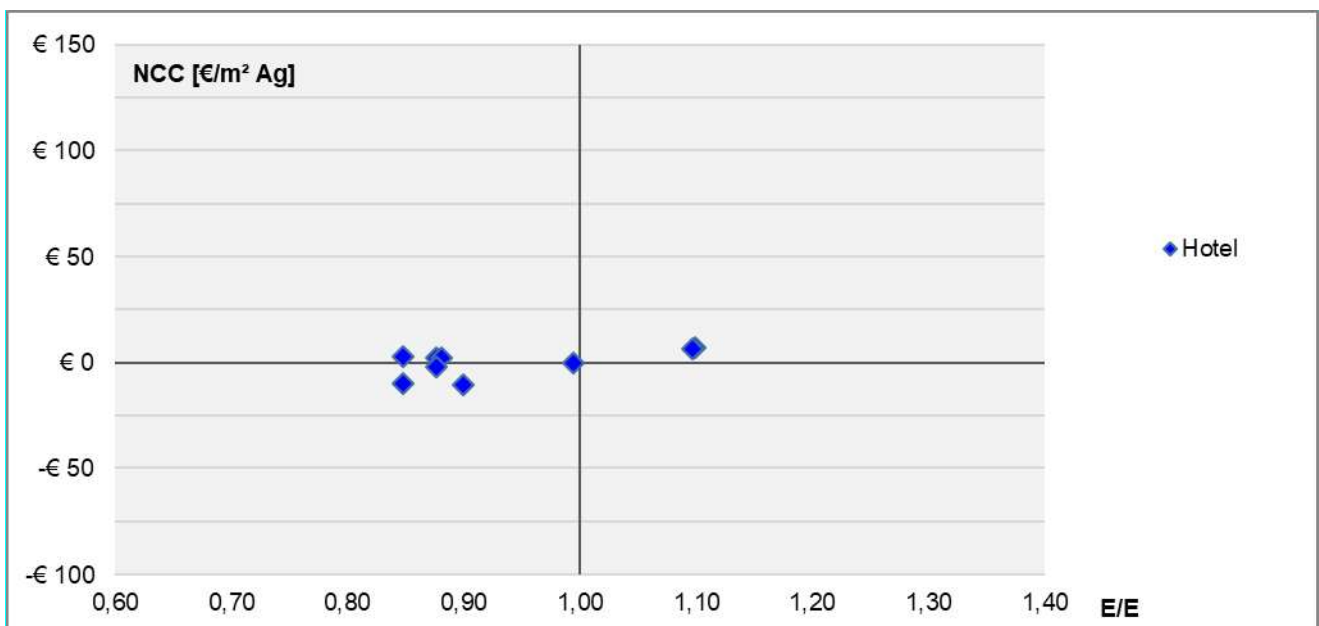
Grafiek 68: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor gezondheidszorggebouwen met bedfunctie

Kantoorgebouwen



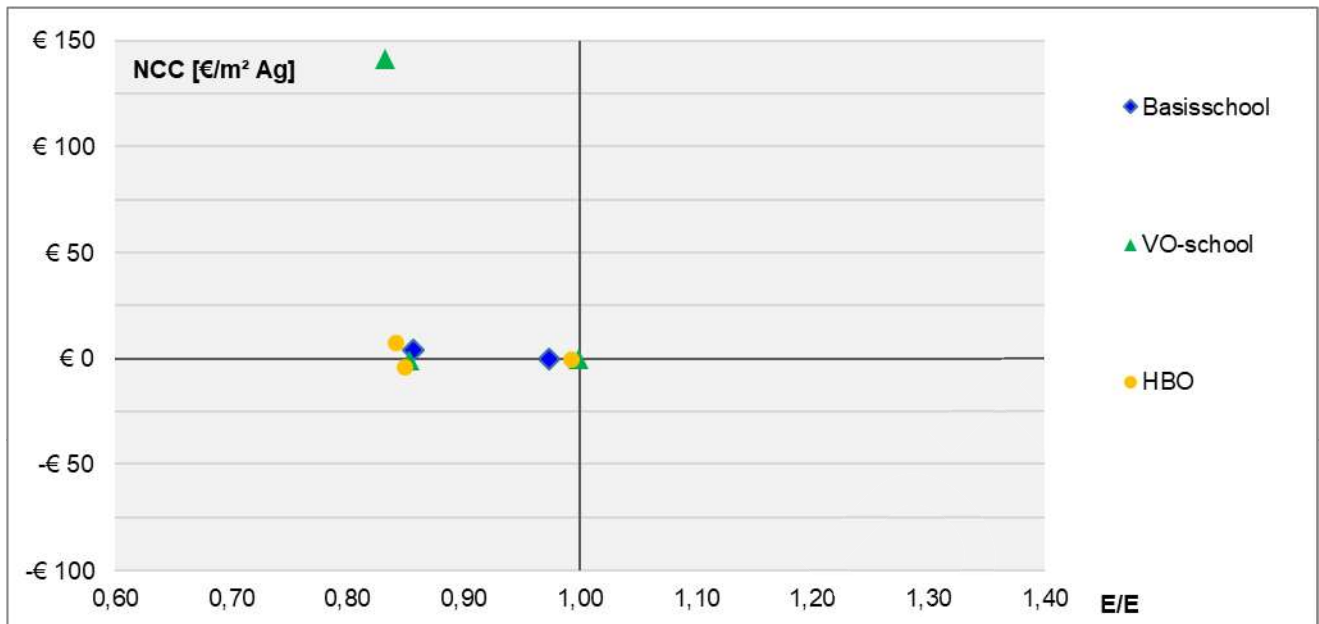
Grafiek 69: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor kantoorgebouwen

Logiesgebouwen



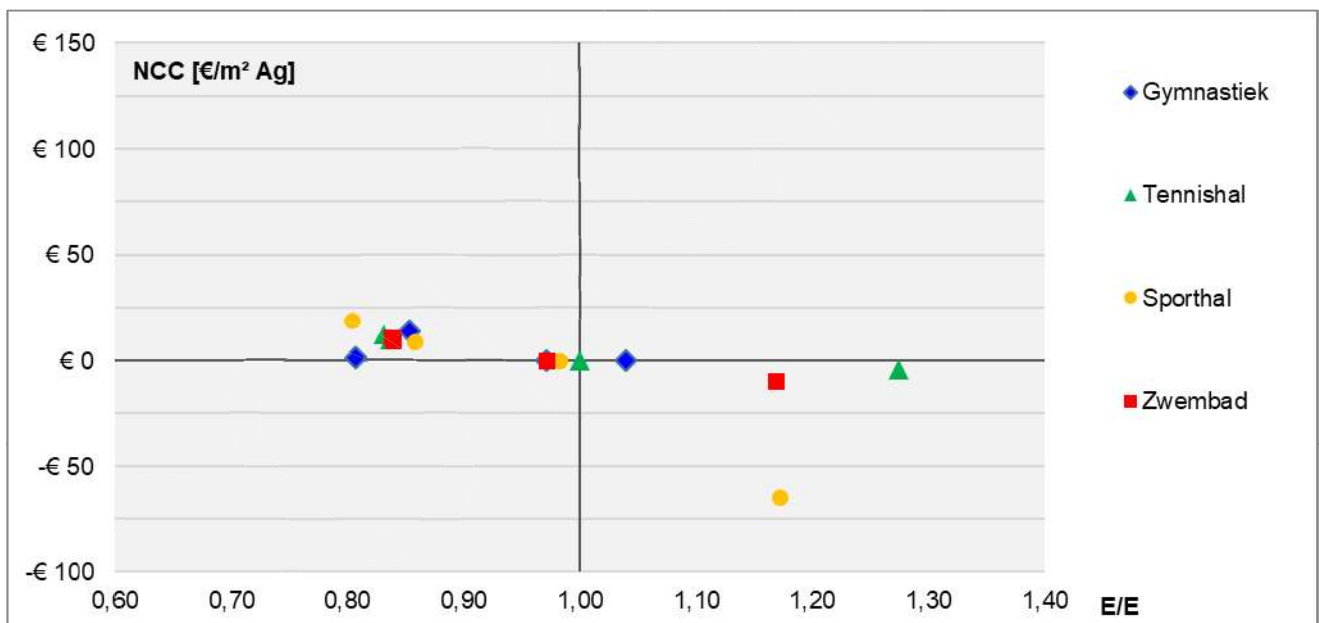
Grafiek 70: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor logiesgebouwen

