STUDIE NAAR KOSTENOPTIMALE ENERGIEPRESTATIE-EISEN BIJ NIET-RESIDENTIËLE GEBOUWEN

EINDRAPPORT

STUDIE NAAR KOSTENOPTIMALE ENERGIEPRESTATIE-EISEN BIJ NIET-RESIDENTIËLE GEBOUWEN

EINDRAPPORT

Klant :	Vlaams Energieagentschap
Contactpersoon :	Marijke De Meulenaer
Adres :	Graaf de Ferrarisgebouw
	Koning Albert-II-laan 20 bus 17
	B-1000 Brussel
3E Referentie :	PR105398
3E Contact persoon :	Matthijs De Deygere (3E), Egon Troch (Ingenium)
Datum :	19/04/2013
Status :	Finale versie
Classificatie :	Publiek

Volgens de Algemene Voorwaarden van 3E, ontvangt de klant het niet-exclusief, niet-overdraagbaar gebruiksrecht op de door 3E gerapporteerde resultaten, en dit uitsluitend voor interne doeleinden. Tenzij expliciet anders overeengekomen, kan 3E niet verantwoordelijk of aansprakelijk gesteld worden voor de gevolgen van het gebruik door de klant van de resultaten, rapporten, aanbevelingen of andere gegevens door 3E aangeleverd in het kader van een project of bestelling.

info@3E.eu
www.3E.eu

3E nv
Vaartstraat 61
B-1000 Brussel

T +32 2 217 58 68
F +32 2 219 79 89

Fortis Bank 230-0028290-83
IBAN: BE14 2300 0282 9083
SWIFT/BIC: GEBABEBB

RPR Brussel
BTW BE 0465 755 594

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave **3**

Afkortingen en symbolen **8**

1 Samenvatting en conclusies **9**

1.1 Samenvatting en conclusies voor renovatie 9

1.1.1 Performantie gebouwschil bij bestaande gebouwen is bepalend voor het kostenoptimaal E-peil 9

1.1.2 Voorstel energieprestatie-eisen bij renovatie 10

1.2 Samenvatting en conclusies voor nieuwbouw 11

1.2.1 Aanwezigheid actief koelsysteem bepalend voor het kostenoptimaal E-peil 11

1.2.2 PV heeft grote impact op het kostenoptimaal E-peil 11

1.2.3 Voorstel energieprestatie-eisen bij nieuwbouw 12

1.3 Sensitiviteitsanalyses 12

1.3.1 Grote impact van gebouworiëntatie op het kostenoptimaal E-peil 12

1.3.2 Grote impact van het aandeel glasoppervlak op het kostenoptimaal E-peil 13

2 Inleiding **14**

2.1 Het projectteam 14

2.1.1 3E NV 14

2.1.2 Ingenium 14

2.1.3 Academisch team kennisinstellingen 14

2.2 De Europese context 15

2.3 Doelstelling 16

2.4 Methodologie 16

3 Algemene hypothesen **19**

3.1 Inleiding 19

3.2 Evaluatieperiode 19

3.3 Primaire energiefactoren 20

3.4 Algemene economische parameters 20

3.4.1 Inflatie 20

3.4.2 Disconteringsvoet 21

3.4.3 Btw-tarief 21

3.5 Energieprijzen 22

3.5.1 Elektriciteitsprijs 22

3.5.2 Aardgasprijs 23

3.5.3 Stookolieprijs *23*
3.5.4 Pelletprijs *23*
3.6 Energieprijsscenario's 24
3.6.1 Niet-lineaire prijsevolutie *24*
3.6.2 De energieprijscomponenten *27*
3.7 Injectievergoeding 29
3.8 Injectietarief 29
3.9 CO_2-emissiefactoren 29
3.10 CO_2-emissieprijzen 29
3.11 Overheidssteun 30
3.11.1 Groenestroomcertificaten (GSC) *30*
3.11.2 Verhoogde investeringsaftrek *31*
3.11.3 Korting op de onroerende voorheffing *32*
3.11.4 Subsidiëring van AGIOn voor schoolgebouwen *33*

4 Referentiegebouwen **34**
4.1 Achtergrond 34
4.1.1 Renovatie *34*
4.1.2 Nieuwbouw *35*
4.2 Referentie bestaand kantoorgebouw 36
4.2.1 Geometrie *36*
4.2.2 Gebouwschilkarakteristieken *37*
4.3 Referentie bestaand schoolgebouw 43
4.3.1 Geometrie *43*
4.3.2 Gebouwschilkarakteristieken *44*
4.4 Referentie nieuw kantoorgebouw 47
4.5 Referentie nieuw schoolgebouw 52

5 Bouwfysische maatregelen **57**
5.1 Inleiding 57
5.1.1 Bronnen *57*
5.1.2 Kostprijs *57*
5.1.3 Levensduur en onderhoudskost *57*
5.1.4 Algemene uitgangspunten bij de isolatiemaatregelen *58*
5.2 Vloerisolatie 58
5.2.1 Algemeen *58*
5.2.2 Vloerisolatie bij renovatie *59*
5.2.3 Vloerisolatie bij nieuwbouw *59*
5.2.4 Achtergrondinformatie bij vloerisolatie *60*

5.3 Gevelisolatie 60
5.3.1 Algemeen 60
5.3.2 Gevelisolatie bij renovatie 60
5.3.3 Gevelisolatie bij nieuwbouw 61
5.4 Dakisolatie 61
5.4.1 Algemeen 61
5.4.2 Dakisolatie bij renovatie 62
5.4.3 Dakisolatie bij nieuwbouw 62
5.5 Ramen 63
5.5.1 Algemeen 63
5.5.2 Ramen bij renovatie 63
5.5.3 Ramen bij nieuwbouw 63
5.6 Zonnewering 63
5.6.1 Algemeen 63
5.6.2 Varianten zonnewering bij nieuwbouw en renovatie 64
5.7 Bouwknopen 64
5.7.1 Algemeen 64
5.7.2 Bouwknopen bij renovatie 66
5.7.3 Bouwknopen bij nieuwbouw 69
5.8 Luchtdichtheid 69
5.8.1 Algemeen 69
5.8.2 Luchtdichtheid bij renovatie 69
5.8.3 Luchtdichtheid bij nieuwbouw 69

6 Installatietechnische maatregelen 70
6.1 Inleiding 70
6.2 Warmte-opwekking 71
6.2.1 Bestaande gasketel 71
6.2.2 Bestaande stookolieketel 71
6.2.3 Gascondensatieketel 71
6.2.4 Warmtepomp lucht/water 72
6.2.5 Warmtepomp bodem/water 73
6.2.6 Warmtepomp water/water 73
6.2.7 Warmtepomp lucht/lucht 74
6.2.8 Houtpelletketel 75
6.2.9 Stadsverwarming 75
6.2.10 WKK 76
6.2.11 Micro-WKK 77
6.2.12 COP 77
6.2.13 Overzicht varianten warmte-opwekking 77

6.3 Koude-opwekking 78
6.3.1 Luchtgekoelde compressiekoelmachine met EER = 3 78
6.3.2 Compressiekoelmachine met EER > 3 78
6.3.3 Koudeopslag 78
6.3.4 Warmtepomp in zomerbedrijf 79
6.3.5 Grondbuizen 79
6.3.6 Overzicht varianten koude-opwekking 80
6.4 Afgiftesysteem 80
6.4.1 Bestaande ventilo-convectoren 80
6.4.2 Bestaande hoge-temperatuur radiatoren 80
6.4.3 Lage-temperatuur radiatoren 80
6.4.4 Vloerverwarming 80
6.4.5 Koelplafond 81
6.4.6 Lucht 81
6.4.7 Ventilo-convectoren 81
6.4.8 Betonkernactivering 81
6.4.9 Ventilatielucht 82
6.4.10 Overzicht varianten afgifte-systemen 82
6.5 Regeling 83
6.6 Verlichting 84
6.6.1 Geïnstalleerd vermogen 84
6.6.2 Regeling 85
6.7 Ventilatie 86
6.7.1 Ventilatiesysteem 86
6.7.2 Bypass 86
6.7.3 Balans 86
6.7.4 Debietsturing 86
6.8 Thermische zonnepanelen 87
6.8.1 Algemeen 87
6.8.2 Conclusie 87
6.9 Fotovoltaïsche panelen 88

7 Resultaten 89
7.1 Evaluatie voor meerdere objectieven: het Pareto front 89
7.2 Resultaten bestaand kantoorgebouw 92
7.2.1 Scenariokeuze 92
7.2.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten 92
7.2.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten 108
7.2.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten 110
7.2.5 Conclusies bestaand kantoorgebouw 120

7.2.6 Sensitiviteitsanalyses *124*

7.3 Resultaten bestaand schoolgebouw 131

7.3.1 Scenariokeuze *131*

7.3.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten *131*

7.3.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten *138*

7.3.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten *140*

7.3.5 Conclusie bestaand schoolgebouw *146*

7.4 Resultaten nieuw kantoorgebouw 150

7.4.1 Scenariokeuze *150*

7.4.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten *150*

7.4.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten *161*

7.4.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten *164*

7.4.5 Conclusie nieuw kantoorgebouw *171*

7.4.6 Sensitiviteitsanalyses *175*

7.5 Resultaten nieuw schoolgebouw 180

7.5.1 Scenariokeuze *180*

7.5.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten *180*

7.5.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten *184*

7.5.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten *186*

7.5.5 Conclusie nieuw schoolgebouw *191*

8 Referenties **195**

BIJLAGE A Feedback stakeholders **197**

BIJLAGE B Bouwfysische Maatregelen **202**

BIJLAGE C Installatietechnische Maatregelen **215**

BIJLAGE D Resultatentabellen **245**

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

Afkorting/ Symbool	Verklaring
CKM	Compressiekoelmachine
COP	Coefficient Of Performance (van een warmtepomp)
EER	Energy Efficiency Ratio (van een compressiekoelmachine)
E_{prim}	Primair Energieverbruik
GSC	Groenestroomcertificaten
HT	Hoge temperatuur (radiatoren/panelen)
λ-waarde	De warmtegeleidbaarheid (Lambda-waarde) van een (isolatie)materiaal (W/mK)
LT	Lage temperatuur (radiatoren)
PV	Fotovoltaïsche energie
η	Rendement (van een opwekkingsinstallatie)
Ri-waarde	De warmteweerstand (isolerend vermogen) van een isolatiemateriaal i (m^2K/W)
TAK	Totale Actuele Kost (€)
U-waarde	De warmtedoorgangscoëfficiënt (isolatiewaarde) - in deze studie doorgaans gebruikt voor het gehele schildeel (W/m^2K)
VRF	Variable Refrigerant Flow
WKC	Warmtekrachtcertificaten
WKK	Warmtekrachtkoppeling installatie

1 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Het hoofddoel van de opdracht bestaat er in om een gedetailleerde studie op te maken van de kostenoptimaliteit van energieprestatiemaatregelen bij niet-residentiële gebouwen. Dit gebeurt op basis van de EPB-rekenmethodologie en aan de hand van een set van niet-residentiële referentiegebouwen. Op die manier kunnen de kostenoptimale en kostenefficiënte eisenniveaus bepaald worden.

In deze studie worden vier typegebouwen onderzocht: een bestaand kantoorgebouw, een bestaand schoolgebouw, een nieuw kantoorgebouw en een nieuw schoolgebouw. Voor elk typegebouw wordt een referentiegebouw gedefinieerd waarbij rekening gehouden wordt met de typologie van het Vlaamse gebouwenpark en met de verschillende bestemmingen en de aard van de werkzaamheden. Aangezien slecht een beperkt aantal referentiegebouwen bestudeerd werd, dient de lezer resultaten en conclusies met de nodige nuance te lezen.

De evaluatie van de maatregelen(pakketten) in deze studie gebeurt in drie stappen en dit voor elk referentiegebouw. In een eerste stap worden specifieke technische resultaatwaarden berekend op basis van de officiële EPB-rekenmethodologie. Deze resultaatwaarden dienen – samen met de kostdata van de verschillende maatregelen(pakketten) – als input voor de technisch-economische analyse in stap twee. In een derde stap worden ten slotte de kostenoptimale en kostenefficiënte niveaus van energieprestatie geïdentificeerd.

De verschillende maatregelenpakketten worden beoordeeld vanuit twee criteria: economisch (uitgedrukt in totale actuele kost) en energetisch (uitgedrukt in primair energieverbruik, E-peil,...). Via een Pareto analyse worden beide objectieven op een evenwaardige manier ten opzichte van elkaar afgewogen. Pareto analyse laat tevens toe om beide objectieven in één en dezelfde verhelderende grafiek weer te geven.

1.1 SAMENVATTING EN CONCLUSIES VOOR RENOVATIE

1.1.1 Performantie gebouwschil bij bestaande gebouwen is bepalend voor het kostenoptimaal E-peil

Het verschil in gebouwschilkarakteristieken tussen beide ‘bestaande’ referentiegebouwen (kantoor- en schoolgebouw) voor renovatie is bepalend voor de resultaten en conclusies.

De referentie voor het bestaand kantoorgebouw heeft een relatief ‘goede’ gebouwschil. Het gebouw is uitgerust met vloer-, gevel-, en dakisolatie, zij het telkens met minimale isolatiediktes. Die al aanwezige isolatie heeft een sterk negatieve impact op de terugverdientijd van de verschillende isolatiemaatregelen bij renovatie. Hierdoor resulteren isolatiemaatregelen steeds in een hogere totale actuele kost in vergelijking met de referentiecase. Bij dit type gebouwen (met een al redelijk performante gebouwschil) worden dus best eerst de installaties aangepakt. Enige nuancering is hier wel op zijn plaats: het gebruikte rekenmodel op basis van de EPB-rekenmethodologie houdt geen rekening met degradatie, beschadiging, etc. van het bestaande isolatiepakket. Bij een gebouw met een veel minder effectief isolatiepakket zullen de conclusies eerder aansluiten bij deze voor het referentiegebouw zonder isolatie (het bestaand schoolgebouw).

Bij de referentie voor het bestaand schoolgebouw werd – gezien de vooropgestelde leeftijd van het gebouw – verondersteld dat er nergens isolatie aanwezig is. Deze hypothese leidt tot twee belangrijke

conclusies. Ten eerste: quasi alle bouwfysische maatregelen(pakketten) resulteren in een lagere actuele kost dan het behouden van een ongewijzigd referentiegebouw en zijn dus interessant. Ten tweede: voor alle isolatiemaatregelen (vloer, gevel, dak) geldt dat het verschil naar kostenoptimaliteit tussen de isolatiediktevarianten relatief klein is[1]. Ten derde: het isoleren van álle bouwschildelen is economisch interessanter dan het toepassen van de meest optimale isolatiedikte bij renovatie van één bepaald bouwschildeel. De belangrijkste conclusie voor dit type gebouwen (lees: oude gebouwen met weinig of geen isolatie) is dat totaalrenovatie van het gebouw te verkiezen is boven een (stapsgewijze) renovatie van de verschillende gebouwschildelen. Het verschil wordt voornamelijk gemaakt door de toepassing van vloerisolatie[2] en de mogelijkheid om een sterk verbeterde luchtdichtheid te behalen bij een totaalrenovatie.