Onderwijsgebouwen



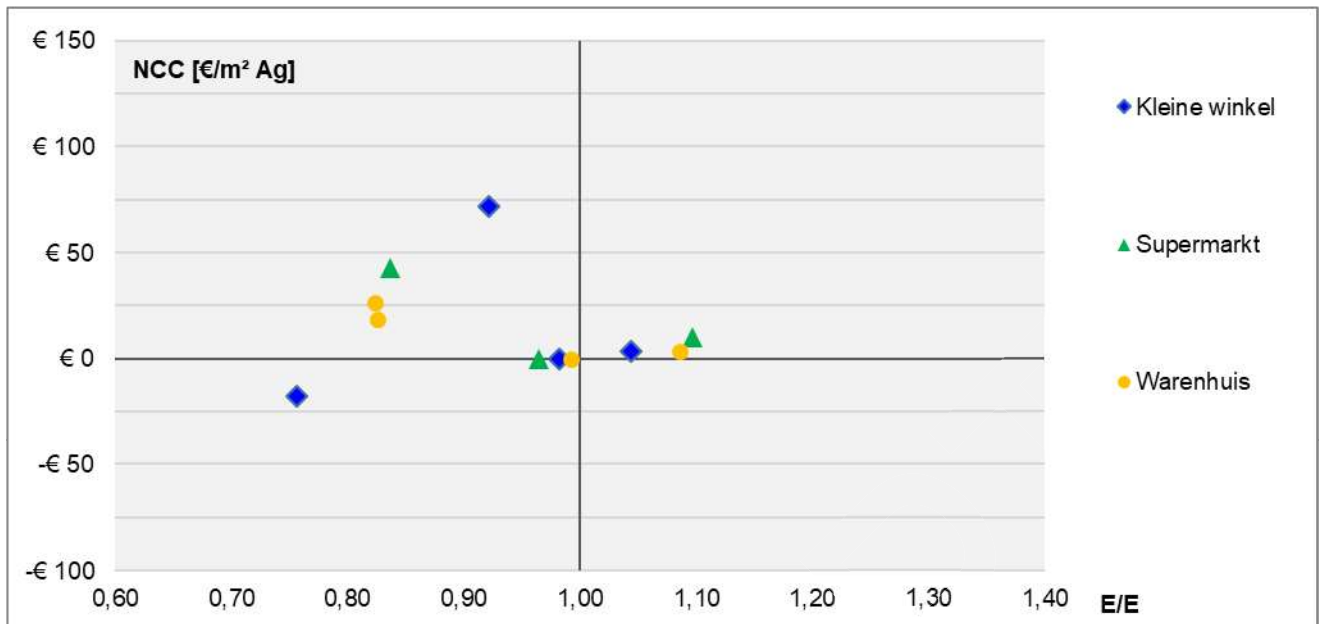
Grafiek 71: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor onderwijsgebouwen

Sportgebouwen



Grafiek 72: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor sportgebouwen

Winkelgebouwen

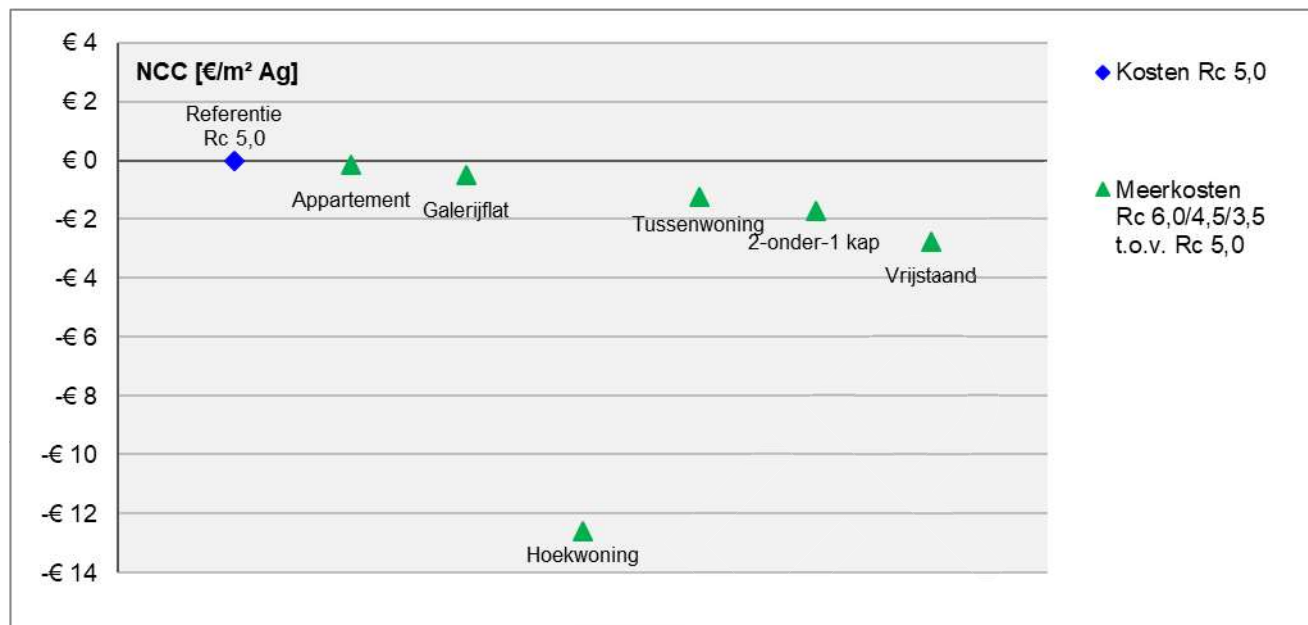


Grafiek 73: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van maatregelpakketten voor winkelgebouwen

6.2 Isolatie-eisen nieuwbouw

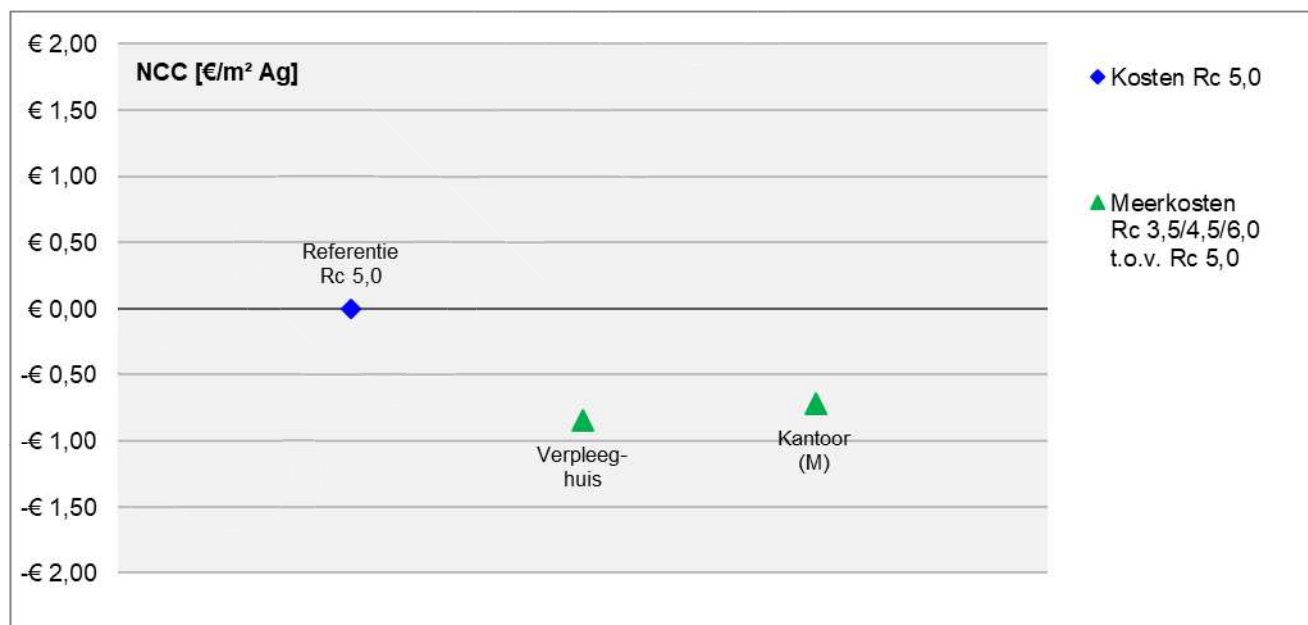
Onderstaand zijn de resultaten van het onderzoek naar de kostenoptimaliteit van de vangneteisen weergegeven, gesplitst naar woningbouw en utiliteitsbouw.

6.2.1 Woningbouw



Grafiek 74: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van de gedifferentieerde vangneteisen voor woningbouw

6.2.2 Utiliteitsbouw



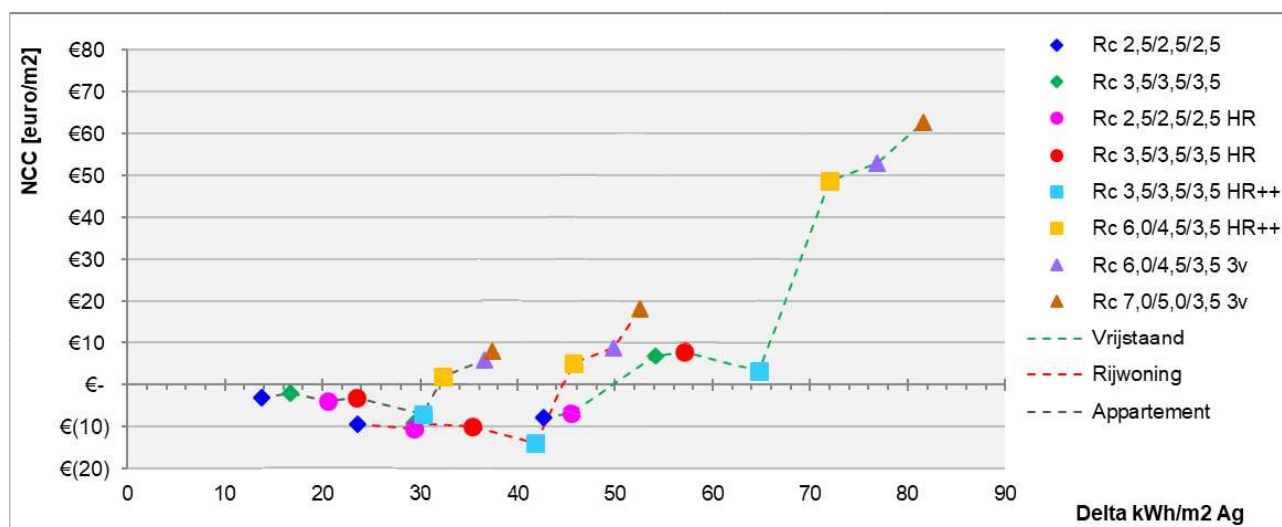
Grafiek 75: Netto contante meerkosten (macro-economisch) van de gedifferentieerde vangneteisen voor utiliteitsbouw

6.3 Bestaande bouw, ingrijpende renovatie

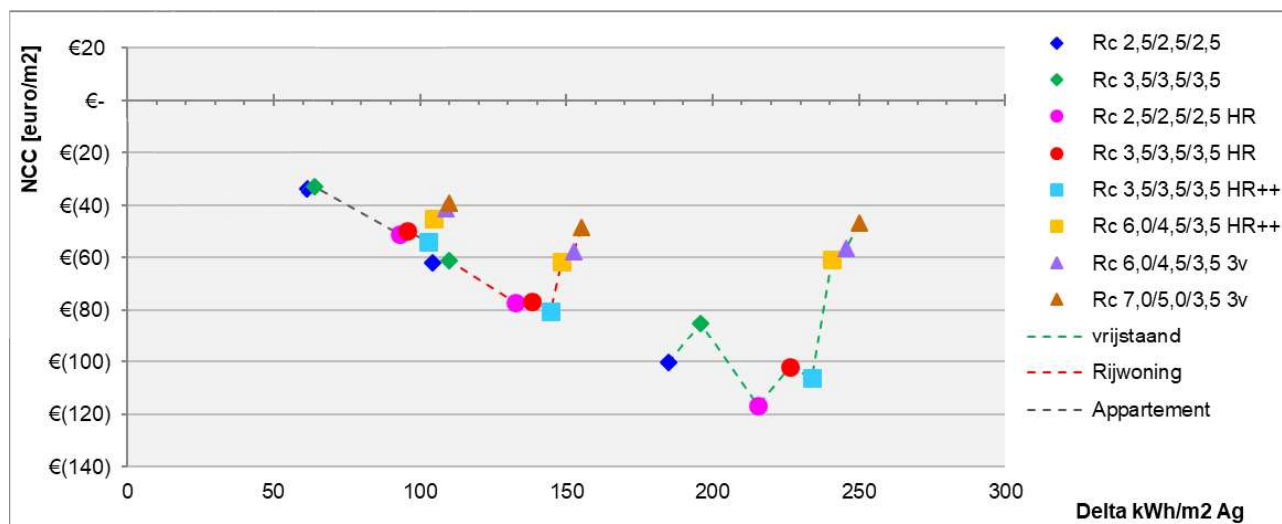
In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van de macro-economische calculatie van de maatregelpakketten voor de doorgerekende renovatiesituaties bij bestaande Ten opzichte van de financiële calculatie zijn dezelfde maatregelpakketten doorgerekend. Net als in hoofdstuk 5 zijn bij de weergave van de resultaten primair de maatregelenpakketten op gebouwniveau geëvalueerd. De losse maatregelen zijn niet in dit hoofdstuk weergegeven. De verschillen tussen de macro-economische berekeningen en de financiële berekeningen voor de maatregelpakketten zijn dermate klein dat ook voor de losse maatregelen geen significante verschillen in beeld te brengen zijn. De getalsmatige resultaten van de energiebesparing, reductie van de CO₂-emissies en investeringskosten zijn per maatregel weergegeven in bijlage 6 voor zowel de maatregelpakketten als de losse maatregelen.

6.3.1 Woningbouw

De resultaten van de maatregelpakketten voor woningen zijn weergegeven in grafiek 76 tot en met grafiek 79 voor achtereenvolgens de volgende opweksystemen: HR107 combiketel en een warmtepomp. In grafiek 76 en grafiek 77 is onderscheid gemaakt tussen de matig geïsoleerde en ongeïsoleerde referentiegebouwen weergegeven met het opweksysteem van een HR combiketel. Bij de resultaten in grafiek 78 en 79 zijn zowel de resultaten voor de matig geïsoleerde (circa 1985) als voor de ongeïsoleerde (circa 1955) woningen weergegeven met het opweksysteem van een warmtepomp.

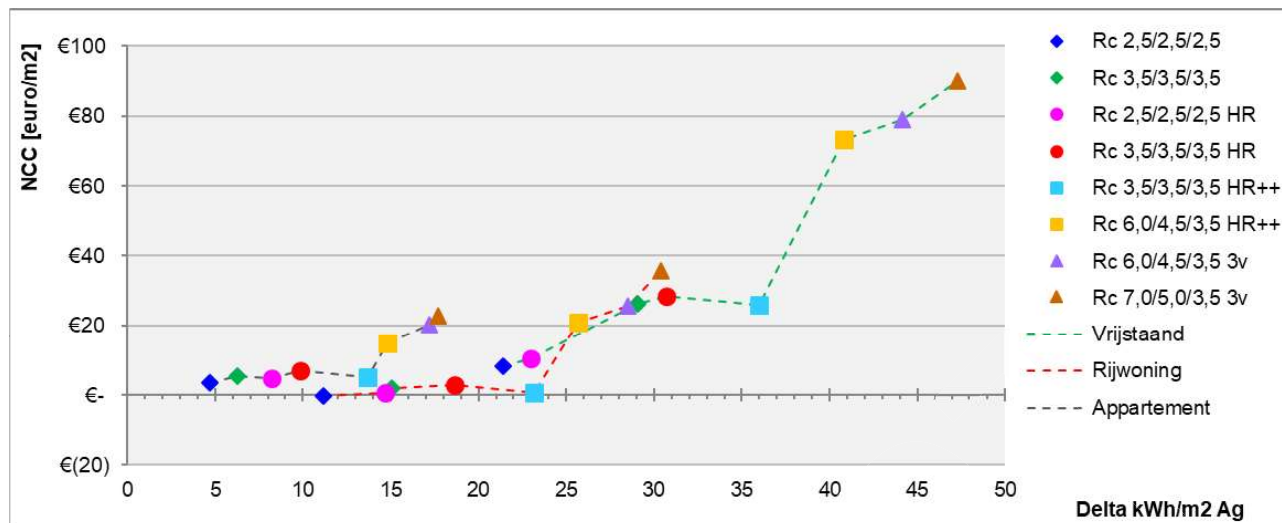


Grafiek 76: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in matig geïsoleerde woningen (appartement, rijwoning, vrijstaand); toepassing van HR combiketel

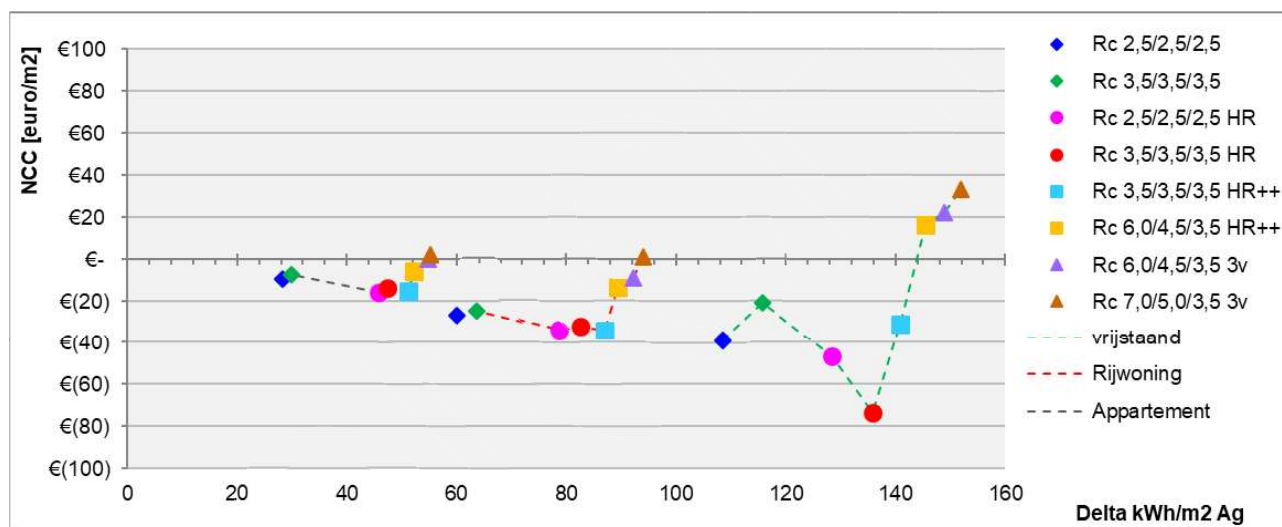


Grafiek 77: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in niet geïsoleerde woningen (appartement, rijwoning, vrijstaand); toepassing van HR combiketel

In grafiek 77 en grafiek 79 is te zien dat bij vrijwel alle woningen de maatregelpakketten met Rc waarden tussen Rc 2,5 en Rc 3,5 m²K/W en HR beglazing het meest kostenoptimaal zijn.