De verschillen in gebouwschilkarakteristieken tussen beide referentiegebouwen resulteren in sterk uiteenliggende E-peil niveaus voor de kostenoptimale renovatiepakketten. Voor het bestaand kantoorgebouw resulteert het kostenoptimale renovatiepakket in een E-peil van 72. Voor het bestaand schoolgebouw komt het kostenoptimale renovatiepakket overeen met een totaalrenovatie waarbij een E-peil van 49 bereikt wordt.

Het kostenoptimale E-peil bij een (ingrijpende) renovatie hangt sterk af van de bestaande toestand van het betreffende gebouw. Een E-peil eis vastleggen voor ingrijpende renovatie die functie is van die bestaande toestand is praktisch moeilijk haalbaar. Een heel conservatieve E-peil eis is een mogelijk alternatief maar is eerder arbitrair. Daarenboven lijkt een E-peil eis voor ingrijpende renovatie na 2015 slechts een beperkte meerwaarde te hebben. Dit omwille van de combinatie van bestaande eisen voor renovatie (eisen naar U- en R-waarde) en de toekomstige energieprestatie-eisen voor nieuw geplaatste installaties in bestaande gebouwen (opgelegd vanaf 1 januari 2015).

1.1.2 Voorstel energieprestatie-eisen bij renovatie

Qua isolatie liggen de meest kostenefficiënte varianten voor beide gebouwen dicht op elkaar. Concreet stellen we volgende maximale U-waarden voor bij renovatie van een niet-residentieel gebouw:

- U_{gevel} max = 0.24 W/m²K
- U_{dak} max = 0.24 W/m²K
- U_{vloer} max = 0.30 W/m²K

Dit komt neer op de reeds vooropgestelde eisen anno 2014.

Bij gebouwen zonder actieve koeling is bij renovatie van de ramen het plaatsen van drievoudig glas kostenoptimaal. Voor gebouwen die actief gekoeld worden blijken dubbel glas met U_g-waarde = 1.1 W/m²K in combinatie met zonnewering of zonwerend glas met U_g-waarde = 1.0 W/m²K en g-waarde = 0.38 de meest optimale keuzes. Een gedifferentieerde eis voor ramen in functie van de aanwezigheid van actieve koeling is echter weinig wenselijk.

---

[1] Hierbij is het belangrijk op te merken dat er enkel varianten werden beschouwd die resulteren in een U-waarde die kleiner of gelijk is aan het huidige eisenniveau, met uitzondering van spouwmuurisolatie.

[2] Vloerisolatie wordt enkel beschouwd bij een totaalrenovatie.

Voor beide type gebouwen stellen we dan ook volgende maximale U-waarden voor bij renovatie van de ramen:

- U_{glas} max = 1.1 W/m²K
- U_{raam} max = 1.43 W/m²K

In het geval van een totaalrenovatie is voornamelijk de impact van een goede luchtdichtheidswaarde groot. Een luchtdichtheid ≤ 3 m³/(m².h) geldt als richtwaarde voor een kostenoptimale totaalrenovatie.

1.2 SAMENVATTING EN CONCLUSIES VOOR NIEUWBOUW

1.2.1 Aanwezigheid actief koelsysteem bepalend voor het kostenoptimaal E-peil

Het belangrijkste verschil tussen beide 'nieuwbouw' referentiegebouwen is de aanwezigheid van een actief koelsysteem. In tegenstelling tot het referentie schoolgebouw is het referentie kantoorgebouw uitgerust met een actief koelsysteem. Dit uit zich in een voorkeur voor zonwerend glas of dubbel glas met U_g-waarde = 1.1 W/m²K in combinatie met zonnewering bij het kantoorgebouw tegenover drievoudig glas met U_g-waarde = 0.6 W/m²K bij het schoolgebouw.

Door de veronderstelde afwezigheid van een actief koelsysteem ligt het kostenoptimale E- en K-peil bij het schoolgebouw een stuk lager dan bij het kantoorgebouw. Voor het schoolgebouw komt het kostenoptimum overeen met een K-peil van 25 en een E-peil van 41. Voor het kantoorgebouw ligt dit respectievelijk op 39 en 51.

Dit kan mogelijks als argument gebruikt worden om voor enkele specifieke EPB-eisen een opsplitsing te maken tussen gebouwen met actieve koeling (de meeste kantoorgebouwen) en gebouwen zonder actieve koeling (de meeste schoolgebouwen). Voor gebouwen zonder actieve koeling kunnen eventueel strengere eisen worden opgelegd (U_g, U_{raam}, K-peil, E-peil). Eventuele perverse effecten van een dergelijke opsplitsing dienen echter wel vooraf uitvoerig bestudeerd te worden. Het is bijvoorbeeld niet ondenkbaar dat een bouwheer/architect afwijkt van zijn oorspronkelijke plan en overschakelt op actieve koeling om op die manier eventueel strengere eisen voor een gebouw zonder actieve koeling te ontlopen.

1.2.2 PV heeft grote impact op het kostenoptimaal E-peil

Toepassing van fotovoltaïsche energie maakt het heel wat gemakkelijker om een meer ambitieus E-peil te behalen. Voor een totale actuele kost die nauwelijks boven het kostenoptimum ligt, kan dankzij fotovoltaïsche energie een aanzienlijke E-peil puntendaling worden bereikt. Fotovoltaïsche energie is de enige hernieuwbare energietoepassing die (binnen de huidige EPB-rekenmethodologie) de resultaten zo dominant beïnvloedt.

De E-peil puntendaling die kan worden bereikt, is vanzelfsprekend afhankelijk van het specifiek installatiepotentieel voor fotovoltaïsche energie bij het betreffende gebouw. Het plaatsen van een fotovoltaïsche installatie is echter niet altijd mogelijk en/of aangewezen omwille van installatietechnische redenen zoals schaduw en dakbelasting.

De grote impact van fotovoltaïsche energie op het E-peil van een gebouw houdt echter een zeker risico in. Bij een niet-gedifferentieerde E-peil eis (waarbij m.a.w. geen rekening gehouden wordt met het al

dan niet toepassen van fotovoltaïsche energie, zoals vandaag de dag van toepassing) kan de bouwheer kiezen voor een weinig kostenoptimaal maatregelenpakket waarna fotovoltaïsche energie toegepast wordt om aan de E-peil eis te voldoen. Op bouwfysisch vlak wordt dit risico opgevangen door de bestaande eisen voor thermische isolatie (K-peil, U- en R-waarden). Dit kan eventueel worden uitgebreid met een eis naar netto-energiebehoefte (naar analogie met residentiële gebouwen) om luchtdichtheid mee in rekening te nemen. Echter, bij gebrek aan energieprestatie-eisen voor installaties bij nieuwbouw, kan het plaatsen van fotovoltaïsche energie mogelijks gebruikt worden om goedkopere, minderwaardige installaties te plaatsen en alsnog aan de E-peil eis te voldoen.

1.2.3 Voorstel energieprestatie-eisen bij nieuwbouw

Bij nieuwbouw zijn er kleine verschillen tussen beide referentiegebouwen naar kostenoptimale isolatievarianten. Bovendien blijkt dat voor de kostenoptimale isolatievarianten energetisch interessantere varianten bestaan tegen een beperkte meerkost. Bekeken vanuit een energiebesparingsobjectief is het m.a.w. te verantwoorden om af te wijken van het kostenoptimum indien die beperkte meerkost in een significante reductie in energieverbruik resulteert. Bij de hieronder voorgestelde waarden werd rekening gehouden met deze belangrijke nuance.

- U_{gevel} max = 0.24 W/m²K
- U_{dak} max = 0.24 W/m²K
- U_{vloer} max = 0.30 W/m²K
- U_{glas} max = 1.1 W/m²K
- U_{raam} max = 1.43 W/m²K
- K-peil max = 40
- E-peil max = 60 (zie conclusies sensitiviteitsanalyses hieronder)

Net als bij een totaalrenovatie is voornamelijk de impact van een goede luchtdichtheidswaarde groot. Een luchtdichtheid ≤ 3 m³/(m².h) geldt als richtwaarde voor een kostenoptimale nieuwbouw.

1.3 SENSITIVITEITSANALYSES

Belangrijk bij bovenstaande conclusies zijn de resultaten volgend uit de verschillende sensitiviteitsanalyses. Hieronder worden deze met de belangrijkste impact op het kostenoptimaal E-peil besproken.

1.3.1 Grote impact van gebouworiëntatie op het kostenoptimaal E-peil

De oriëntatie van een gebouw heeft een significante invloed op het Pareto front en het kostenoptimum. De precieze impact is afhankelijk van het type gebouw (kantoorgebouw met actieve koeling of schoolgebouw zonder actieve koeling) en de specifieke geometrische eigenschappen van het referentiegebouw. De belangrijkste invloed gaat uit van de zonnewinsten en de resulterende koudevraag.

Voor ons bestaand kantoorgebouw verschuift het kostenoptimum van een E-peil van 72 (voor de referentie noord-zuid oriëntatie) naar een E-peil van 63 (voor een oost-west oriëntatie).

Dit is het gevolg van het feit dat het kostenoptimum verschuift van een variant waarbij dakisolatie de dominante bouwfysische renovatiemaatregel is, naar een variant waarbij dit de renovatie van de ramen wordt. De lagere g-waarde van deze nieuwe ramen heeft een significante impact op de koellasten.

Bij het nieuw kantoorgebouw heeft de oriëntatie een veel kleinere impact op het Pareto front. Het kostenoptimum (en het E-peil van 51 die hiermee overeen komt) blijft ongewijzigd.

1.3.2 Grote impact van het aandeel glasoppervlak op het kostenoptimaal E-peil

Algemeen geldt dat het aandeel glasoppervlak t.o.v. het totaal geveloppervlak de grootste invloed heeft op het kostenoptimaal E-peil. Bij een glasoppervlak dat maar de helft bedraagt van dat van de referentiecase voor het bestaand kantoorgebouw zal het maatregelenpakket dat correspondeert met het kostenoptimum resulteren in een E-peil van 60 (t.o.v. 72 voor de referentiecase). Bij een glasoppervlak die de helft groter is dan dat van de referentiecase zal het kostenoptimum resulteren in een E-peil van 81.

Bij een glasoppervlak dat maar de helft bedraagt van dat van de referentiecase voor het nieuw kantoorgebouw komt het kostenoptimum overeen met een E-peil van 44 (t.o.v. 51 voor de referentiecase). Bij een glasoppervlak die de helft groter is, wordt dat een E-peil van 57.

De relatief lage verhouding glasoppervlak ten opzichte van totaal geveloppervlak bij de referentie voor het nieuwbouw kantoorgebouw is echter minder representatief voor nog steeds heel wat kantoorgebouwen die vandaag de dag gebouwd worden. Gezien de grote impact van deze verhouding op het kostenoptimaal E-peil is het dan ook niet onverstandig om in het kader van een toekomstige verstrenging van dit E-peil af te gaan op het ‘worst-case’ scenario voor het beschouwde referentiegebouw. Dit kostenoptimale E-peil van 57 ligt in lijn met de reeds vooropgestelde E-peil eis anno 2014, zijnde E60.

Op basis van bovenstaande analyses en aangezien bij schoolgebouwen geen actieve koeling wordt toegepast, nemen we aan dat de invloed van variatie naar oriëntatie en glasoppervlak een stuk kleiner is dan bij kantoorgebouwen.

2 INLEIDING

2.1 HET PROJECTTEAM

2.1.1 3E NV

3E is opgericht in 1999 en levert consultancy diensten en software producten. Het biedt oplossingen aan om de prestaties van hernieuwbare energiesystemen te verhogen, het energieverbruik en de interactie met het elektriciteitsnet en de markt te optimaliseren. 3E biedt haar klanten economisch geoptimaliseerde oplossingen in windenergie, zonne-energie, gebouwen en sites, infrastructuur en markten. Dankzij de positie tussen onderzoek en markt, integreren wij de laatste innovaties om onze klanten hoogwaardige expertise en praktische oplossingen te bieden. Het bedrijf is ISO 9001:2008 gecertifieerd sinds 2010 en staat garant voor betrouwbare resultaten en producten.

3E heeft sinds 2005 heel wat beleidsstudies uitgevoerd waarin Pareto analyse als methodologie centraal staat. Zij heeft onder meer opdrachten gerealiseerd voor het VEA, het Waals Gewest en het Brussels Gewest. In dit kader kan worden opgemerkt dat 3E thans een gelijkaardige studie uitvoert (in samenwerking met de Universiteit van Mons) voor het bepalen van de toekomstige energieprestatie-eisen in het Waals gewest.

3E werkt met een internationaal team van meer dan 100 experten vanuit haar hoofdkwartier in Brussel aan projecten in meer dan 30 landen en heeft kantoren in Toulouse, Beijing, Istanbul en Kaapstad.

2.1.2 Ingenium

Ingenium is een ingenieursbureau voor technische uitrusting in gebouwen, dat sinds de oprichting in 1966 zweert bij een holistische en duurzame benadering van relatief complexe systemen als de leef- en werkomgeving van de mens. Ingenium adviseert, bestudeert en ontwerpt de technische uitrusting in zowel bestaande als nieuwe gebouwen en begeleidt de uitvoering ervan op de werf. Na de voltooiing worden de technieken verder opgevolgd en geoptimaliseerd

Het ingenieursbureau heeft een gestage groei gekend en bestaat momenteel uit een team van meer dan 50 ingenieurs, CAD-technici en administratieve ondersteuning. De medewerkers van Ingenium zijn specialisten die samenwerken in een lerende organisatie, waardoor alle medewerkers permanent hun horizon verruimen en hun professionalisme verdiepen. De ploeg heeft een zeer stabiele onderbouw met als gevolg dat er een gezonde leeftijdspiramide aanwezig is, die de ervaring van de eersten koppelt aan de creativiteit en kritische geest van de jongeren.

In meer dan veertig jaar ervaring kan Ingenium bogen op realisaties van technische uitrustingen in de meest diverse gebouwtypes, gaande van culturele centra, schouwburgen, kantoorcomplexen, vakantiecentra, ziekenhuizen, woon- en zorgcentra, congrescentra, scholen, industriële complexen, musea, winkelcentra e.a. Een uitgebreid overzicht is te vinden op www.ingenium.be.

2.1.3 Academisch team kennisinstellingen

3E en Ingenium hebben ervoor geopteerd zich voor deze uitgebreide onderzoeksopdracht te laten bijstaan door een ‘academisch team’ bestaande uit een aantal experten uit de wetenschappelijke wereld. In concreto gaat het om:

- Mieke Deurinck, KU Leuven

- Barbara Wauman, KU Leuven
- Wout Parys, KU Leuven

2.2 DE EUROPESE CONTEXT

De Europese Commissie publiceerde begin 2003 de EPBD-richtlijn[3] die de lidstaten verplicht om initiatieven te nemen om de energieprestaties van gebouwen te verbeteren. In het kader van de omzetting van de voormelde Europese richtlijn werd op 7 mei 2004 het Energieprestatiedecreet[4] bekrachtigd en afgekondigd. Op 11 maart 2005 werd het besluit van de Vlaamse Regering[5] goedgekeurd dat de berekeningswijze en de eisenniveaus vastlegt voor nieuwe en bestaande te renoveren (delen van) gebouwen. Omdat naast het behalen van een goed energieprestatieniveau en een goed isolatieniveau ook de binnenluchtkwaliteit belangrijk is, werden ook eisen op het gebied van gecontroleerde ventilatie opgelegd. De Vlaamse energieprestatieregelgeving is sinds 1 januari 2006 in voege.