Grafiek 78: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in matig geïsoleerde woningen (appartement, rijwoning, vrijstaand); toepassing van een warmtepomp



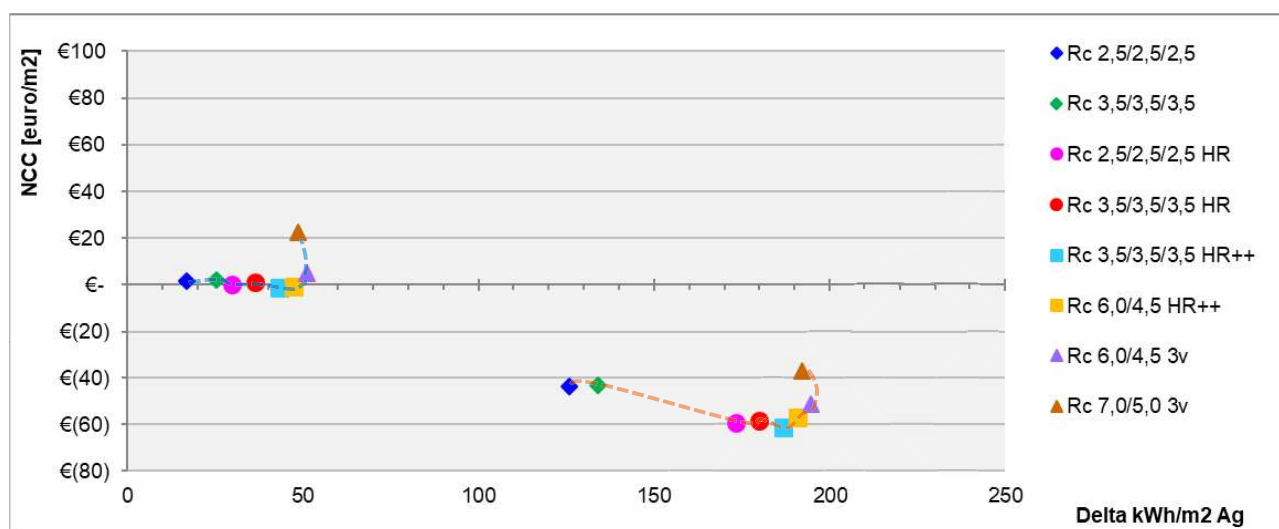
Grafiek 79: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in niet geïsoleerde woningen (appartement, rijwoning, vrijstaand); toepassing van een warmtepomp

Wanneer de resultaten van de macro-economische calculatie voor grafiek 76 tot en met grafiek 79 vergeleken wordt met de resultaten van de financiële calculatie (in grafiek 15 tot en met grafiek 18) liggen de NCC iets lager. Bij meerdere maatregelenpakketten uit de financiële calculatie met NCC groter dan nul hebben in de macro-economische calculatie bij toepassing van een HR107 ketel NCC kleiner dan nul. Bij toepassing van een warmtepomp in matig geïsoleerde woningen liggen de NCC nog steeds rondom nul en bij hogere Rc waarden meer boven nul.

De lagere NCC worden mede veroorzaakt door de CO₂ besparing die meetelt in de macro-economische calculatie. Daarnaast wordt er bij de macro-economische calculatie gerekend met een lagere discontovoet ten opzichte van de financiële calculatie. Het kostenoptimale punt in de macro-economische calculatie ligt net als bij de financiële calculatie bij de maatregelpakketten met Rc waarden tussen Rc 2,5 en Rc 3,5 m²K/W en HR beglazing.

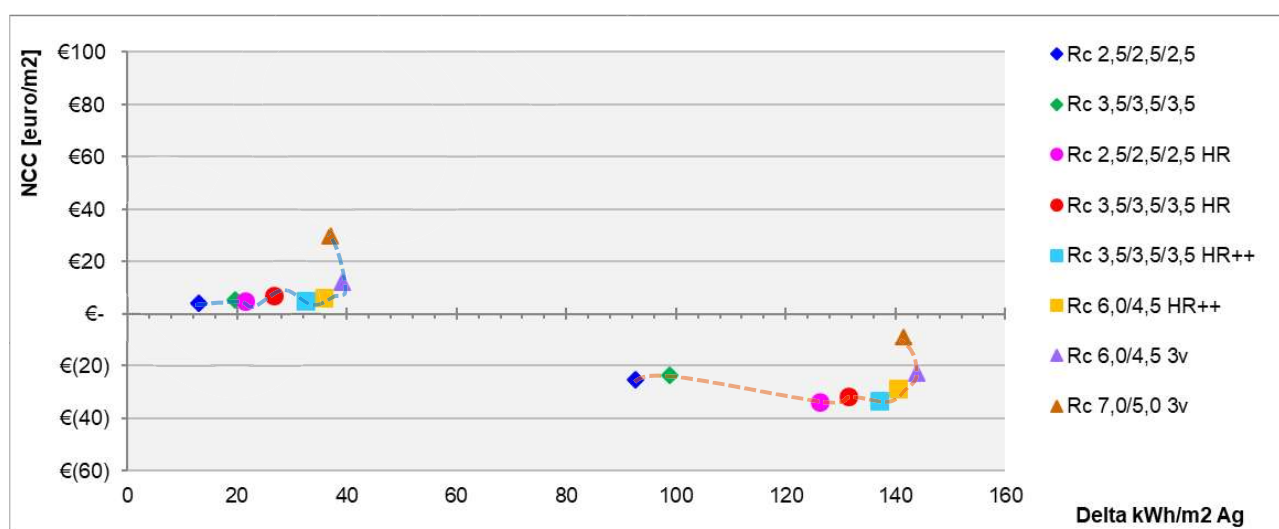
6.3.2 Utiliteitsbouw

De resultaten van de maatregelpakketten voor kantoren zijn weergegeven in grafiek 80 en grafiek 81 voor achtereenvolgens de volgende opweksystemen: HR107 ketel en warmtepomp. In grafieken zijn zowel de resultaten voor het ongeïsoleerde kantoor uit 1955 als voor het matig geïsoleerde kantoor uit 1985 weergegeven. In de grafieken is een kostenoptimaliteitslijn weergegeven die de acht punten van de verschillende maatregelpakketten verbindt. Voor het niet geïsoleerde kantoor is deze **blauw** gemarkeerd en voor het matig geïsoleerde kantoor **oranje**.



Grafiek 80: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in kantoren matig geïsoleerd verbonden met een **blauw**-gemarkeerd lijn en kantoor niet geïsoleerd met een **oranje**-gemarkeerd lijn; toepassing van HR combiketel

In grafiek 80 en grafiek 81 is te zien dat het maatregelpakket met Rc 3,5 m²K/W en HR++ beglazing het meest kostenoptimaal is. Dit pakket heeft de laagste NCC. De maatregel met de meest negatieve NCC, oftewel de laagste NCC, heeft het beste resultaat voor de NCC. Wel is op te merken dat het maatregelpakket Rc 6,0 – 4,5 m²K/W met HR++ minimaal verschillen in NCC in vergelijking tot pakket Rc 3,5 m²K/W en HR++.



Grafiek 81: Netto contante meerkosten van energiebesparende maatregelpakketten in kantoren matig geïsoleerd verbonden met een **blauw**-gemarkeerd lijn en kantoor niet geïsoleerd met een **oranje**-gemarkeerd lijn; toepassing van een warmtepomp

Wanneer de resultaten van de macro-economische calculatie voor grafiek 80 en grafiek 81 vergeleken wordt met de resultaten van de financiële calculatie (in grafiek 26 en grafiek 27) liggen de NCC net als bij woningen iets lager. De maatregelenpakketten uit de financiële calculatie met NCC groter dan nul hebben in de macro-economische calculatie bij toepassing van een HR107 ketel een NCC kleiner of gelijk aan.

Bij toepassing van een warmtepomp in matig geïsoleerde kantoren liggen de NCC lager dan nul, met uitzondering van de $R_c 7,0 - 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ deze ligt namelijk bij financieel net boven de nul. Het kostenoptimale punt in de macro-economische calculatie ligt net als bij de financiële calculatie bij de maatregelenpakketten met een R_c tussen $R_c 2,5$ en $R_c 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ en HR beglazing.