Het oorspronkelijke Energieprestatiedecreet met bijhorende besluiten werd al meermaals gewijzigd, onder andere met een verstrenging van de EPB-eisen tot gevolg. Op 1 januari 2011 traden het Energiedecreet van 8 mei 2009[6] en het Energiebesluit van 19 november 2010[7] in werking. In de loop van 2011 werden het wijzigingsdecreet van het Energiedecreet[8] en het wijzigingsbesluit van het Energiebesluit[9] goedgekeurd. Hiermee worden o.a. de verdere lijnen uitgezet voor de verstrenging van de EPB-eisen in 2012 en 2014.

---

[3] Richtlijn 2002/91/EG van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2002 betreffende de energieprestaties van gebouwen, PB 4 januari 2003

[4] Decreet van 7 mei 2004 houdende eisen en handhavingsmaatregelen op het vlak van de energieprestaties en het binnenklimaat voor gebouwen en tot invoering van een energieprestatiecertificaat, B.S. 30 juli 2004.

[5] Besluit van de Vlaamse Regering van 11 maart 2005 tot vaststelling van de eisen op het vlak van de energieprestaties en het binnenklimaat van gebouwen, gewijzigd bij besluiten van de Vlaamse Regering van 2 december 2005 en 16 juni 2006

[6] Besluit van de Vlaamse Regering van 11 maart 2005 tot vaststelling van de eisen op het vlak van de energieprestaties en het binnenklimaat van gebouwen, gewijzigd bij besluiten van de Vlaamse Regering van 2 december 2005 en 16 juni 2006

[7] Besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 houdende algemene bepalingen over het energiebeleid, B.S 8 december 2010

[8] Decreet van 18 november 2011 houdende wijziging van het decreet van 8 mei 2009 houdende algemene bepalingen betreffende het energiebeleid. B.S. 15 december 2011

[9] Besluit van de Vlaamse Regering houdende wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 houdende algemene bepalingen over het energiebeleid, B.S. 29 augustus 2011

Op Europees vlak is de tweede EPBD-richtlijn 2010/31/EU[10] inmiddels in de plaats gekomen van de richtlijn 2002/91/EG. De EPBD-richtlijn van 2010 bepaalt o.a. dat in 2021 alle nieuwe gebouwen 'bijna-energieneutrale gebouwen' moeten zijn. Om dit te bereiken dienen de lidstaten een actieplan uit te werken om te zorgen voor een toename van het aantal bijna-energieneutrale gebouwen.

Artikel 4 van de EPBD 2010 bepaalt dat de lidstaten minimale energieprestatie-eisen voor nieuwe en gerenoveerde bestaande gebouwen of gebouwdelen moeten vastleggen met het oog op het bereiken van kostenoptimale niveaus. In artikel 5 van de richtlijn wordt bepaald hoe de lidstaten deze kostenoptimale niveaus dienen te berekenen. Dit dient te gebeuren aan de hand van het vergelijkend methodologisch kader dat door de Commissie vastgelegd wordt in de gedelegeerde verordening van de Commissie van 16 januari 2012.

De resultaten uit deze vergelijking zullen gebruikt worden om de huidige Vlaamse energieprestatie-eisen af te toetsen en indien nodig aan te vullen of bij te sturen met het oog op het bereiken van kostenoptimale niveaus voor elke categorie nieuwe en gerenoveerde bestaande gebouwen.

2.3 DOELSTELLING

In het kader van de uitvoering van de Europese EPBD-richtlijn 2010/31/EU, wenst het Vlaams Energieagentschap inzicht te krijgen in de verhouding van de huidige Vlaamse EPB-eisen tot de kostenoptimale energieprestatieniveaus voor nieuwe en gerenoveerde bestaande gebouwen. Deze studie werd uitgevoerd volgens de methode vastgelegd in de gedelegeerde verordening van de Commissie van 16 januari 2012.

Het hoofddoel van de opdracht bestaat er in een gedetailleerde studie op te maken van de totale kosten (zoals gedefinieerd in de gedelegeerde verordening van de Commissie van 16 januari 2012) t.o.v. het totale primaire energieverbruik, berekend volgens de EPB-rekenmethode, van een aantal energiebesparende maatregelen en/of maatregelenpakketten die op een set van referentiegebouwen en gebouwonderdelen worden toegepast. Op die manier kunnen de kostenoptimale en de kosteneffectieve eisenniveaus bepaald worden.

De verkregen kostenoptimale niveaus worden dan vergeleken met de huidige EPB-eisen, zodat de Vlaamse overheid een pad kan uitwerken om de bestaande energieprestatie-eisen in de toekomst naar de kostenoptimale niveaus te laten evolueren.

2.4 METHODOLOGIE

In wat volgt wordt de methodologie besproken zoals toegepast in deze studie voor het evalueren van de energieprestatiemaatregelen en het bepalen van de kostenoptimale maatregelen(pakketten) voor niet-residentiële gebouwen.

In deze studie worden vier typegebouwen onderzocht, zijnde:

- een bestaand kantoorgebouw;
- een bestaand schoolgebouw;

[10] Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement en de Raad van 19 mei 2010 betreffende de energieprestatie van gebouwen (herschikking), PB 18 juni 2010

- een nieuw kantoorgebouw;
- een nieuw schoolgebouw.

Voor elk typegebouw wordt een referentiegebouw gedefinieerd waarbij rekening gehouden wordt met de typologie van het Vlaamse gebouwenpark en met de verschillende bestemmingen en aard van de werkzaamheden (zie hoofdstuk 4).

De evaluatie van de maatregelen(pakketten) in deze studie gebeurt in drie stappen en dit voor elk referentiegebouw. In een eerste stap worden specifieke technische resultaatwaarden berekend o.b.v. de officiële EPB-rekenmethodologie zoals vastgelegd in bijlage VI bij het Energiebesluit (met laatste wijziging van 28 september 2012). Deze resultaatwaarden dienen – samen met de kostdata voor de verschillende maatregelen(pakketten) – als input voor de technisch-economische analyse in stap twee. In een derde stap worden de kostenoptimale en kostenefficiënte niveaus van energieprestatie geïdentificeerd d.m.v. Pareto analyse. Deze drie stappen worden hieronder verder toegelicht.

Stap 1: berekening technische resultaatwaarden o.b.v. de EPU-rekenmethodologie

Voor het berekenen van de technische resultaatwaarden wordt gebruik gemaakt van een door 3E ontwikkelde EPB-simulatietool die de volledige EPU-rekenmethodologie voor niet-residentiële gebouwen behelst. Elke individuele maatregel en elk maatregelenpakket wordt vervolgens als een simulatielijn uitgeschreven. Voor elke simulatielijn dienen dus de noodzakelijke inputwaarden te worden bepaald. Deze variëren van oppervlaktes, U-waarden, oriëntatie, e.d. voor bouwfysische maatregelen en vermogens, debieten, temperatuurregimes, referentierendementen, e.d. voor installatietechnische maatregelen. De inputwaarden worden per simulatielijn in de EPB-simulatietool ingebracht en doorgerekend o.b.v. de EPU-rekenmethodologie. Ter controle van de goede werking van de simulatietool werden de referentiegebouwen en enkele maatregelenpakketten per referentiegebouw eveneens doorgerekend d.m.v. de officiële EPB-software (versie 1.6.3). De verschillen zijn mininimaal (doorgaans ≤ 2%).

De resultaatwaarden die uiteindelijk gebruikt zullen worden voor de technisch-financiële analyse zijn functie van de specifieke onderzoeksvraag. Dit kunnen resultaatwaarden zijn die ook de officiële EPB-software produceert (bv. maandelijks primair energieverbruik voor verwarming), maar eveneens afgeleide waarden (verbruik vierkante meter verwarmde vloeroppervlakte, verbruik per type energiedrager, etc.) of intermediaire rekenresultaten die niet ‘zichtbaar’ zijn in de officiële EPB-software.

Stap 2: technisch-economische evaluatie

In een tweede stap wordt elke maatregel of maatregelenpakket technisch-economisch geëvalueerd. Hiervoor worden de EPB resultaatwaarden voor elke simulatielijn gekoppeld aan financiële inputdata. O.b.v. een uitgebreid cashflowmodel wordt voor elke simulatielijn een gedetailleerde technisch-economische analyse uitgevoerd.

Het cashflowmodel wordt modulair opgesteld. Dit laat toe om heel gedetailleerd de verschillende kost- en opbrengstposten in het model te integreren. Het laat eveneens toe om de evolutie van verschillende prijsparameters op jaarbasis te laten variëren. Dit kan zowel worden toegepast op algemene economische prijsparameters (zoals de disconteringsvoet) als energieprijzen.

Stap 3: bepalen optimale energieprestatieniveau o.b.v. Pareto analyse

Na de technisch-economische evaluatie van de maatregelen(pakketten) worden de kostenoptimale en kostenefficiënte niveaus van energieprestatie bepaald. Dit gebeurt aan de hand van Pareto analyses waarbij naar verschillende objectieven geoptimaliseerd kan worden. Er worden voor alle referentiegebouwen minstens Pareto analyses uitgevoerd waarbij het totaal primair energieverbruik wordt uitgezet ten opzichte van de totale geactualiseerde kost. Het gebruikte Pareto model laat bovendien toe om voorgaande parameters in één en dezelfde verhelderende grafiek weer te geven.

Het totaal primair energieverbruik volgt uit de EPB-berekening uit stap 1. De totale actuele kost is de som van de investeringen, de herinvesteringen en de energiekosten gedurende de levensperiode van het gebouw. De formule voor de totale actuele kost wordt hieronder weergegeven:

$$TAK = \sum_{t=0}^{GD} k_{(t)} . (1+i)^{-t}$$

Waarbij:

- TAK = Totale Actuele Kost [€]
- t = tijd [jaar]
- GD = gebruiksduur van de investering
- k(t) = jaarlijkse kost: (her)investering + energiekosten – restwaarde [€/jaar]
- i = actualisatievoet [-]

In deze studie gebeurt de evaluatie van de maatregelen(pakketten) in twee opeenvolgende fasen. In een eerste fase worden de verschillende bouwfysische maatregelen(pakketten) geëvalueerd. Na de technisch-economische evaluatie worden o.b.v. de Pareto analyse uit alle mogelijke combinaties een beperkt aantal bouwfysische maatregelen(pakketten) geselecteerd. Deze selectie van maatregelen(pakketten) wordt in een tweede fase gecombineerd met alle mogelijk combinaties van installatietechnische maatregelen(pakketten). Hierop volgt een nieuwe technisch-economische evaluatieronde en Pareto analyse. De maatregelen(pakketten) die uit deze tweede evaluatieronde en Pareto analyse volgen, kunnen vervolgens vertaald worden naar kostenoptimale en kostenefficiënte energieprestatieniveaus.

In overleg met de stakeholders

In het kader van deze studie werd ook een overlegmoment gehouden met de verschillende stakeholders. Tijdens dit overlegmoment werden de methodologie, de referentiegebouwen en de beschouwde maatregelen gepresenteerd. De stakeholders kregen de ruimte om tijdens dit overlegmoment al vragen te stellen. Volgend op dit overlegmoment kregen de stakeholders de mogelijkheid om een meer uitgebreide feedback via het Vlaams Energieagentschap aan 3E-Ingenium te bezorgen. In BIJLAGE A wordt een overzicht gegeven van de feedback ontvangen van de verschillende stakeholders n.a.v. dit stakeholderoverleg en hoe deze feedback al dan niet werd meegenomen in voorliggende studie.

3 ALGEMENE HYPOTHESEN

3.1 INLEIDING

De resultaten van deze studie en de conclusies en aanbevelingen die hieruit volgen, worden in grote mate bepaald door de algemene hypothesen en de beschouwde scenario's. Een goede onderbouwing van deze hypothesen en beschouwde scenario's is dan ook uiterst belangrijk. Deze onderbouwing is het onderwerp van dit hoofdstuk.

3.2 EVALUATIEPERIODE

Paragraaf 4.2 (8) van Bijlage I van de Verordening stelt: [1]

"De lidstaten gaan uit van een calculatieperiode van 30 jaar voor residentiële en openbare gebouwen en een calculatieperiode van 20 jaar voor commerciële, niet residentiële gebouwen."

Voor deze studie gaan we dus uit van een evaluatieperiode van:

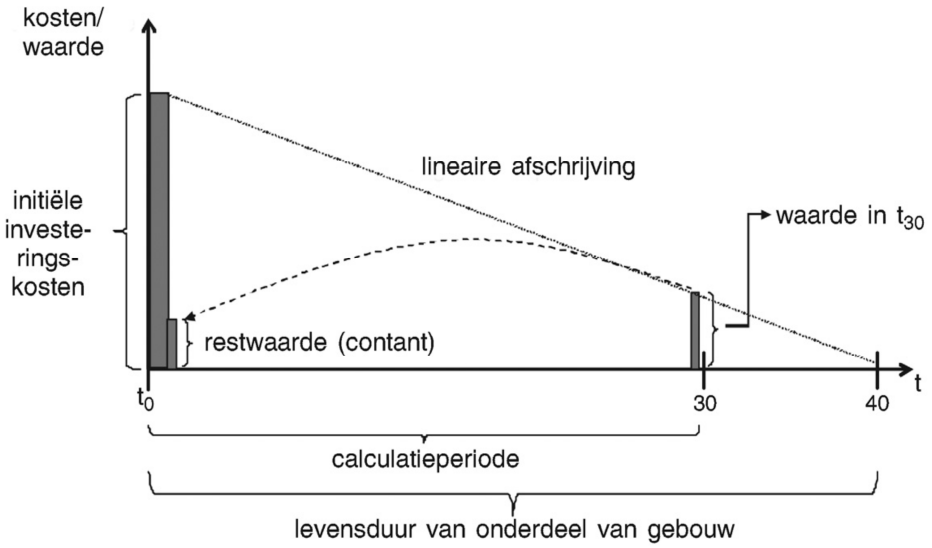
- 20 jaar voor kantoorgebouwen;
- 30 jaar voor schoolgebouwen.

De levensduur van een maatregel zal echter zelden precies gelijk zijn aan de evaluatieperiode.

- Indien de levensduur van de maatregel korter is dan de evaluatieperiode wordt een herinvestering verondersteld.
- Indien de levensduur van de maatregel langer is dan de evaluatieperiode wordt een restwaarde berekend.