6.4 Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van de macro-economische calculatie van de maatregelen voor de doorgerekende renovatiesituaties bij bestaande bouw. Ten opzichte van de financiële calculatie zijn dezelfde maatregelen doorgerekend. Bij de weergave van de resultaten in dit hoofdstuk zijn (net als in hoofdstuk 5) alleen die situaties weergegeven die bepalend zijn voor de eisen bij vervanging van isolatie of kozijnen. Omdat het beeld dat resulteert uit de berekeningen echter vrijwel hetzelfde is en de verschillen tussen de macro economische en de financiële berekeningen dermate klein zijn, is voor vervanging van de isolatie bij vloeren alleen ingegaan op de variant met minerale wol en voor vervanging van de isolatie in spouwconstructies alleen op de variant met vervanging van spouwisolatie. In de financiële calculatie zoals besproken in het vorige hoofdstuk waren deze situaties bepalend voor het kostenoptimale niveau. Ten opzichte van de financiële calculatie is er wel sprake van lagere NCC per vierkante meter. Dit wordt veroorzaakt doordat de macro-economische calculatie exclusief btw is, doordat rekening wordt gehouden met de vermeden maatschappelijke kosten door CO₂-reductie en doordat er gerekend met een lagere discontovoet ten opzichte van de financiële calculatie.

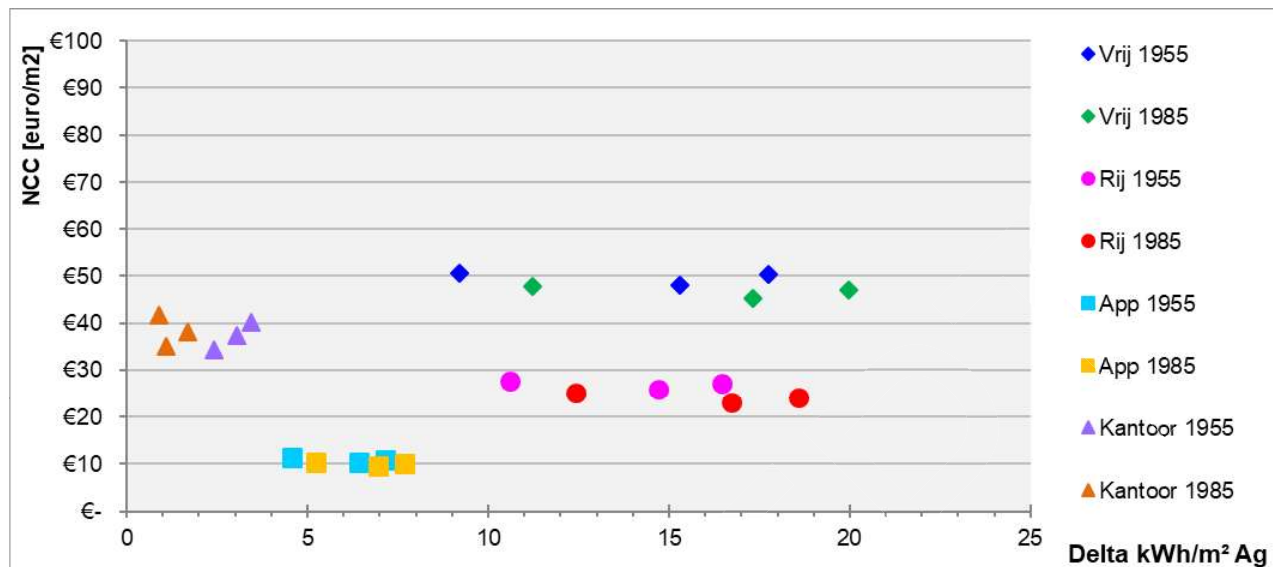
In achtereenvolgens paragraaf 6.4.1 tot en met 6.4.4 wordt ingegaan op:

- vervanging van isolatie bij vloeren boven buitenlucht met minerale wol
- vervanging van spouwisolatie
- vervanging van isolatie bij hellende daken aan de buitenzijde
- vervanging van kozijnen met beglazing

Volledigheidshalve zijn de resultaten voor alle doorgerekende situaties weergegeven in bijlage 7. Daarnaast zijn in deze bijlage ook de getalsmatige resultaten opgenomen van de energiebesparing, de reductie van de CO₂-emissies en de investeringskosten.

6.4.1 Vloer

De resultaten voor een plafond met minerale wol en beplating zijn weergegeven in grafiek 82. Net als in grafiek 33 bij de financiële calculatie zijn drie varianten weergegeven met 40, 70 en 90 mm isolatiemateriaal met achtereenvolgens van links naar rechts een totale Rc van 1.3, 2.0 en 2.5 m²K/W.

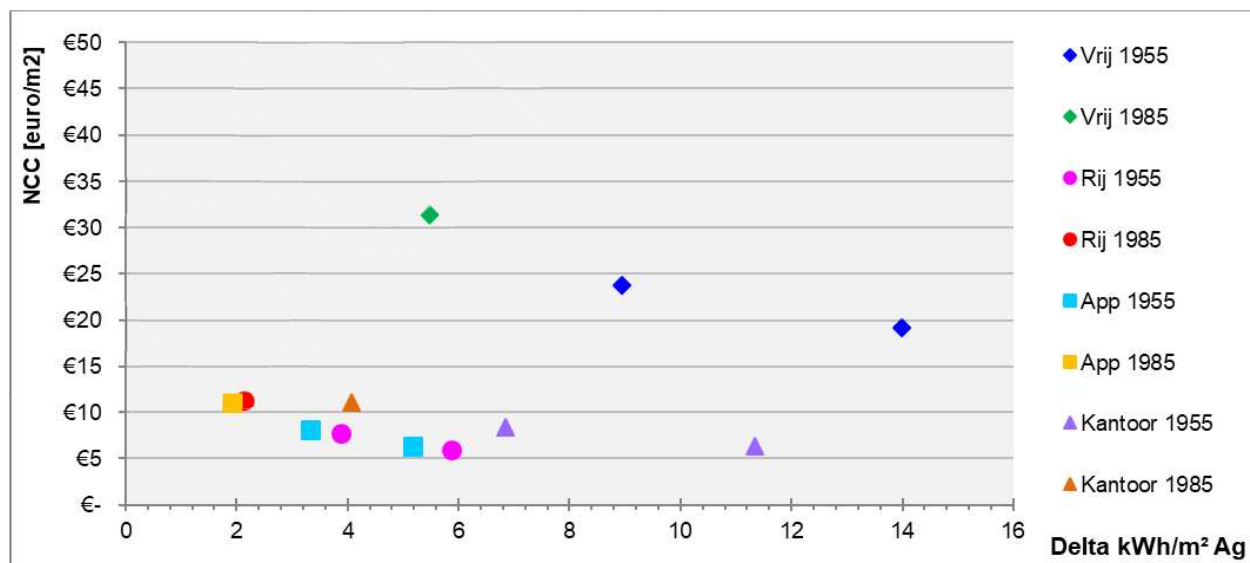


Grafiek 82: NCC bij vervanging van isolatie bij vloeren boven buitenlucht – minerale wol

De resultaten in grafiek 82 geven een zelfde beeld als in grafiek 33. Wel zijn de NCC bij de macro-economische calculatie circa €10-€25/m² lager.

6.4.2 Gevel

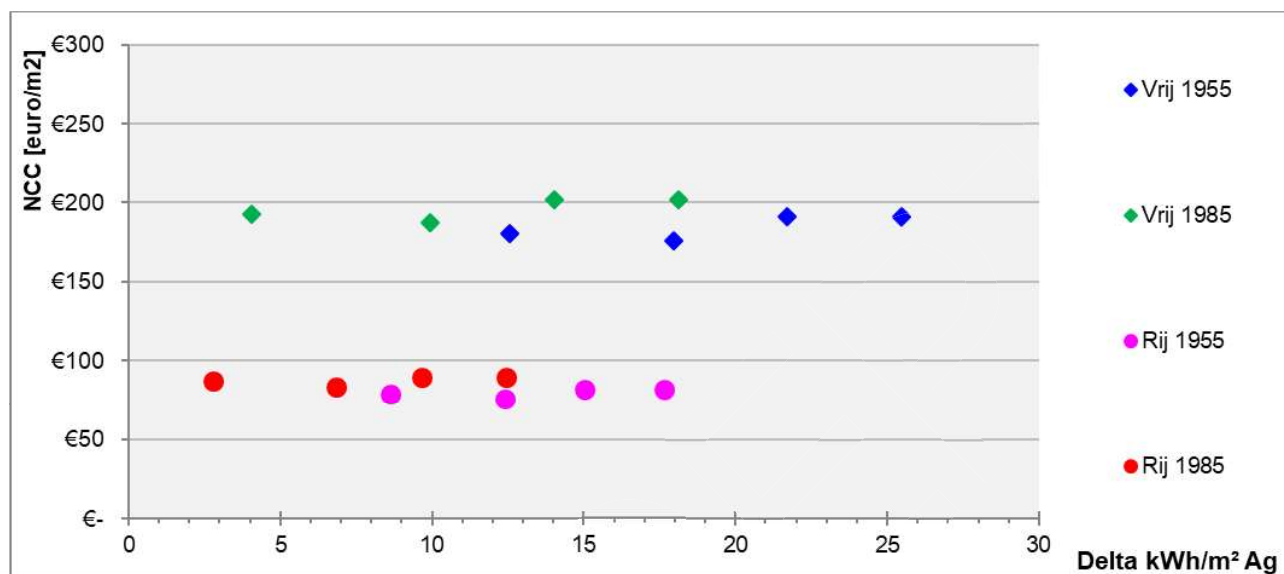
De resultaten voor vervanging van de spouwisolatie zijn weergegeven in grafiek 83. Wanneer de resultaten in grafiek 83 vergeleken worden met de resultaten in grafiek 36 voor de financiële calculatie is het overall beeld hetzelfde. Wel zijn de NCC bij de macro-economische calculatie circa €5-€10/m² lager.