Figuur 1 toont de gebruikte methode wanneer een maatregel een langere levensduur heeft dan de evaluatieperiode. De restwaarde wordt bepaald door middel van een lineaire afschrijving van de initiële investerings- of vervangingskosten van die bepaalde maatregel tot het einde van de evaluatieperiode, verdisconteerd ten opzichte van het begin van de evaluatieperiode. De afschrijvingsperiode wordt gebaseerd op de economische levensduur van de maatregel. [1]

Met een veronderstelde levensduur van veertig jaar en een lineaire afschrijving is de restwaarde na dertig jaar (als hypothetisch voorbeeld van een evaluatieperiode) 25 % van de initiële investeringskosten. Deze waarde moet worden verdisconteerd ten opzichte van het begin van de evaluatieperiode.



Figuur 1: Methode voor de berekening van de restwaarde van een maatregel (onderdeel van het gebouw) dat een langere levensduur heeft dan de evaluatieperiode (calculatieperiode)

3.3 PRIMAIRE ENERGIEFACTOREN

In lijn met de Richtsnoeren bij de Gedelegeerde Verordening [2] dient met betrekking tot de primaire energiefactoren, de verwachte gemiddelde factoren over the volledige evaluatieperiode te worden toegepast.

In voorliggende studie worden volgende primaire energiefactoren gebruikt:

Tabel 1: Primaire energiefactoren van toepassing in voorliggende studie

Energiedrager	Primaire energiefactor
Elektriciteit	2.5
Elektriciteits-productie WKK	1.8
Aardgas	1
Stookolie	1
Biomassa	1

3.4 ALGEMENE ECONOMISCHE PARAMETERS

3.4.1 Inflatie

De kostengegevens voor de initiële investeringskosten, de lopende kosten (o.a. periodieke vervangingen), de energiekosten en de verwijderingskosten (indien van toepassing) worden steeds vermeld als werkelijke kosten exclusief inflatie en conform de Gedelegeerde Verordening [1] ook als dusdanig in de berekeningen meegenomen.

3.4.2 Disconteringsvoet

Conform de Richtsnoeren bij de Gedelegeerde Verordening [2] wordt de disconteringsvoet uitgedrukt in reële termen, dus exclusief inflatie.

Voor de gevoeligheidsanalyse voor de macro-economische berekening dient volgens de Richtsnoeren [2] steeds gebruik te worden gemaakt van een percentage van 3 % (uitgedrukt in reële termen). Dit is in overeenstemming met de geldende richtsnoeren van de Commissie van 2009 op het gebied van effectbeoordelingen, die 3 % voorstellen als een disconteringsvoet die recht doet aan het maatschappelijk perspectief.

Een hogere disconteringsvoet - doorgaans hoger dan 4 % exclusief inflatie - zal een zuiver commerciële, korte termijn benadering van de waardering van investeringen weerspiegelen. Een lagere voet - doorgaans tussen de 2 % en 4 % exclusief inflatie - zal de baten die investeringen in energie-efficiëntie de bewoners van een gebouw tijdens de hele levensduur van de investering brengen, doorgaans nauwer weergeven. De disconteringsvoet zal verschillen van lidstaat tot lidstaat, aangezien de voet tot op zekere hoogte niet alleen beleidsprioriteiten (voor de macro-economische berekening) weergeeft, maar ook andere financieringsomgevingen en hypotheekvoorwaarden.

Gezien het commerciële karakter van kantoorgebouwen werd beslist voor dit type gebouwen een hogere disconteringsvoet te beschouwen dan voor de schoolgebouwen.

Tabel 2 geeft een overzicht van de in de gevoeligheidsanalyses gebruikte disconteringsvoeten.

Tabel 2: Disconteringsvoeten voor de macro-economische en financiële berekeningen

	Laag	Midden	Hoog
Kantoorgebouwen			
• macro-economisch		3%	
• financieel	2%	4%	6%
Schoolgebouwen			
• macro-economisch		3%	
• financieel	1%	3%	5%

3.4.3 Btw-tarief

Voor de maatregelen zoals deze bestudeerd worden in deze studie geldt een btw-tarief van 21% op het investeringsbedrag. Ook voor de kosten met betrekking tot onderhoud is eenzelfde tarief van toepassing. Voor elektriciteit, aardgas en stookolie geldt eveneens een Btw-tarief van 21%. Voor biomassa (pellets) echter wordt een Btw-tarief van 6% gehanteerd. [3]

Btw-tarief bij kantoorgebouwen

BTW is de belasting op toegevoegde waarde voor de eindconsument. Bedrijven kunnen deze belasting recupereren. In onze berekeningen voor kantoorgebouwen wordt de BTW (zowel op het investeringsbedrag, de kosten voor onderhoud als de energiekosten) dan ook buiten beschouwing gelaten.

Btw-tarief bij schoolgebouwen

Sommige gemeentescholen zitten in het patrimonium van een gemeentelijk autonoom bedrijf waardoor, net als bij bedrijven, de BTW kan worden gerecupereerd. Ook bij de PPS-constructies die momenteel worden opgestart kan de BTW worden gerecupereerd. Uit overleg met Agion blijkt echter dat het merendeel van de toekomstig te bouwen en te renoveren schoolgebouwen nog steeds onder het normaal btw-tarief valt en dus onderhevig is aan 21% BTW.

3.5 ENERGIEPRIJZEN

Voor de elektriciteits- en aardgasprijzen baseren we ons op data van Eurostat [4]. De prijzen worden opgesplitst naargelang de verbruikscategorie. Er wordt tevens een onderscheid gemaakt naar prijzen exclusief taksen (van toepassing voor de berekeningen in het macro-scenario), exclusief BTW (van toepassing voor de financiële berekeningen bij kantoorgebouwen) en inclusief BTW (van toepassing voor de financiële berekeningen bij schoolgebouwen). Voor deze studie gebruiken we de prijsgegevens van toepassing op de eerste helft van 2012 zoals weergegeven in onderstaande tabellen.

Naargelang de (combinatie van) maatregel(en) die voor een bepaalde simulatie wordt doorgerekend, varieert het elektriciteits- en gasverbruik. Voor elke simulatie afzonderlijk worden op basis van deze verbruiken de verbruikscategorieën en de hiermee overeenkomstige energieprijzen bepaald.

De bepaling van de verbruikscategorie voor elektriciteit gebeurt op basis van het netverbruik. Er wordt m.a.w. rekening gehouden met de eventuele productie van elektriciteit door een PV- en/of WKK-installatie.

3.5.1 Elektriciteitsprijs

Tabel 3 geeft een overzicht van de gebruikte elektriciteitsprijzen voor de niet-residentiële sector

Tabel 3: Elektriciteitsprijzen niet-residentiële sector [4]

Verbruiks-categorie	Verbruik (jaar)	Prijs 2012 excl. taksen	Prijs 2012 excl. BTW
IA	< 20 MWh	0.1656 €/kWh	0.1803 €/kWh
IB	20 MWh < x < 500 MWh	0.1321 €/kWh	0.1456 €/kWh
IC	500 MWh < x < 2,000 MWh	0.0950 €/kWh	0.1076 €/kWh
ID	2,000 MWh < x < 20,000 MWh	0.0886 €/kWh	0.1000 €/kWh
IE	20,000 MWh < x < 70,000 MWh	0.0706 €/kWh	0.0803 €/kWh
IF	70,000 MWh < x < 150,000	0.0685 €/kWh	0.0771 €/kWh

	MWh

3.5.2 Aardgasprijs

Tabel 4 geeft een overzicht van de gebruikte aardgasprijzen voor de niet-residentiële sector.

Tabel 4: Aardgasprijzen niet-residentiële sector [4]

Verbruiks-categorie	Verbruik (jaar)	Prijs 2012 excl. taksen	Prijs 2012 excl. BTW
I1	< 1,000 GJ	0.0532 €/kWh	0.0555 €/kWh
I2	1,000 GJ < x < 10,000 GJ	0.0422 €/kWh	0.0445 €/kWh
I3	10,000 < x < 100,000 GJ	0.0330 €/kWh	0.0347 €/kWh
I4	100,000 < x < 1,000,000 GJ	0.0276 €/kWh	0.0287 €/kWh
I5	1,000,000 < x < 4,000,000 GJ	0.0271 €/kWh	0.0278 €/kWh

3.5.3 Stookolieprijs

Voor de stookolieprijzen baseren we ons op data van de Federale Overheidsdienst Economie, via de be.STAT module [5]. De prijzen worden opgesplitst naargelang aankoopcategorie. Analoog met de prijzen voor elektriciteit en aardgas beschouwen we een gemiddelde prijs voor de eerste helft van 2012 (Tabel 5).

Voor verdere omzetting gebruiken we volgende algemene parameterwaarden:

- soortelijke massa stookolie = 0.870 kg/l
- bovenste verbrandingswaarde = 44.393 MJ/kg

Tabel 5: Stookolieprijs niet-residentiële sector [5]

Aankoopcategorie	Prijs 2012 excl. BTW
< 2,000 liter	0.7583 €/l 0.0707 €/kWh
> 2,000 liter	0.7368 €/l 0.0687 €/kWh

3.5.4 Pelletprijs

Voor de pelletprijs baseren we ons op een eigen recente rondvraag voor DINplus pellets (Tabel 6). Voor verdere omzetting gaan we uit van een energie-inhoud van de pellets van 18 MJ/kg. Dit is de minimale energie-inhoud om het DINplus label te ontvangen.

Tabel 6: Pelletprijs niet-residentiële sector

Aankoopcategorie	Prijs 2012 excl. BTW
> 1 ton	0.0490 €/kWh

3.6 ENERGIEPRIJSSCENARIO'S

We voeren sensitiviteitsanalyses uit op de resultaten van de verschillende referentiegebouwen voor drie energieprijsscenario's, zijnde:

- een 'laag' energieprijsscenario waarbij de prijzen van alle energiedragers bevroren worden (0% stijging);
- een niet-lineair energieprijsscenario met specifieke prijsevoluties voor de verschillende energiedragers;
- een 'hoog' energieprijsscenario waarbij op de prijzen van alle energiedragers een lineaire stijging van 3.5% wordt toegepast.

Deze prijsevoluties zoals hierboven beschreven staan los van de algemene inflatie (die in onze berekeningen buiten beschouwing wordt gelaten) en zijn enkel van toepassing op de energieproductiecomponent van de energieprijs (zie 3.6.2).

Algemeen geldt dat we binnen één scenario dezelfde escalatiepercentages toepassen voor zowel elektriciteitsafname als -injectie.

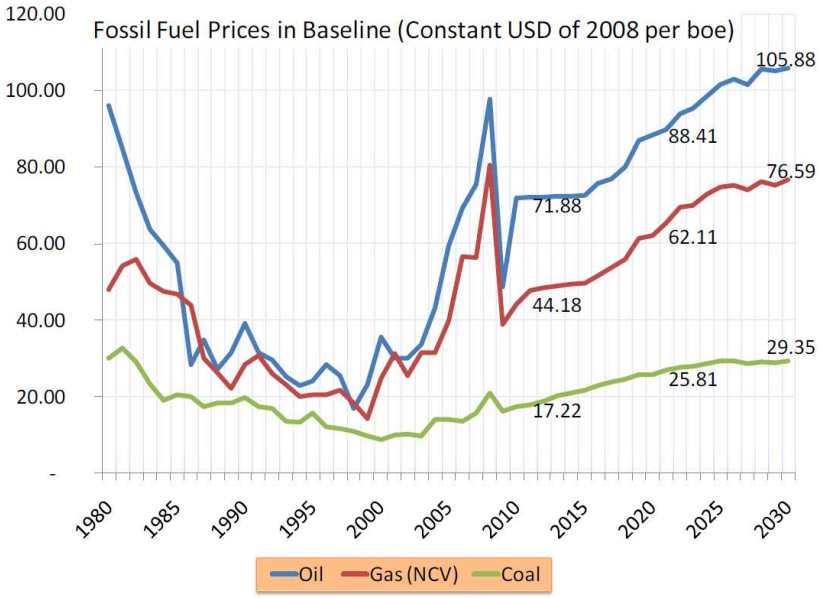
3.6.1 Niet-lineaire prijsevolutie

Bijlage II van de Verordening [1] stelt:

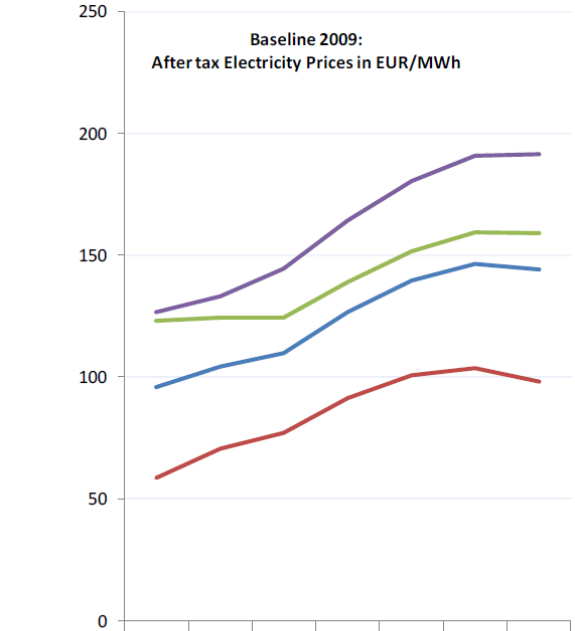
"Voor hun berekeningen kunnen de lidstaten rekening houden met de geraamde prijsontwikkelingstrends voor brandstof en elektriciteit zoals bepaald door de Europese Commissie op een tweejaarlijks bijgewerkte basis."

Figuur 2 (gas en olie) en Figuur 3 (elektriciteit) geeft een overzicht van de brondata [6] gebruikt voor deze studie.

Deze brondata wordt geïnterpoleerd en geëxtrapoleerd en in jaarlijkse prijsstijgingspercentages omgezet voor gebruik in de berekeningen (Tabel 7). Voor biomassa gaan we uit van de prijsstijgingspercentages voor olie.