Grafiek 83: NCC bij vervanging van spouwisolatie in een spouw van 40 en 50 mm

6.4.3 Dak

In grafiek 84 zijn de resultaten weergegeven voor vervanging van de isolatie op een hellend dak aan de buitenzijde. Van links naar rechts zijn de resultaten weergegeven voor een renovatieplaat van 39, 50, 66 en 98 mm met een Rc van 1.6, 2.0, 2.5 en 3.5 m²K/W. Bij alle varianten is er rekening gehouden met vervanging van de goot, randpannen en vorsten. Bij de variant van 66 en 98 mm dik is bovendien rekening gehouden met bijkomende kosten door aanpassing van de aansluiting met de buurwoning en gevelaansluitingen. De resultaten in grafiek 84 geven een zelfde beeld als in grafiek 39. Wel zijn de NCC bij de macro-economische calculatie circa € 30-€ 65/m² lager.

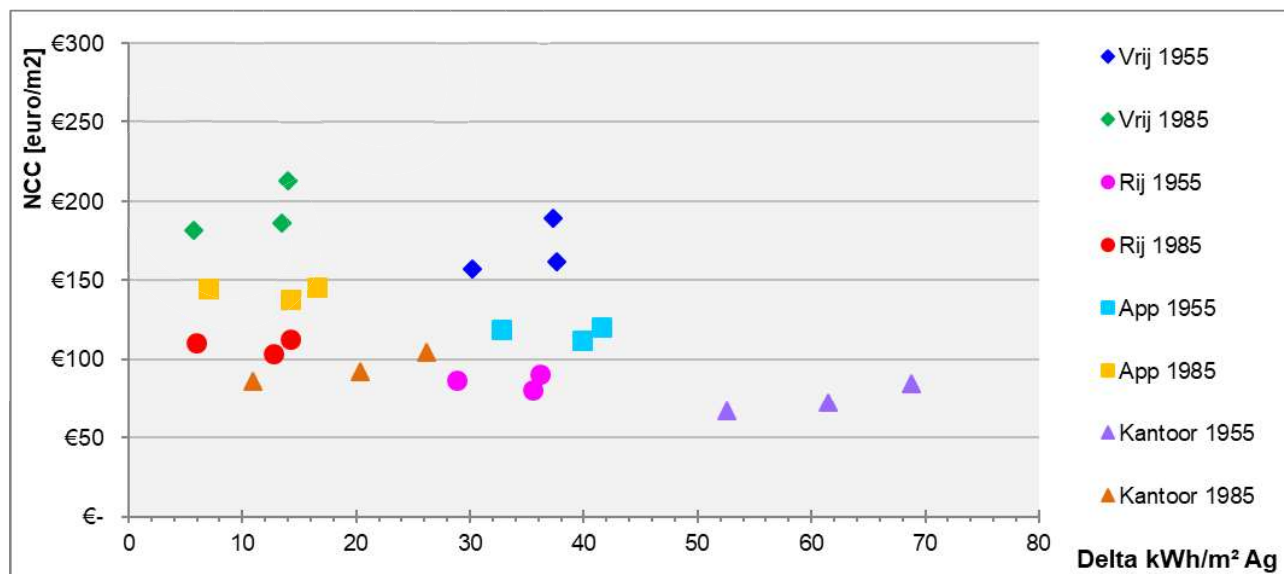


Grafiek 84: NCC bij vervanging van isolatie bij hellende daken aan buitenzijde

6.4.4 Kozijn

In grafiek 85 zijn per gebouw drie resultaten voor vervanging van kozijnen met verschillende typen beglazing weergegeven. Er is onderscheid gemaakt tussen verschillende typen beglazing:

- HR-glas (U-waarde kozijn + glas 2.2 m²K/W)
- HR++-glas (U-waarde kozijn + glas 1.65 m²K/W)
- drieboudige beglazing (U-waarde kozijn + glas 1.3 m²K/W)



Grafiek 85: NCC bij vervanging van kozijnen met beglazing

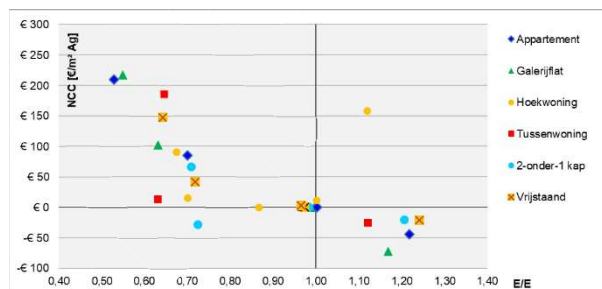
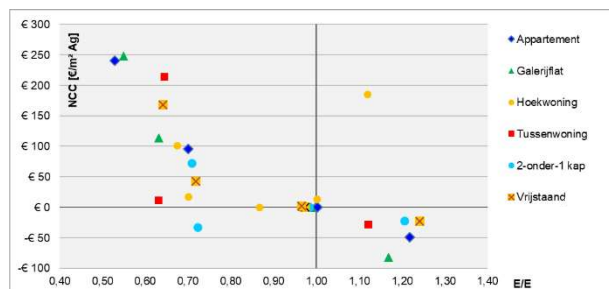
Wanneer de resultaten in grafiek 85 vergeleken worden met de resultaten in grafiek 40 voor de financiële calculatie lijkt het beeld voor woningen hetzelfde. Het kostenoptimale punt bij HR++-beglazing is nu echter bij de vrijstaande woning ook duidelijk aanwezig. Bij de kantoren waren de NCC van HR++-beglazing bij de financiële calculatie hoger ten opzichte van HR-beglazing. Bij de macro-economische calculatie is er nu sprake van marginaal lagere NCC bij HR++-beglazing (ten opzichte van HR-beglazing). De NCC bij de macro-economische calculatie zijn circa €30-€50/m² lager.

6.5 Gevoeligheidsanalyse

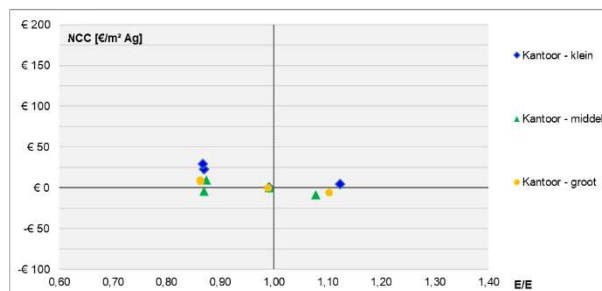
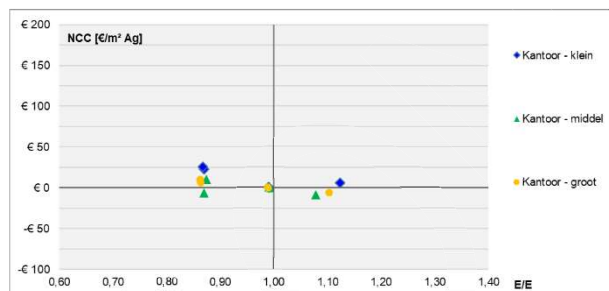
Er is voor de macro-economische analyse gerekend met een discontovoet van 3,0% voor zowel woning- als utiliteitsbouw. In een scenarioanalyse is gekeken naar het effect van een aangepaste discontovoet van 2,0% en 4,0%. Hierbij is het standaard energiescenario gehanteerd.

6.5.1 Nieuwbouw

De gevoeligheidsanalyse met de lagere en hogere discontovoeten laat bij zowel woningbouw als utiliteitsbouw een beperkt ander beeld zien dan in het oorspronkelijke scenario. De gevoeligheidsanalyses voor de macro-economische berekening met de verschillende discontovoeten leiden niet tot het wijzigen van de conclusies.