Figuur 2: Brondata prijsevolutie fossiele brandstof volgens het Baseline 2009 scenario (uitgedrukt in $2008/boe) [6]



	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Average	96	104	110	127	140	146	144
Industry	59	71	77	92	101	104	98
Services	123	124	124	139	152	159	159
Households	127	133	144	164	180	191	192

Figuur 3: Brondata prijsevolutie elektriciteit volgens het Baseline 2009 scenario (uitgedrukt in €2005/MWh) [6]

Tabel 7: Jaarlijkse niet-lineaire prijsevolutie, zoals toegepast in de berekeningen en gebaseerd op waarden van de Europese Commissie [6]

Jaar	Olie Biomassa	Gas	Elektriciteit
2012	1.75%	3.09%	2.36%
2013	1.72%	3.00%	2.31%
2014	1.69%	2.91%	2.26%
2015	1.67%	2.83%	2.21%
2016	1.64%	2.75%	1.87%
2017	1.61%	2.68%	1.84%
2018	1.59%	2.61%	1.80%
2019	1.56%	2.54%	1.77%
2020	1.54%	2.48%	1.74%
2021	2.05%	2.42%	0.92%
2022	2.00%	2.36%	0.91%
2023	1.97%	2.31%	0.90%
2024	1.93%	2.26%	0.90%
2025	1.89%	2.21%	0.89%
2026	1.86%	2.16%	0.00%
2027	1.82%	2.11%	0.00%
2028	1.79%	2.07%	0.00%
2029	1.76%	2.03%	0.00%
2030	1.73%	1.99%	0.00%
2031	1.70%	1.95%	0.00%
2032	1.67%	1.91%	0.00%
2033	1.64%	1.88%	0.00%
2034	1.62%	1.84%	0.00%

2035	1.59%	1.81%	0.00%
2036	1.57%	1.78%	0.00%
2037	1.54%	1.74%	0.00%
2038	1.52%	1.71%	0.00%
2039	1.50%	1.69%	0.00%
2040	1.47%	1.66%	0.00%
2041	1.45%	1.63%	0.00%
2042	1.43%	1.60%	0.00%
2043	1.41%	1.58%	0.00%
2044	1.39%	1.55%	0.00%
2045	1.37%	1.53%	0.00%

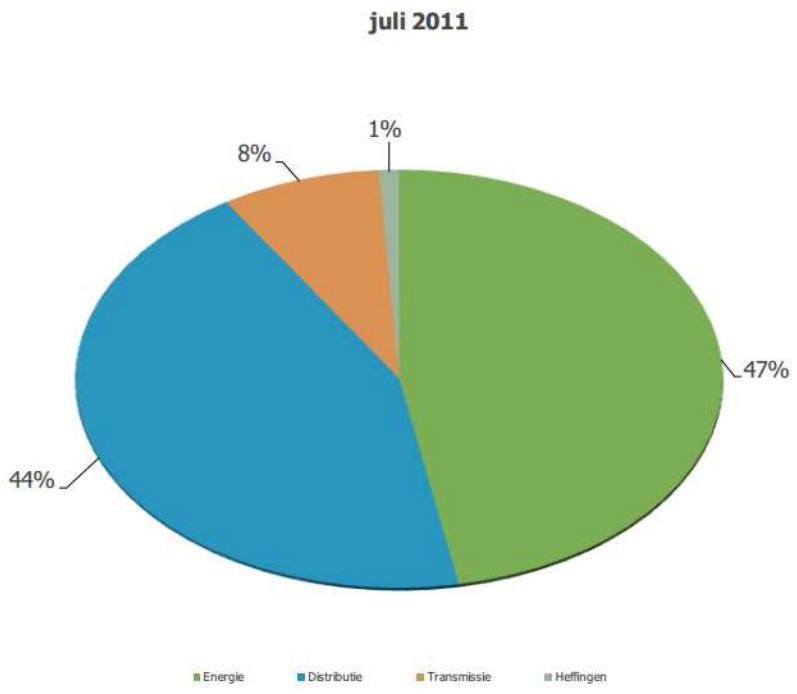
3.6.2 De energieprijscomponenten

De energieprijs bestaat uit volgende componenten:

- Distributie- en transportcomponent: afhankelijk van het distributienet
- Energiecomponent: afhankelijk van de energieleverancier
- Heffingen en toeslagen: afhankelijk van de overheid

De toekomstige energieprijzen zullen uiteraard afhankelijk zijn van de internationale marktsituatie. Binnen de samengestelde prijs beïnvloeden zij voornamelijk de energiecomponent. Er wordt daarom verondersteld dat enkel deze component verandert volgens het aangenomen scenario. De jaarlijkse prijs van de energiecomponent wordt m.a.w. aangepast volgens het prijsscenario van toepassing. De andere prijscomponenten (distributie, transport, heffingen, ...) worden verondersteld mee te stijgen met de algemene inflatie.

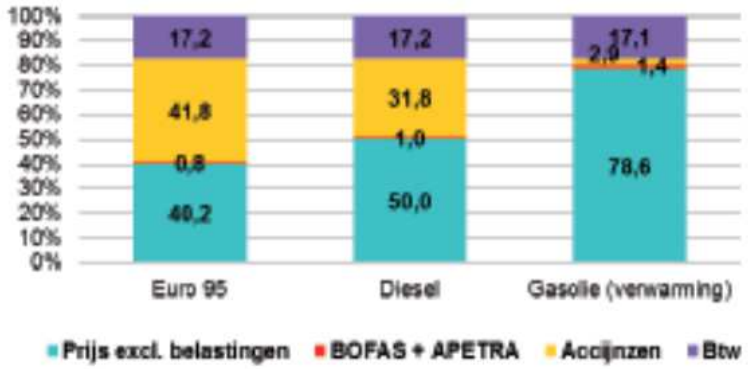
Volgens het Marktmonitor 2011 van de VREG bedraagt voor kleine professionele afnemers de energiecomponent van elektriciteit 47% van de totale elektriciteitsprijs (zie Figuur 4) [7]. Bij gebrek aan data voor grotere afnemers, wordt dezelfde verdeling verondersteld.



Figuur 4: Procentuele verdeling van de onderdelen van de elektriciteitsprijs voor kleine professionele afnemers met een verbruik van 50 MWh [7]

Volgens het Marktrapport 2010 van de VREG bedraagt voor huishoudelijke afnemers de energiecomponent van aardgas 70.5 % van de totale aardgasprijs [8]. Bij gebrek aan data voor grotere afnemers, wordt dezelfde verdeling verondersteld.

Uit Figuur 5 kunnen we de energiecomponent voor stookolie afleiden. Bij een herrekening naar de prijs exclusief BTW bedraagt deze energiecomponent 95%.



Figuur 5: Procentuele verdeling van de onderdelen van de prijs van de belangrijkste olieproducten (Euro 95, diesel 10 ppm, gasolie 1000 ppm) [9]

Volgens het Marktrapport 2010 van de VREG bedraagt de energiecomponent bij biomassa 85% [8].

3.7 INJECTIEVERGOEDING

Elektriciteit opgewekt door hetzij de PV-installatie, hetzij de WKK en die niet ogenblikkelijk ter plaatse wordt verbruikt, wordt in het net geïnjecteerd. Voor installaties groter dan 10kW vergoedt de elektriciteitsleverancier deze geïnjecteerde elektriciteit aan een zogenaamde injectievergoeding. O.b.v. een korte interne en externe rondvraag werd, voor de relatief kleine opwekkingsinstallaties van toepassing in deze studie, de injectievergoeding op 50€/MWh vastgelegd.

Voor de waarde (en dus de vergoeding) van in het net geïnjecteerde elektriciteit beschouwen we hetzelfde escalatiepercentage als voor de afname van elektriciteit (zie paragraaf 3.6).

3.8 INJECTIETARIEF

Sinds 1 juli 2009 rekenen de distributienetbeheerders injectietarieven aan. Het gaat om een tarief dat aangerekend wordt aan de producenten van energie, aangesloten op het distributienet van de distributienetbeheerder, voor zover de injectie afzonderlijk van de afname, wordt gemeten [10].

We gaan er van uit dat, gezien de relatief kleine vermogens van de PV- en WKK-installaties, de injectie steeds gebeurt op het laagspanningsnet (LS). We beschouwen het gemiddelde van de injectietarieven voor 2012 (in €/kWh, exclusief eenmalige jaarlijkse kosten) van toepassing voor de verschillende distributienetbeheerders onder EANDIS. Zo komen we uit bij een gemiddeld injectietarief voor injectie op het laagspanningsnet van 6.65 €/MWh.

3.9 CO_2-EMISSIEFACTOREN

Voor deze studie maken we gebruik van de CO_2-emissiefactoren zoals deze in de EPB-software versie 1.6.3 gebruikt worden, behalve voor elektriciteit. Voor deze energiedrager wordt, op vraag van het Vlaams Energieagentschap, uitgegaan van de CO_2-emissiefactor van het bestaande productiepark voor elektriciteit. Tabel 8 geeft een overzicht van de gebruikte CO_2-emissiefactoren.

Tabel 8: Overzicht CO_2-emissiefactoren zoals gebruikt in de berekeningen

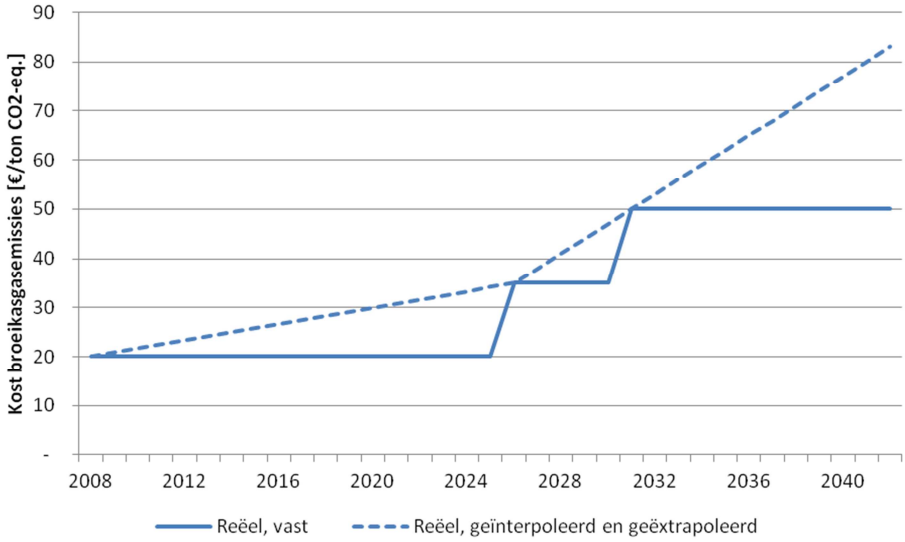
Energiedrager	kg CO_2eq./kWh
Elektriciteit	0.333
Aardgas	0.202
Stookolie	0.263
Pellets	0

3.10 CO_2-EMISSIEPRIJZEN

Wat betreft de berekening van het kostenoptimum op macro-economisch niveau, schrijft de verordening [1] voor dat de kosten van broeikasgasemissies als volgt moeten worden berekend: de som van de jaarlijkse broeikasgasemissies wordt vermenigvuldigd met de verwachte tarieven voor één ton CO_2 -equivalent in het kader van de periodiek uitgereikte broeikasgasemissierechten. Hierbij wordt initieel een benedengrens gehanteerd van minimaal 20 EUR per ton CO_2 -equivalent in het tijdvak tot en met 2025, 35 EUR in het tijdvak tot en met 2030 en 50 EUR na 2030, dit in overeenstemming met

de huidige door de Commissie verwachte koolstoftariefscenario's in het emissiehandelssysteem (gemeten in reële en constante prijzen voor 2008, aan te passen aan de gekozen berekeningsdata en -methodologie)[11]. Telkens wanneer een herziening van de berekeningen naar kostenoptimaliteit wordt uitgevoerd, moeten geactualiseerde scenario's worden gehanteerd. [2].

Aangezien de huidige CO_2-emissierechten ver onder de 20 €/ton worden verkocht, volgen we de benedengrens, zoals getoond als "Reëel, vast" in Figuur 6.



Figuur 6: Prijs CO_2-emissierechten zoals toegepast in voorliggende studie (Reëel, vast)

3.11 OVERHEIDSSTEUN

Gezien de belangrijke recente wijzigingen in de ondersteuning van groene stroom- en warmtekrachtprojecten, gebruiken we uitzonderlijk begin 2013 als referentie (ten opzichte van midden 2012 voor alle overige inputs). Onderstaande vormen van overheidssteun worden enkel meegenomen in de micro (financiële) berekeningen mét overheidssteun.

3.11.1 Groenestroomcertificaten (GSC)

Voor nieuwbouw geldt binnenkort een verplicht aandeel hernieuwbare energie. De ondersteuning d.m.v. GSC wordt voor die categorie geschrapt. Daarom worden GSC niet meegerekend bij de nieuwbouw berekeningen. Voor renovatie rekenen we wel nog groenestroomcertificaten in bij de berekeningen mét overheidssteun.

Vanaf 1 januari 2013 krijgt elke technologie niet langer 1 GSC per 1000 kWh opgewekte elektriciteit, maar meer of minder certificaten in functie van de berekende "bandingfactor". Dat is een

[11] De huidige CO_2-prijs ligt momenteel een stuk lager dan de vooropgestelde minimumprijs in het tijdvak tot en met 2025 [11]. De Richtsnoeren [2] vereisen echter dat we minimaal uitgaan van de in de Verordening opgelegde CO_2-prijzen.

vermenigvuldigingsfactor op basis van de verhouding tussen de nodige “onrendabele top” (OT) en een vaste prijs, nl. de “banding deler” van 97 €. Een minimumprijs van 93 € geldt als vangnet. De bandingfactor is dus het aantal ontvangen certificaten per MWh en ligt vast voor de projectperiode [12].

Voor de ondersteuning van zonnepanelen d.m.v. groenestroomcertificaten baseren we ons op de waarden in Tabel 9. In realiteit wordt voor installaties vanaf 2013 de bandingfactor jaarlijks aangepast wanneer de reëele evolutie in elektriciteitsprijs afwijkt van het oorspronkelijk vooropgesteld evolutiepad (welliswaar rekening houdend met een bepaalde drempelwaarde die overschreden moet worden alvorens een aanpassing wordt doorgevoerd). Om tot een aangepaste bandingfactor te komen dienen echter extra berekeningen te worden uitgevoerd a.d.h. van een specifiek rekenmodel. In het licht van deze studie wordt deze detaillering als weinig relevant geëvalueerd. Daarom wordt voor deze studie steeds uitgegaan van een constante bandingfactor.

Tabel 9: Overzicht ondersteuning zonnepanelen vanaf 2013 zoals gebruikt in de berekeningen

PV vermogen categorie	Onrendabele Top (€/MWh)	Banding Factor	Minimumprijs (€/MWh)	Minimumsteun (€/MWh)
≤ 10 kW	22.6	0.23	93	21.4
> 10 en ≤ 250 kW	61.3	0.63	93	58.6
> 250 en ≤ 750 kW	47.8	0.49	93	45.6

Voor deze studie zijn de steunbedragen van 21.4 €/MWh (voor installaties ≤ 10 kW) en 58.6 €/MWh van toepassing.

We gaan er van uit dat bij een herinvestering in een hernieuwbare energietechnologie ondersteuning niet langer noodzakelijk is om deze technologieën rendabel te maken.

3.11.2 Verhoogde investeringsaftrek

Ondernemingen die het energetisch rendement van bestaande installaties verbeteren of het gebruik van hernieuwbare energiebronnen bevorderen en stimuleren krijgen de mogelijkheid hun belastbare winst te verminderen met een verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen. De aftrek wordt verricht op de winst van het belastbaar tijdperk tijdens hetwelk de vaste activa zijn verkregen of tot stand zijn gebracht. Voor de energiebesparende investeringen, gedaan tijdens het belastbaar tijdperk dat aan aanslagjaar 2013 (inkomsten 2012) verbonden is, is er een verhoogde aftrek van 15,5%. De verhoogde investeringsaftrek is enkel van toepassing op ondernemingen die belast worden op hun winst. In het kader van deze studie passen we de verhoogde investeringsaftrek m.a.w. enkel toe bij kantoorgebouwen (en niet bij schoolgebouwen).