Grafiek 86 en 87: Woningen met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)



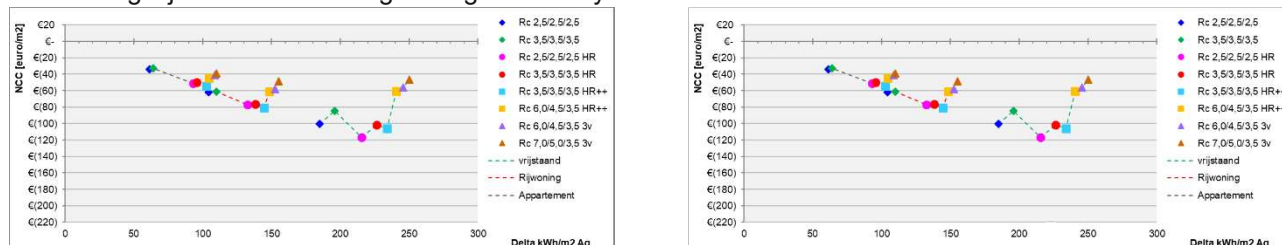
Grafiek 88 en 89: Kantoren met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)

6.5.2 Isolatie-eisen nieuwbouw

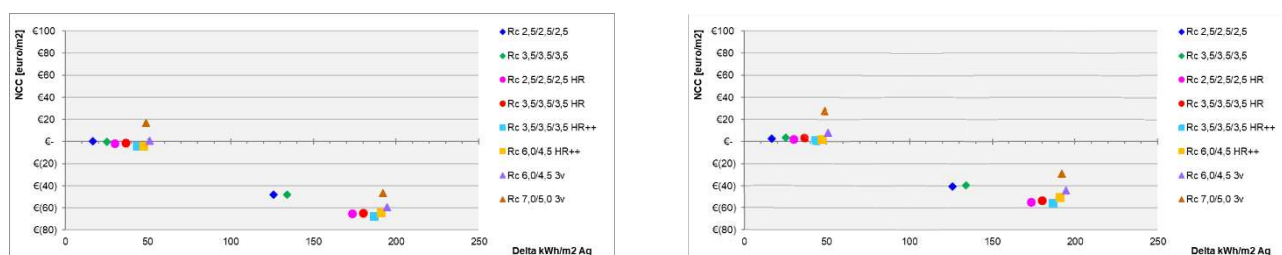
De gevoeligheidsanalyse met de lagere en hogere discontovoeten laat een beperkt ander beeld zien dan in het oorspronkelijke scenario. De gevoeligheidsanalyses voor de macro-economische berekening met de verschillende discontovoeten leiden niet tot het wijzigen van de conclusies.

6.5.3 Bestaande bouw, ingrijpende renovatie

Ook bij de gevoeligheidsanalyse voor de bestaande bouw vertonen de NCC een kleine spreiding,. Bij een discontovoet van 4% is de spreiding van de NCC juist enigszins groter. Over het algemeen zijn de resultaten echter vergelijkbaar en leidt de gevoeligheidsanalyse niet tot andere inzichten.



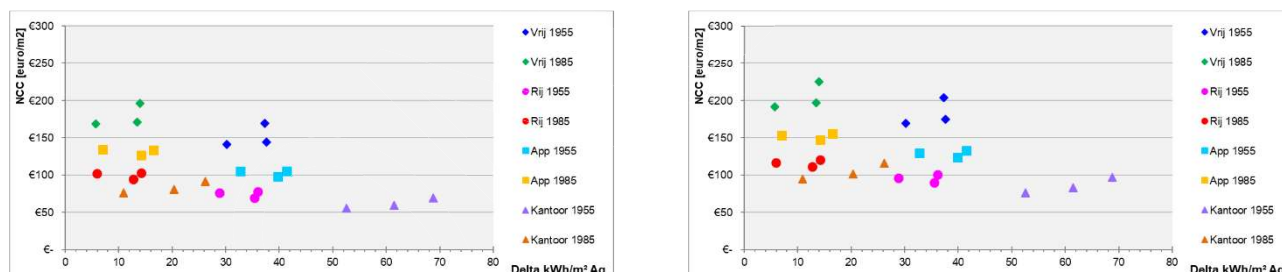
Grafiek 90 en 91: Niet geïsoleerde woningen (HR-combiketel) met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)



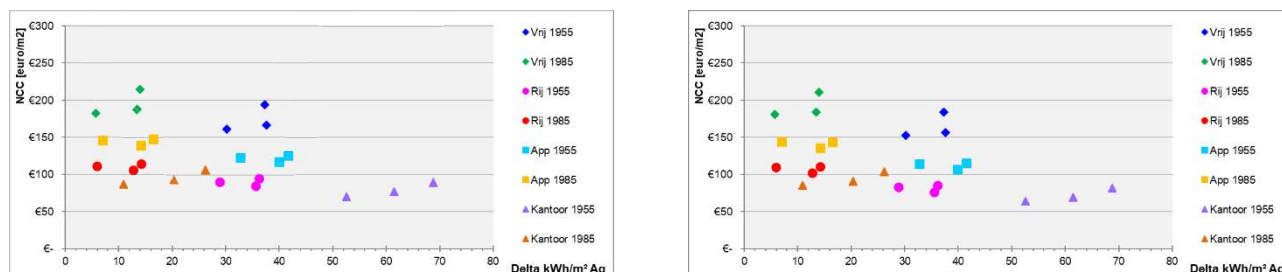
Grafiek 92 en 93: Matig geïsoleerd kantoor (HR-combiketel) met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)

6.5.4 Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie

Bij de gevoeligheidsanalyse van de isolatie en kozijnen is de spreiding eveneens beperkt. Over het algemeen zijn de resultaten echter vergelijkbaar en leidt de gevoeligheidsanalyse niet tot andere inzichten.



Grafiek 94 en 95: Vervangen kozijnen met beglazing met lagere discontovoet (links) en hogere discontovoet (rechts)



Grafiek 96 en 97: Vervangen kozijnen met beglazing met lager energieprijsscenario 0,5% (links) en hoger energieprijsscenario 5,0% (rechts)

7 CONCLUSIES

7.1 Financiële of macro-economische calculatie

De resultaten van de macro-economische calculatie in hoofdstuk 6 zijn over het algemeen vergelijkbaar met de resultaten van de financiële calculatie in hoofdstuk 5 voor alle gebouw- en elementstudies. Doch zijn er verschillen op te merken per studie. Los van de verschillen per studie leidt de macro-economische calculatie ten opzichte van de financiële calculatie niet tot andere inzichten ten aanzien van het kostenoptimale niveau. Dit wordt mede veroorzaakt door de CO2 besparing die meetelt in de macro-economische calculatie. Daarnaast wordt er bij de macro-economische calculatie gerekend met een lagere discontovoet ten opzichte van de financiële calculatie.

Door Nederland is gekozen om de financiële calculatie als basis voor de bepaling van de kostenoptimaliteit te hanteren.

7.2 Kostenoptimaliteit

7.2.1 Nieuwbouw

Voor nieuwbouw zijn de resultaten van de kostenoptimaliteitsberekeningen uitgedrukt tegen de E/E-waarde. Bij een E/E-waarde (Epot/Epadmin) van maximaal 1,00 voldoet een gebouw in Nederland aan de energieprestatie-eisen uit de bouwregelgeving.

Woonfuncties

Woningen

Bij nieuwbouw van woningen is het kostenoptimale punt niet exact te bepalen. Voor woningen lijkt het kostenoptimale punt te liggen tussen 0,70 en 1,00. Bij vrijwel alle doorgerekende varianten met een E/E < 1 is er sprake van hogere netto contante kosten (NCC). De huidige eis bevindt zich op dit moment nagenoeg in het midden van de bandbreedte van de kostenoptimale range.

Woonwagens

Bij nieuwbouw woonwagens lijkt het kostenoptimale punt te liggen tussen 0,90 en 1,05. De huidige eis bevindt zich op dit moment binnen die huidige bandbreedte.

Vakantiewoningen

Bij de nieuwbouw vakantiewoningen is het niet mogelijk om het kostenoptimale punt te bepalen. De isolatie-eisen zijn maatgevend voor de energieprestatie van de vakantiewoningen en niet de energieprestatie-eis. Dit betekent dat er ruimte is om de energieprestatie-eis voor vakantiewoningen aan te scherpen.

Utiliteitsfuncties

Bij een aantal gebruiksfuncties liggen de NCC voor de verschillende doorgerekende maatregelen op een horizontale lijn rondom de totale NCC van nul. In deze gevallen lijkt het kostenoptimale niveau bereikt. De kostenoptimale range van de maatregelen ligt over het algemeen tussen een E/E van 0,75 en 1,20. Hieronder, per gebruiksfunctie de specifieke bandbreedte van het kostenoptimale niveau weergegeven.

Voor alle utiliteitsbouwfuncties zijn er maatregelpakketten samengesteld die resulteren in een lagere E/E-waarde dan 1,00. Deze maatregelpakketten hebben verschillende NCC tot gevolg. Bij een aantal gebruiksfuncties liggen de NCC voor de verschillende doorerekende maatregelen op een horizontale lijn rondom de totale netto contante kosten van nul, voor andere is er meer variatie in de NCC. Op basis van de maatregelpakketten met NCC kleiner dan nul is de kostenoptimale range vastgesteld. Deze range is als volgt:

Winkelfuncties	0,75 - 1,00	(range 0,25)
Zorggebouwen zonder bedfunctie	0,75 - 1,00	(range 0,25)
Celfunctie	0,75 - 1,10	(range 0,35)
Zorggebouwen met bedfunctie	0,80 - 1,05	(range 0,25)
Logiesfunctie (in logiesgebouw)	0,85 - 1,00	(range 0,15)
Sportfuncties	0,80 - 1,20	(range 0,40)
Bijeenkomstfuncties	0,85 - 1,05	(range 0,20)
Kantoorgebouwen	0,85 - 1,10	(range 0,25)
Onderwijsfuncties	0,85 - 1,10	(range 0,25)

Uit dit overzicht blijkt dat de meeste gebruiksfuncties een kostenoptimale range hebben van circa 0,2 – 0,25 rondom de E/E-waarde van 1,00.

Conclusie

In deze studie zijn berekeningen uitgevoerd om het kostenoptimale punt voor de energieprestatie van gebouwen te bepalen. Het kostenoptimale punt is echter vaak niet exact te bepalen, er is sprake van een kostenoptimale range. De huidige eisen aan de energieprestatie van gebouwen vallen binnen deze kostenoptimale range.