Voor de eenvoud gaan we steeds uit van een niet gespreide aftrek waarbij we ook veronderstellen dat toekomstige (her)investeringen van eenzelfde tarief voor verhoogde investeringsaftrek kunnen

[12] De bandingfactor zal jaarlijks worden geëvalueerd in functie van de evolutie van de elektriciteitsprijzen.

genieten. De belasting op de ondernemingswinst bedraagt gemiddeld 34%. Voor de verhoogde investeringsaftrek resulteert dit in een aftrekpercentage van 5.27% (zijnde 15.5% * een gemiddelde bedrijfsbelasting op winst van 34%).

We gaan uit van een maximale verhoogde investeringsaftrek van toepassing voor volgende maatregelen

- Categorie 1: Beperking van de energieverliezen in bestaande gebouwen of in bestaande broeikassen
- Categorie 7: Warmte-kracht-koppelingsapparatuur
- Categorie 8: Verbrandings-, verwarmings-, klimatiserings- en verlichtingsapparatuur
- Categorie 10: productie en gebruik van energie door chemische, thermochemische of biochemische omzetting van biomassa en afvalstoffen
- Categorie 11: energieproductie op basis van hernieuwbare energieën

Bij het merendeel van deze categorieën dient het om een vervangingsinvestering te gaan; de verhoogde investeringsaftrek is dan m.a.w. enkel van toepassing bij renovatie. Wanneer er een wettelijke eis is (bv. een U-waarde eis voor een schildeel bij een EPB-plichtige renovatie) is de verhoogde investeringsaftrek niet van toepassing.

3.11.3 Korting op de onroerende voorheffing

Gebouwen die EPB-plichtig zijn en een stedenbouwkundige vergunning vanaf 1 januari 2013 aanvragen, genieten bij een laag E-peil van een korting op de onroerende voorheffing gedurende de eerste 5 jaren. Deze termijn van 5 jaar start in het jaar dat volgt op het jaar waarin het lage E-peil berekend volgens de energieprestatie (EPB) regelgeving voor de eerste keer werd toegekend aan het onroerend goed [11].

De kadastrale inkomens en de hierop gebaseerde onroerende voorheffing variëren sterk tussen verschillende gebouwen afhankelijk van de locatie, het type gebouw, etc.

Voor deze studie gaan we uit van een onroerende voorheffing van 8.50 €/m² gebruiksoppervlakte. Deze waarde werd afgeleid uit een lijst met het kadastraal inkomen en de onroerende voorheffing van toepassing voor verschillende gebouwen op uiteenlopende locaties.

Wie komt in aanmerking

De vermindering op de onroerende voorheffing komt toe aan diegene die op 1 januari van het aanslagjaar houder is van het zakelijk recht als belastingplichtige voor de onroerende voorheffing met alle hieraan verbonden gevolgen op het gebied van de invordering van eventueel niet betaalde schulden ter zake. Schoolgebouwen worden automatisch vrijgesteld van onroerende voorheffing indien zij aan een aantal basisvoorwaarden voldoen[13]. Voor deze studie wordt de korting op de onroerende voorheffing m.a.w. enkel beschouwd bij kantoorgebouwen.

[13] http://www.ond.vlaanderen.be/wetwijs/thema.asp?id=73

Wat komt in aanmerking

De maatregel voor de verlaging van de onroerende voorheffing is enkel van toepassing op nieuwe gebouwen met een stedenbouwkundige vergunning vanaf 1 januari 2006. Voor gebouwen waar de EPB-regelgeving van toepassing is, wordt er een E-peil berekend. Voor dergelijke gebouwen moet een EPB-aangifte door een EPB-verslaggever ingediend zijn/worden bij het Vlaams Energieagentschap waaruit dit E-peil blijkt.

Het toegekende E-peil moet betrekking hebben op het volledige gebouw. De vermindering kan alleen toegekend worden voor nieuwbouw, herbouw na volledige afbraak of casco verbouwing (ontmanteling). Bij deze laatste wordt de dragende structuur van het gebouw behouden, maar worden de installaties om een specifiek binnenklimaat te verkrijgen en minstens 75% van de gevels vervangen.

Omvang steun

Voor de omvang van de steun beschouwen we een gebouw met stedenbouwkundige vergunningsaanvraag in 2013 en die op 1 januari van het aanslagjaar een E-peil heeft van:

- ten hoogste E50: de vermindering bedraagt 50% van de onroerende voorheffing;
- ten hoogste E30: de vermindering bedraagt 100% van de onroerende voorheffing.

3.11.4 Subsidiëring van AGIOn voor schoolgebouwen

AGIOn subsidieert zowel de renovatie als nieuwbouw van scholen. Voor het basisonderwijs (gewoon en buitengewoon) bedraagt de subsidie 70% van de kosten, voor het secundair onderwijs, internaten, centra voor volwassenenonderwijs en CLB's is de subsidie 60% van de kosten [12].

In het kader van deze studie vertrekken we van volgende aannames:

- Het grote referentie bestaand schoolgebouw is een school voor secondair onderwijs. De subsidie bedraagt bijgevolg 60% van de kosten.
- Het kleinere referentie nieuw schoolgebouw is een school voor basisonderwijs. De subsidie bedraagt bijgevolg 70% van de kosten.

4 REFERENTIEGEBOUWEN

4.1 ACHTERGROND

4.1.1 Renovatie

De site statbel.fgov.be [13] laat toe het bestaand Vlaams tertiair gebouwenpark te categoriseren qua constructieperiode (Tabel 10). De site verstrekt eveneens informatie over het aantal bouwvergunningen voor de niet-residentiële sector tijdens de periode 1996-2010 en dit voor zowel nieuwbouw als renovaties die een bouwvergunning vereisen (Tabel 11). We vereenvoudigen de zaken hier door te stellen dat alle niet-residentiële gebouwen tertiaire gebouwen zijn. Om dubbeltellingen te vermijden, beschouwen we enkel het aantal nieuwbouw gebouwen.

Op basis van beide kan een schatting gemaakt worden van de opdeling van het Vlaams tertiaire gebouwenpark anno 2011 in functie van hun constructieperiode (geaggregeerde cijfers, zie Tabel 12).

Tabel 10: Aantal gebouwen volgens constructieperiode [13]

Constructieperiode	Handelshuizen	Alle andere gebouwen
<1900	21,778	22,436
1900-1918	9,603	9,517
1919-1945	21,113	29,043
1946-1961	15,589	41,761
1962-1970	7,789	49,340
1971-1981	4,992	62,456
>1982	8,132	116,440

Tabel 11: Het aantal bouwvergunningen in de periode 1996-2011 voor de niet-residentiële sector in Vlaanderen (enkel nieuwbouw) [13]

Jaar	Aantal bouwvergunningen
1996	5,146
1997	4,466
1998	4,440
1999	4,438
2000	3,883
2001	3,575
2002	3,067

2003	2,895
2004	3,321
2005	3,274
2006	3,464
2007	3,593
2008	3,824
2009	3,562
2010	3,838
2011	3,674

Tabel 12: Aantal tertiaire gebouwen, onderverdeeld naar constructieperiode (geaggregeerde cijfers)

Constructieperiode	Aantal tertiaire gebouwen
< 1945	113,490
1946-1970	114,479
1971-1990	112,666
1991-2007	64,456
2008-2011	14,898

Hieruit blijkt dat de bulk van de tertiaire gebouwen voor 1990 werd gebouwd. We kunnen er van uit gaan dat, gezien het commerciële karakter, kantoorgebouwen in het algemeen sneller en frequenter gerenoveerd worden dan schoolgebouwen. Voor deze laatste zijn de beschikbare budgetten voor renovatie immers beperkt en zijn de wachttijden voor renovatiedossiers aanzienlijk.

Daarom werd beslist om voor de referentie bestaand schoolgebouw uit te gaan van een ouder, minder energieperformant gebouw in vgl. met de referentie voor het bestaand kantoorgebouw. Dit heeft tevens als voordeel dat de evaluatie, die het onderwerp is van deze studie, wordt uitgevoerd voor verschillende niveaus van energieperformantie van tertiaire gebouwen.

Voor het definiëren van de prestatie-indicatoren qua gebouwschil voor beide type tertiaire gebouwen baseren we ons op gebouwdata uit de Tabula Webtool [14]. Voor het bestaand kantoorgebouw gaan we uit van gebouwschilkarakterisitieken die representatief zijn voor gebouwen opgetrokken in de periode 1971-1990. Voor het bestaand schoolgebouw beschouwen we de periode 1945-1970.

4.1.2 Nieuwbouw

Voor nieuwbouw baseren we ons op gegevens uit de EPB-databank zoals verkregen door het Vlaams Energieagentschap. Dit wordt verder besproken in hoofdstuk 4.4 en 4.5.

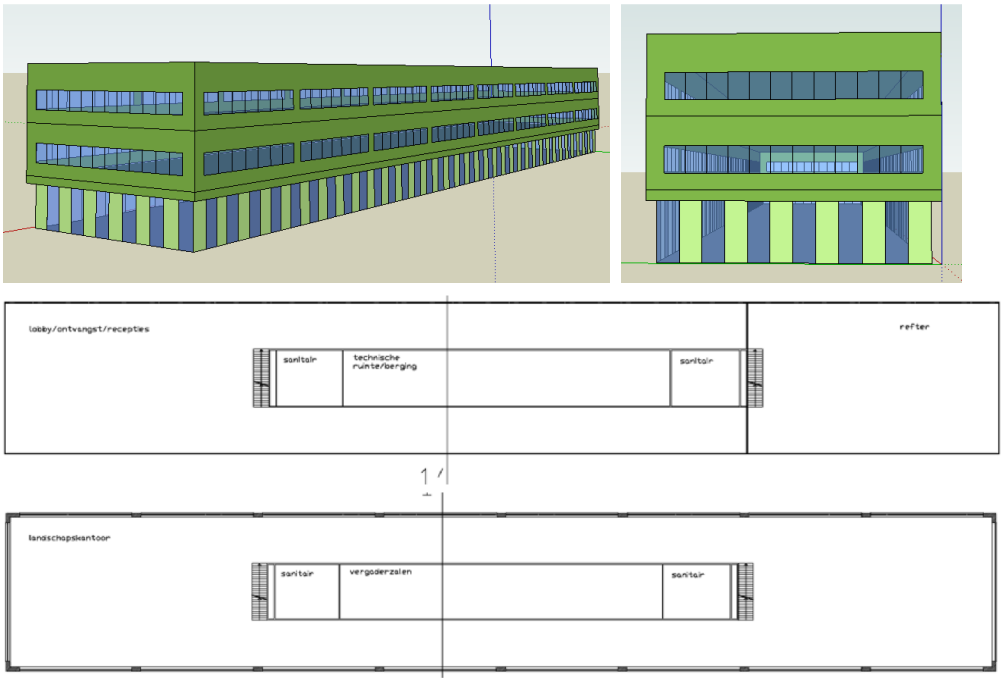
4.2 REFERENTIE BESTAAND KANTOORGEBOUW

4.2.1 Geometrie

De geometrie van het bestaand referentie kantoorgebouw werd afgeleid van de eigenschappen van één van de drie tertiaire gebouwen die werden gedefinieerd en geanalyseerd in het kader van de EPIcool studie [15], nl. het 'klein kantoorgebouw'. Aangezien dit gebouw echter een stuk groter is dan het referentie nieuw kantoorgebouw (zie 4.4) is de benaming 'klein kantoorgebouw' enigszins verwarrend. We zullen in het vervolg dan ook spreken over het 'bestaand kantoorgebouw'

Het bestaand kantoorgebouw is een vrijstaand gebouw, bestaande uit drie bouwlagen.

Figuur 7 geeft een beeld van de precieze geometrie van het gebouw.



Figuur 7: Referentie bestaand kantoorgebouw, gebaseerd op EPIcool [15]

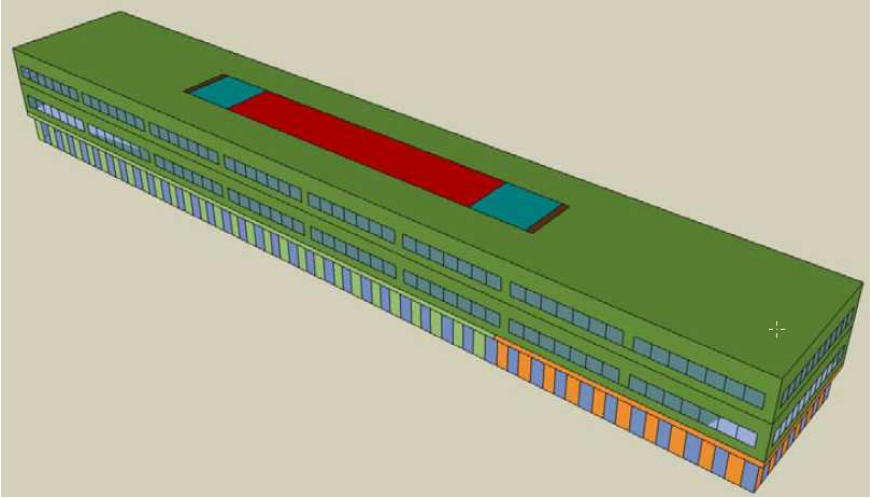
De gevel op de gelijkvloers bestaat voor 50% uit glas en huisvest een cafetaria, een lobby en een centraal gelegen zone met technische ruimtes en sanitair.

De eerste en tweede verdieping zijn quasi identiek en bestaan uit landschap kantoorruimte gelegen in de gevelzones en vergaderzalen en sanitair in de meer centraal gelegen zone.

Figuur 8 geeft een overzicht van deze gebruiksfuncties:

- oranje: cafetaria op het gelijkvloers;
- licht groen: lobby op het gelijkvloers;
- bruin: technische en opslagruimtes, in de centrale zone op het gelijkvloers met verticale schachten over de drie bouwlagen;
- blauw: sanitair, in de centrale zone en identiek op elke verdieping;
- donker groen: landschapskantoor, in de gevelzone op de eerste en tweede verdieping;

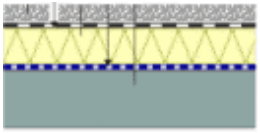
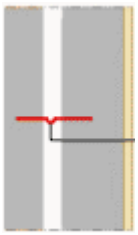
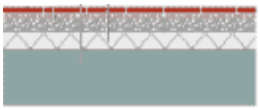
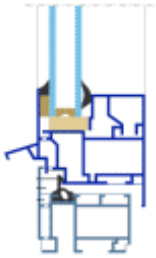
- rood: vergaderzalen, in de centrale zone op de eerste en tweede verdieping (en geflankeerd door de sanitaire zones.



Figuur 8: Situering van de verschillende gebruiksfuncties voor het bestaand kantoorgebouw

4.2.2 Gebouwschilkarakteristieken

De gebouwschilkarakteristieken van het referentie bestaand kantoorgebouw worden gebaseerd op de gebouwschilkarakteristieken van (qua volume en gebruiksoppervlakte gelijkwaardige) appartementsgebouwen opgetrokken tussen 1971 en 1990. Hiervoor baseren we ons onder meer op gegevens uit de TABULA Webtool [14]. Een aantal specifieke gebouwschilkarakteristieken (luchtdichtheid, g-waarde glas, bouwknopen, etc.) worden bijkomend gedefinieerd. Hiervoor worden parameterwaarden gekozen die representatief zijn voor de specifieke bouwperiode en die in lijn liggen met de op basis van de TABULA Webtool gedefinieerde gebouwschilkarakteristieken. Bij gebrek aan beschikbare data werden de installatietechnische karakteristieken bepaald o.b.v. kennis en ervaring binnen 3E/Ingenium.

Dak	Bouwwijze	Plat dak met 4 cm isolatie
	Figuur	
Muur	Bouwwijze	Betonpaneel met 2 cm isolatie
	Figuur	
Vloer	Bouwwijze	Beton met 2 cm isolatie
	Figuur	
Venster	Bouwwijze	Gewoon dubbel glas (4-6-4) Metalen raamkader zonder thermische onderbreking Niet thermisch onderbroken afstandshouders
	Figuur	

Tabel 13 en

Tabel 14 geven een overzicht van respectievelijk de bouwfysische en installatietechnische karakteristieken voor het referentie bestaand kantoorgebouw

Tabel 13: Overzicht van de gebouwschilkarakteristieken voor het referentie bestaand kantoorgebouw

Gebouwschilkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Volume	18,352	m³
Gebruiksoppervlakte	4,403	m²
Warmteverliesoppervlakte	5,895	m²
Compactheid	3.11	m
Oriëntatie	Grootste glaspartijen noord-zuid gericht	
Totaal geveloppervlak (opaak + transparant)	2,694	m²
Totaal glasoppervlak • noord • oost • zuid • west	 313.9 48.4 316.7 48.4	 m² m² m² m²
Ratio glasoppervlak / totaal geveloppervlak	27%	
U-waarde dak (plat dak met 4 cm isolatie)	0.81	W/(m²K)
U-waarde muur (betonpaneel met 2 cm isolatie)	0.95	W/(m²K)
U-waarde vloer volgens gedetailleerde rekenmethode (betonnen vloerplaat met 2 cm isolatie)	0.28	W/(m²K)
U-waarde profiel (metalen profiel zonder thermische onderbreking)	6.12	W/(m²K)
U-waarde glas (gewoon dubbel glas (4-6-4))	3.30	W/(m²K)
Psi-waarde afstandshouder (aluminimum of stalen afstandshouders, niet thermisch onderbroken)	0.02	W/(mK)
Resulterende U-waarde venster	4.12	W/(m²K)
g-waarde venster (gewoon dubbel glas)	0.75	
Luchtdichtheid	12	m³/(h.m²)

Rekenmethode bouwknopen	Methode B + aantal niet EPB-aanvaarde bouwknopen	
K-peil	84	
Gemiddelde U-waarde	1.42	W/(m²K)

Tabel 14: Overzicht van de installatietechnische karakteristieken voor het referentie bestaand kantoorgebouw

Systeemkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Warmtetransport	Water	
Opwekkingstoestel verwarming • Rendement	Niet condenserende gasketel 0.82 BVW (0.74 OVW)	
Koudetransport	Water	
Opwekkingstoestel koeling • Rendement	Compressiekoelmachine 2.0	
Bevochtigingstoestel • Ontwerpdebiet buitenlucht	Stoom bevochtiging (elektriciteit) 16,832	 m³/h
Hulpenergie	Waarden bij ontstentenis	
Ventilatie • Type • Warmteterugwinning	 Vrije toevoer en mechanische afvoer (systeem C) Niet van toepassing	
Verlichting • Vermogen • Aanwezigheidsdetectie • Daglichtsturing	 3.5 Niet van toepassing Niet van toepassing	 W/m².100lux
Zonnewering	Niet van toepassing	
E-peil	203	
E_{prim}	423	kWh/m².jaar

Tabel 15: Overzicht van de installatietechnische karakteristieken voor het referentie bestaand kantoorgebouw (2)

Bestaand kantoorgebouw	Geheel	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
Functie		Cafetaria	Lobby	Technische ruimte	Sanitair	Kantoren	Vergader-zalen
Beschermd volume	18,352 m³	1,292 m³	2,870 m³	712 m³	929 m³	11,006 m³	1,544 m³
Gebruiksoppervlakte	4,403 m²	374 m²	831 m²	201 m²	226 m²	2,410 m²	362 m²
Warmtetransport		water	water	water	water	water	water
Koudetransport		water	water	-	-	water	water
Bezetting		1.5 m²/pers	10 m²/pers	-	-	15 m²/pers	3.5 m²/pers
Minimaal ventilatiedebiet	16,832 m³/h	5,500 m³/h	1,848 m³/h	261 m³/h	3,393 m³/h	3,542 m³/h	2,288 m³/h

4.3 REFERENTIE BESTAAND SCHOOLGEBOUW

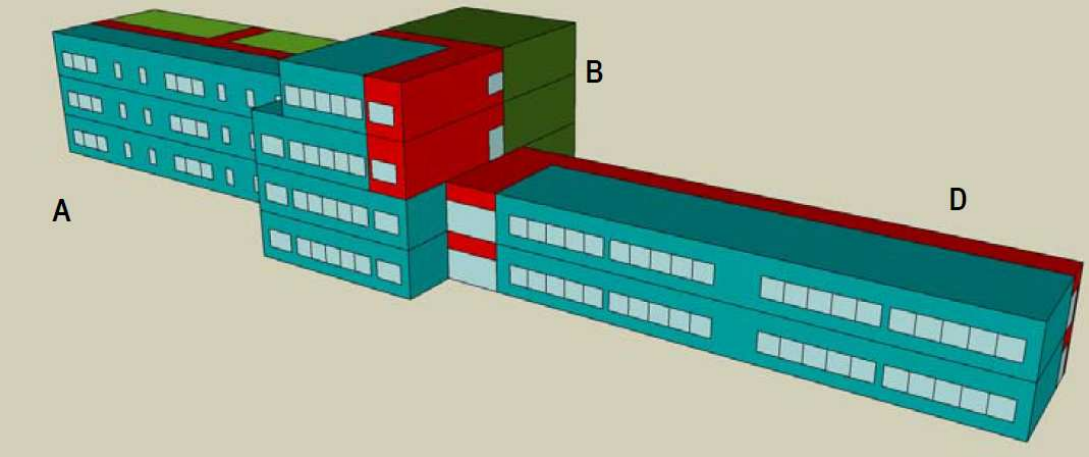
4.3.1 Geometrie

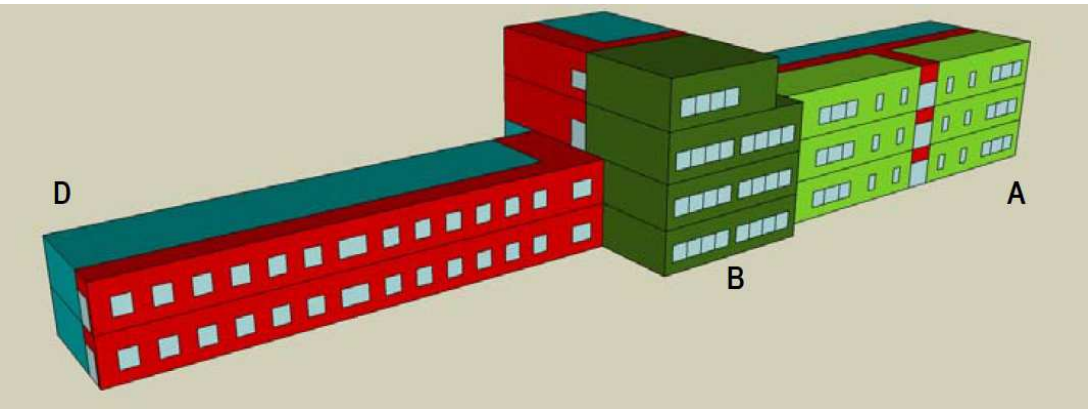
De geometrie van het bestaand referentie schoolgebouw werd afgeleid van de eigenschappen van één van de drie tertiaire gebouwen die werden gedefinieerd en geanalyseerd in het kader van de EPIcool studie [15], nl. het 'groot schoolgebouw'. We zullen in het kader van deze studie spreken over het 'bestaand schoolgebouw'.

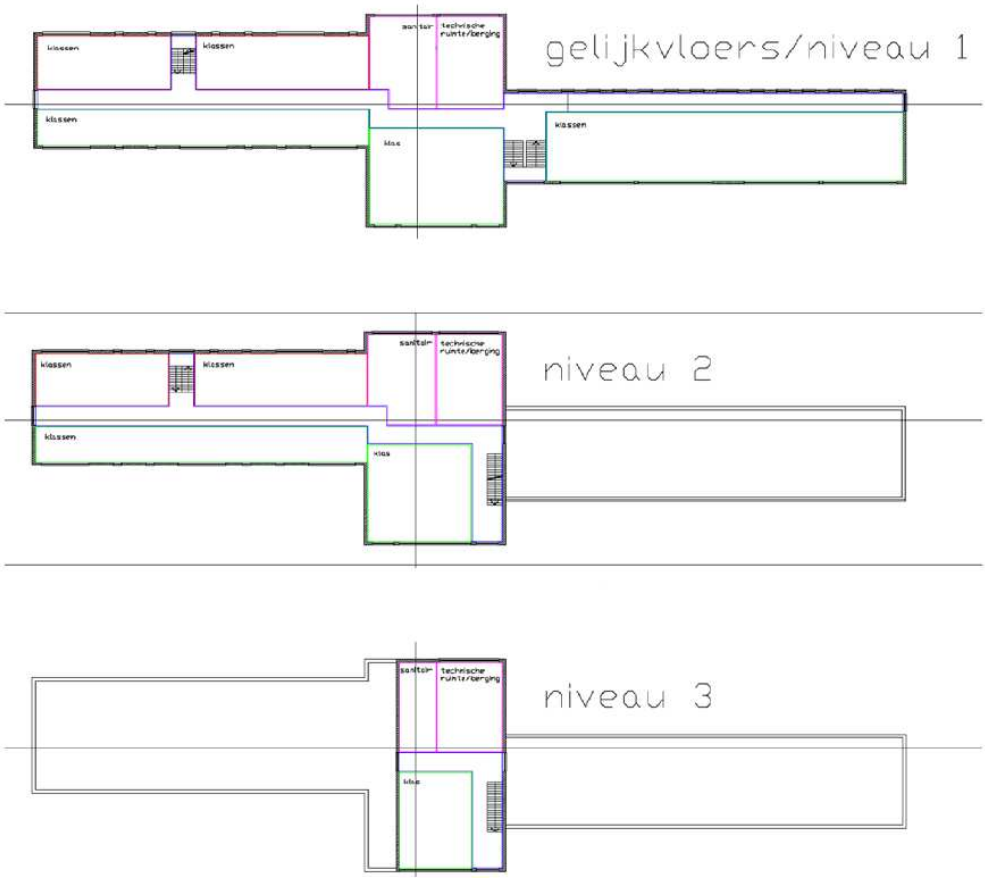
Het bestaand schoolgebouw is een vrijstaand gebouw, bestaande uit verschillende bouwlagen.

Figuur 9 geeft een beeld van de precieze geometrie van het gebouw waarbij we volgende gebruiksfuncties kunnen onderscheiden:

- blauw: klassen (blokken A, B en D);
- lichtgroen: klassen (blok A);
- donkergroen: technische ruimte en sanitair (blok B);
- rood: circulatie (blokken A, B en D).



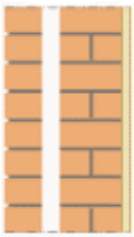
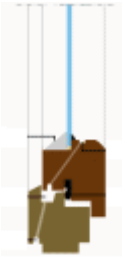




Figuur 9: Referentie bestaand schoolgebouw, gebaseerd op EPIcool

4.3.2 Gebouwschilkarakteristieken

We definiëren onderstaande gebouwschilkarakteristieken voor de referentie bestaand schoolgebouw. Deze zijn gebaseerd op een standaard gebouwstructuur zonder isolatietoepassingen voor een gebouw opgetrokken tussen 1946 en 1970. De waarden werden afgetoetst met de gebouwschilkarakteristieken voor appartementsgebouwen uit dezelfde periode [14]. Een aantal specifieke gebouwschilkarakteristieken wordt bijkomend gedefinieerd (g-waarde glas, etc.) waarbij de waarden in lijn liggen met de al bekende gebouwschilkarakteristieken voor de specifieke constructieperiode. Bij gebrek aan beschikbare data werden de installatietechnische karakteristieken bepaald o.b.v. kennis en ervaring binnen 3E/Ingenium.

Dak	Bouwwijze	Plat dak zonder isolatie (betonstructuur)
	Figuur	
Muur	Bouwwijze	Baksteen Spouwmuur (1ste generatie)
	Figuur	
Vloer	Bouwwijze	Beton
	Figuur	
Venster	Bouwwijze	Enkel glas Houten raamkader
	Figuur	

Tabel 16 en Tabel 17 geven een overzicht van respectievelijk de bouwfysische en installatietechnische karakteristieken voor de referentie bestaand schoolgebouw.