Conform de Europese Verordening (244/2012) moeten de eisen aangescherpt worden als het kostenoptimale punt c.q. niveau van de onderzochte situaties waar de bouwregelgeving eisen aan stelt meer dan 15% afwijkt van de gestelde eisen. Daarvan is hier geen sprake,

Een uitzondering hierop zijn de vakantiewoningen, hiervan kon geen kostenoptimaal punt bepaald worden. De isolatie-eisen zijn maatgevend voor de energieprestatie van de vakantiewoningen en niet de energieprestatie-eis. Dit betekent dat er ruimte is om de energieprestatie-eis voor vakantiewoningen aan te scherpen.

7.2.2 Isolatie-eisen nieuwbouw

In het Bouwbesluit zijn eisen opgenomen voor de isolatie van de gebouwschil. Voor de vangneten wordt uitgegaan van gedifferentieerde eisen voor dak, gevel en vloer van 6,0 / 4,5 / 3,5 m²K/W. In het onderzoek is ook gekeken naar een generieke eis voor de volledige gebouwschil van 5,0 m²K/W.

Uit het onderzoek blijkt dat voor beide situaties de energetische prestatie vergelijkbaar is. De NCC daarentegen verschillen wel tussen beide varianten. Het verschil is klein maar de gedifferentieerde eisen hebben iets lagere NCC. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de ingevoerde gedifferentieerde vangneten uit 2015 een kostenoptimaal effect hebben.

7.2.3 Bestaande bouw, ingrijpende renovatie

Voor alle gehanteerde gebouwen binnen bestaande bouw (woningbouw en utiliteitsbouw) is het mogelijk om isolatiemaatregelen te nemen die zich binnen het gehanteerde beoordelingskader terugverdienen (de netto contante kosten zijn dan kleiner dan nul). Wanneer de bouwkundige maatregelpakketten worden gecombineerd met verwarmingsinstallaties met verschillend energetisch rendement (HR107 combiketel of een elektrische warmtepomp) leidt dit bij toenemend rendement tot kleinere energiebesparingen en daardoor tot hogere netto contante kosten.

Maatregelpakketten

De totale netto contante kosten blijven bij niet geïsoleerde woningen en kantoren kleiner of bijna gelijk aan nul. Deze maatregelpakketten en maatregelen verdienen zich dus nagenoeg allemaal terug bij toepassing in niet geïsoleerde bestaande gebouwen. Het meest kostenoptimale pakket voor niet geïsoleerde woningen en kantoren ligt tussen Rc 2,5 (dak), 2,5 (gevel), 2,5 (vloer) m²K/W en HR-beglazing en Rc 3,5 (dak), 3,5 (gevel), 3,5 (vloer) m²K/W en HR-beglazing.

Bij de matig geïsoleerde woningen en kantoren is bij veel van de onderzochte maatregelpakketten sprake van NCC boven nul. Voor de rijwoning en het appartement is dit beperkt, maar voor de vrijstaande woning is het verschil groter. Veel van deze pakketten zijn dus niet kostenoptimaal.

Het meest kostenoptimale pakket ligt ook voor matig geïsoleerde woningen en kantoren tussen Rc 2,5 (dak), 2,5 (gevel), 2,5 (vloer) m²K/W en HR-beglazing en Rc 3,5 / 3,5 / 3,5 m²K/W en HR++-beglazing. De isolatiewaarde van de verschillende schildelen in deze kostenoptimale pakketten liggen allemaal onder de huidige isolatie-eisen per bouwdeel.

Losse maatregelen

Op basis van de analyse van de maatregelenpakketten toegepast op de referentiegebouwen is een kostenoptimaal niveau bepaald. Nederland stelt eisen op componentniveau aan de schildelen die betrokken zijn bij deze ingrijpende renovatie. Het is daarom van belang om te toetsen of het niveau van de eisen per component in overeenstemming is met het kostenoptimale niveau van de pakketten op gebouwniveau.

Bouwkundig

Wanneer er wordt gekeken naar de losse maatregelen treden de laagste netto contante kosten over het algemeen op bij het toepassen van een Rc-waarde variërend tussen 2,5 en 3,5, afhankelijk van het type gebouw. Het verschil in de NCC tussen deze gebouwen is echter zeer beperkt. Het toepassen van HR++ beglazing komt bij alle onderzochte bouwtypen met de laagste NCC naar voren.

Installaties

Het toepassen van een warmtepomp in plaats van een HR-combiketel levert voor alle onderzochte gebouwen een NCC op van meer dan nul. Dit geldt voor zowel de niet als matig geïsoleerde gebouwen. Deze maatregel is dus niet kosteneffectief. Ook maatregelen voor hernieuwbare energie zoals een zonneboiler of PV-panelen zijn niet kosteneffectief. Deze maatregelen hebben een NCC hoger dan nul.

Conclusie

Uit deze studie wordt geconcludeerd dat bij ingrijpende renovatie van bestaande bouw (woningbouw en utiliteitsbouw) toepassing van na-isolatie van schildelen met een Rc-waarde tussen 2,5 en 3,5 m²K/W en toepassing van HR++ beglazing als kostenoptimale maatregelen naar voren komen.

De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses voor de discontovoet, het energieprijsscenario en de calculatieperiode leiden niet tot andere conclusies over het kostenoptimale niveau van de maatregelpakketten.

In Nederland worden bij ingrijpende renovatie eisen gesteld aan die delen van de gebouwschil die onderdeel zijn van de renovatie. Er is sprake van ingrijpende renovatie als 25% of meer van het schiloppervlak integraal aangepakt wordt. Bij ingrijpende renovatie worden energieprestatie-eisen gesteld op het niveau van componenten van de schil. Vereist is een minimale Rc-waarde van 6,0 (vloer), 4,5 (gevel) of 3,5 (vloer) m²K/W en een maximale U-waarde voor gevelopeningen van 1,65 W/m²K.

De conclusie is dat de vereiste Rc-waarden en U-waarde voor ingrijpende renovatie strenger zijn dan het in deze studie vastgestelde kostenoptimale niveau van de maatregelpakketten en de losse maatregelen.

7.2.4 Bestaande bouw, niet-ingrijpende renovatie (isolatie-eisen)

In Nederland worden sinds 2015 eisen gesteld aan de vervanging van onderdelen van de bouwschil die een duidelijk effect hebben op de energieprestatie. Kortgezegd worden er eisen gesteld aan vervanging van isolatiematerialen en ramen. Indien er sprake is van vervanging van meer dan 25% van het schiloppervlak en van integrale renovatie van het desbetreffende schildeel gelden de eisen zoals benoemd in 2.1. Indien de eisen zoals die ooit gesteld zijn bij de vergunningverlening voor oprichting van het gebouw hoger zijn dan onderstaande eisen per schildeel dan gelden de in de vergunning verleende eisenniveaus ("het rechtens verkregen niveau"). In deze rapportage is gekeken naar het kostenoptimale niveau dat hoort bij de onderdelen van de bouwschil.

Vloeren

Voor vloeren bij woningen ligt de minst nadelige terugverdientijd bij een R_c van 2.0 - 2.5 m^2k/W . Voor kantoren is de minst nadelige terugverdientijd bij een R_c van 1.3. Voor vloeren is de eis 2.5 m^2k/W . De eis ligt aan de bovenzijde van de bandbreedte die als kostenoptimaal beoordeeld is.

Gevel

Bij generieke eisen aan gevels zijn bestaande spouwconstructies beperkend voor de maximale isolatiedikte die realiseerbaar is. Het behalen van een R_c van 1.3 m^2K/W is dan niet altijd haalbaar. Indien de spouwconstructie niet beperkend is, lijkt het aanbrengen van de spouwisolatie binnen de bestaande spouw van 50 mm de minst nadelige terugverdientijd. Bij alle andere gevelconstructies is er sprake van een hogere NCC. De R_c -waarde van 1.3 m^2K/W sluit aan bij de huidige wettelijke eis.

Daken

Bij vervanging van isolatie in daken zijn hellende daken vanuit kostenoptimaliteit bepalend voor generieke eisen aan daken. Bij isolatie aan de buitenzijde van hellende daken ligt de minst nadelige terugverdientijd bij een R_c -waarde van ongeveer 2.0 m^2K/W . Dit sluit aan bij de huidige wettelijke eis van 2,0 m^2K/W .

Kozijnen

Bij vervanging van kozijnen bij woningen ligt de minst nadelige terugverdientijd bij HR beglazing. Dit sluit aan bij de eis van U -waarde $< 2,2 W/m^2K$ die momenteel van kracht is.

Conclusie

Geconcludeerd wordt dat de huidige wettelijke eisen bij vervanging van isolatie of kozijnen aansluiten bij de in deze studie vastgestelde minst nadelige terugverdientijden van de onderzochte maatregelen.

COLOFON

VERSLAGLEGGING KOSTENOPTIMALITEITSSTUDIE

AUTEUR

Marjan Peppelman

ONZE REFERENTIE

E07071.201790

DATUM

13 maart 2018

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
T +31 (0) 88 042 42 42
[Contact](#)
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | december 2022
Publicatienummer: RVO-254-2022/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.