Tabel 16: Overzicht van de gebouwschilkarakteristieken voor de referentie bestaand schoolgebouw

Gebouwschilkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Volume	13,764	m³
Gebruiksoppervlakte	3,419	m²
Warmteverliesoppervlakte	5,112	m²
Compactheid	2.69	m
Oriëntatie	Grootste glaspartijen	

	oost-west gericht	
Totaal geveloppervlak (opaak + transparant)	2,721	m²
Totaal glasoppervlak • noord • oost • zuid • west	 12.6 149.6 12.6 189.1	 m² m² m² m²
Ratio glasoppervlak / totaal geveloppervlak	16.5%	
U-waarde dak	3.49	W/(m²K)
U-waarde muur	1.70	W/(m²K)
U-waarde vloer	2.99	W/(m²K)
U-waarde profiel (metalen profiel zonder thermische onderbreking)	7.12	W/(m²K)
U-waarde glas (dubbel glas (4-6-4))	4.00	W/(m²K)
Psi-waarde afstandshouder (aluminium of stalen afstandshouders, niet thermisch onderbroken)	0.02	W/(mK)
U-waarde venster	5.00	W/(m²K)
g-waarde venster (enkel glas)	0.85	
Luchtdichtheid	12	m³/h.m²
Rekenmethode bouwknopen	Methode B + aantal niet EPB-aanvaarde bouwknopen	
K-peil	187	
Gemiddelde U-waarde	2.92	W/(m².K)

Tabel 17: Overzicht van de systeemkarakterisitieken voor de referentie bestaand schoolgebouw

Systeemkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Warmtetransport	Water	
Opwekkingstoestel verwarming • Rendement	Stookolieketel 0.77 BVW	
Hulpenergie	Waarde bij ontstentenis	
Ventilatie • Type	 Natuurlijke toevoer en afvoer (systeem A)	

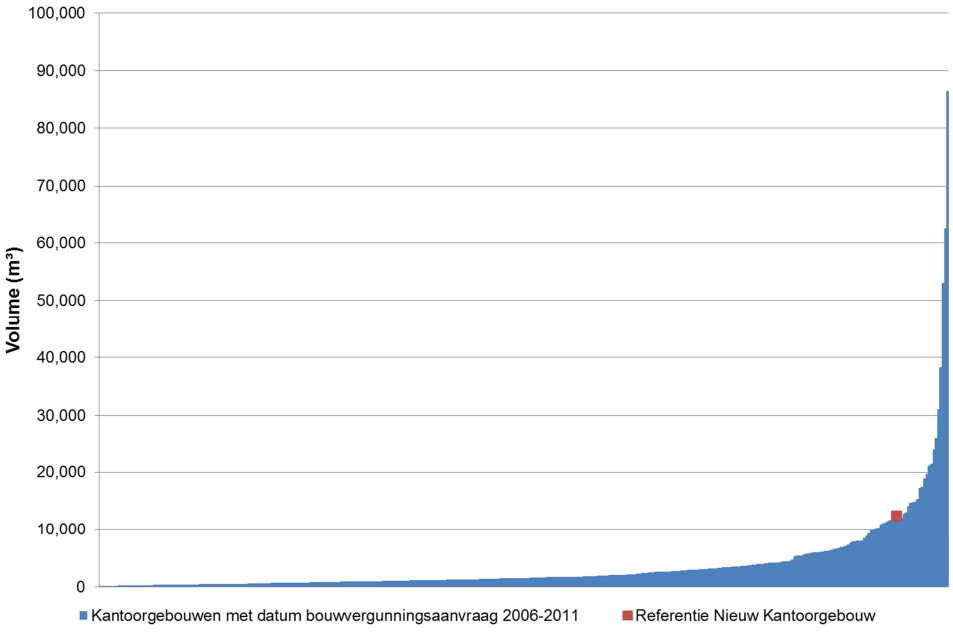
Verlichting • Vermogen • Aanwezigheidsdetectie • Daglichtsturing	 3.5 Niet van toepassing Niet van toepassing	 W/m².100lux
Zonwering	Niet van toepassing	
E-peil	263	
E_{prim}	508	kWh/m².jaar

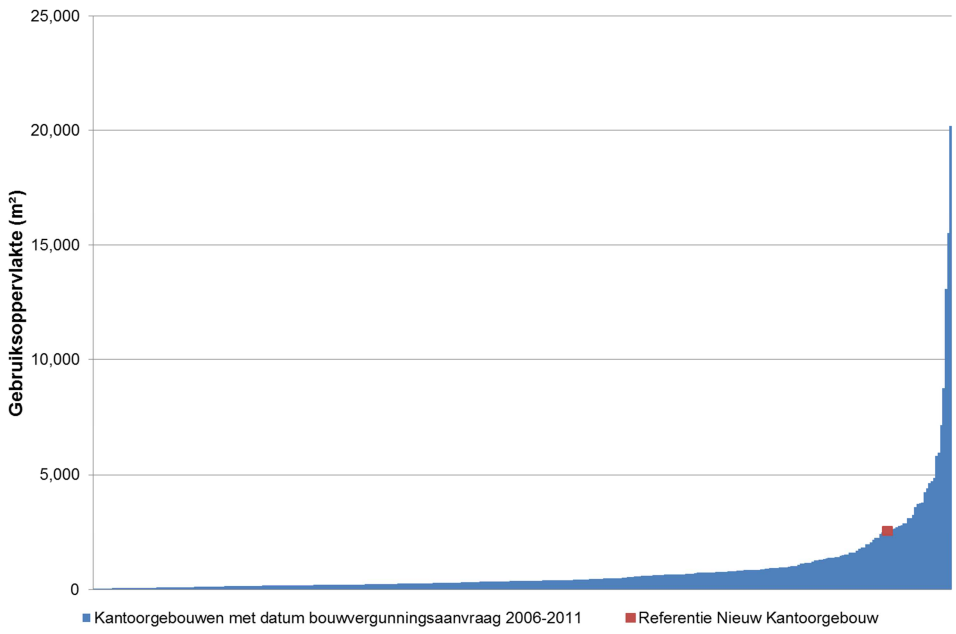
4.4 REFERENTIE NIEUW KANTOORGEBOUW

Via het Vlaams Energieagentschap werd een lijst verkregen met 367 kantoorgebouwen in Vlaanderen, met ontvangstdatum van de EPB aangifte na 4 december 2009. Het jaar van de bouwvergunningsaanvraag varieert hierbij tussen 2006 en 2011. De lijst bevat m.a.w. enkel heel recente kantoorgebouwen.

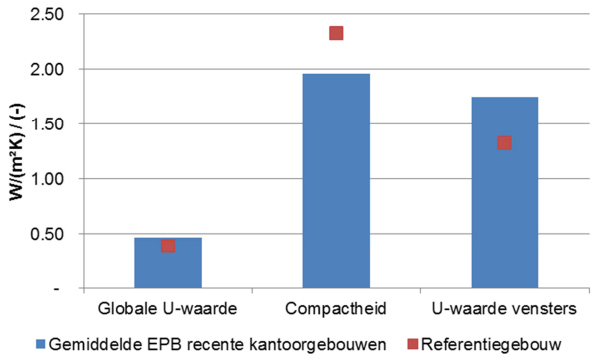
De referentie voor het nieuw kantoorgebouw werd afgeleid van het Greenbridge kantoorgebouw in Oostende. Dit gebouw werd geselecteerd omdat de geometrische gebouwschilkarakteristieken dicht aanleunen bij wat als een gemiddeld kantoorgebouw kan worden beschouwd, hoe moeilijk het ook is om deze laatste te definiëren.

Figuur 10 situeert het referentiegebouw naar volume en gebruiksoppervlakte t.o.v. de gespreide resultaten van de lijst met recente kantoorgebouwen. Figuur 11 situeert het referentiegebouw voor verschillende gebouwkarakteristieken t.o.v. het gemiddelde van de lijst met recente kantoorgebouwen.





Figuur 10: Situering van de referentie nieuw kantoorgebouw naar volume en gebruiksoppervlakte t.o.v. een lijst met 367 recente kantoorgebouwen



Figuur 11: Situering van de referentie nieuw kantoorgebouw voor verschillende gebouwkarakteristieken t.o.v. het gemiddelde voor een lijst met 367 recente kantoorgebouwen

Figuur 12 toont het Greenbridge kantoorgebouw in Oostende. Om als referentiegebouw te fungeren werden volgende aanpassingen doorgevoerd:

- de aanwezige demo-ruimte werd als landschapskantoor ingevuld; en
- de laad-en losruimte werd buiten beschouwing gelaten.

Figuur 12: Het Greenbridge kantoorgebouw in Oostende

De gebouwkarakteristieken worden zodanig bepaald dat het gebouw voldoet aan de huidige (anno 2012) minimale energieprestatie-eisen, zijnde de specifieke U-waarde en R-waarde eisen voor de verschillende gebouwschil delen[14], de K-peil eis (K40) en de E-peil eis (E70). Er wordt zoveel mogelijk uitgegaan van standaard systemen voor warmte- en koude-opwekking, ventilatie, verlichting, etc. Deze worden aangepast om een E70 te verkrijgen. Tabel 18 en Tabel 19 geven een overzicht van respectievelijk de bouwfysische en installatietechnische karakteristieken voor de referentie nieuw kantoorgebouw.

Tabel 18: Overzicht van de gebouwschilkarakteristieken voor de referentie nieuw kantoorgebouw

Gebouwschilkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Volume	12,371	m³
Gebruiksoppervlakte	2,558	m²
Warmteverliesoppervlakte	5,313	m²
Compactheid	2.33	m
Oriëntatie	Grootste glaspartij oost gericht	
Totaal geveloppervlak (opaak + transparant)	1,930.9	m²
Totaal glasoppervlak		
• noord	86.4	m²
• oost	242.2	m²
• zuid	120.0	m²
• west	129.6	m²
Ratio glasoppervlak / totaal geveloppervlak	30%	
U-waarde dak	0.21	W/(m²K)

[14] http://www.energiesparen.be/epb/welkeeisen

U-waarde muur	0.19	W/(m²K)
U-waarde vloer (gedetailleerde berekening)	0.18	W/(m²K)
U-waarde profiel	1.40	W/(m²K)
U-waarde glas	1.00	W/(m²K)
Psi-waarde afstandshouder	0.07	W/(mK)
U-waarde venster	1.33	W/(m²K)
g-waarde venster	0.50	W/(m²K)
Luchtdichtheid	3.0	m³/h.m²
Bouwknopen	Rekenmethode B Enkel EPB aanvaarde bouwknopen	
K-peil	27	
Gemiddelde U-waarde	0.39	W/m².K

Volgende installatietechnische karakteristieken worden gekozen in functie van het uitgangspunt (zijnde een E70 gebouw).

Tabel 19: Overzicht van de installatietechnische karakteristieken voor de referentie nieuw kantoorgebouw

Systeemkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Warmtetransport	Water	
Opwekkingstoestel verwarming • Rendement	Condensatieketel gas 1.07	
Koudetransport	Water	
Opwekkingstoestel koeling • Rendement	Compressiekoelmachine 3.0	
Hulpenergie	> 75% van het opgestelde elektrische vermogen aan pompmotoren in warm- en koudwatercircuits is voorzien van een automatisch werkende toerentalregeling of automatisch werkende aan/uit regeling	
Ventilatie • Type • Warmteterugwinning • By-pass	 D - Mechanische toevoer en afvoer 70% Volledige by-pass	
Verlichting • Vermogen • Aanwezigheidsdetectie • Afwezigheidsdetectie	2.5 Ja Ja Niet van toepassing	W/m².100 lux

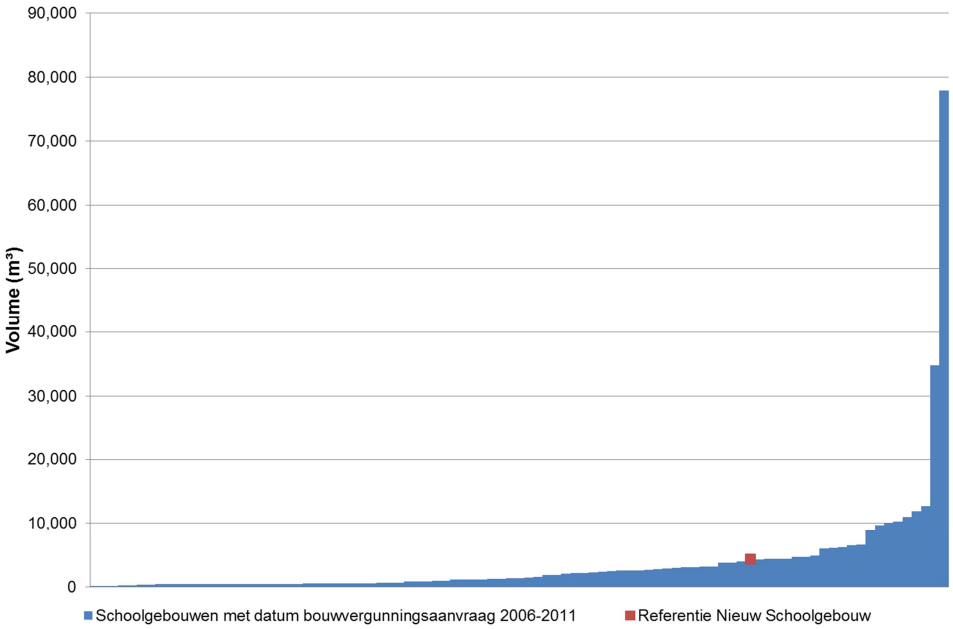
• Daglichtsturing		
Zonnewering	Buitenzonnewering Zonder automatische sturing	
E-peil	70	
E_{prim}	198	kWh/m².jaar

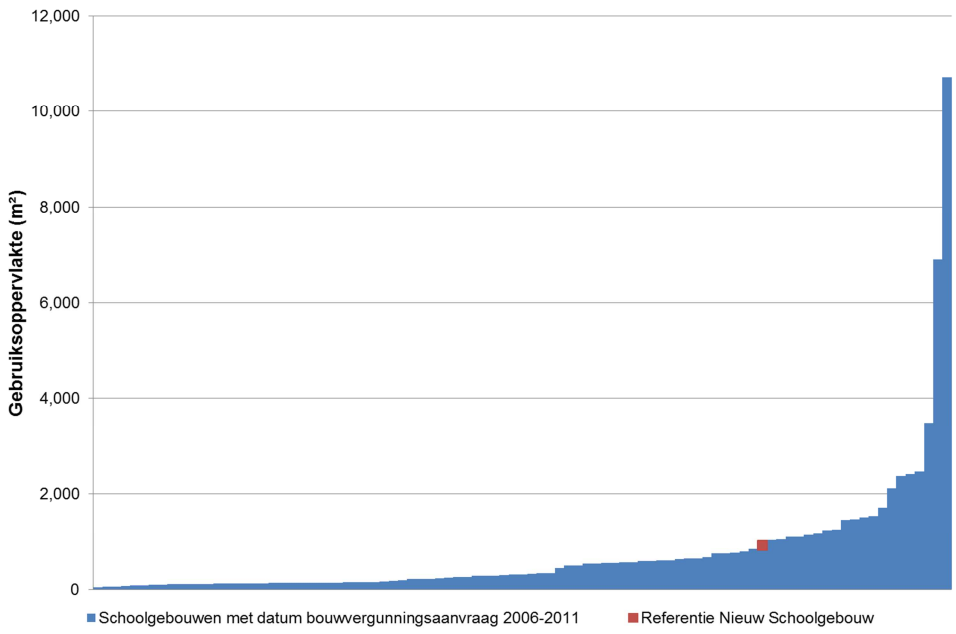
4.5 REFERENTIE NIEUW SCHOOLGEBOUW

Via het Vlaams Energieagentschap werd een lijst verkregen met 93 schoolgebouwen in Vlaanderen, met ontvangstdatum van de EPB aangifte na 4 december 2009. Het jaar van de bouwvergunningsaanvraag varieert hierbij tussen 2006 en 2011. De lijst bevat m.a.w. enkel heel recente schoolgebouwen.

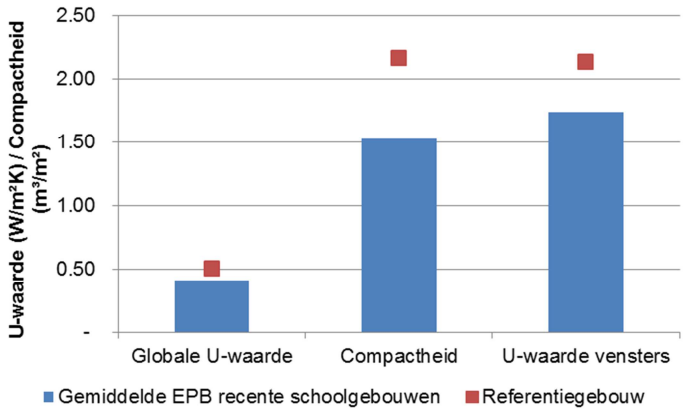
De referentie voor het nieuw schoolgebouw wordt afgeleid van de passiefschool van de Vlaamse Gemeenschap in Etterbeek. Hierbij worden de gebouwkarakteristieken 'teruggeschroefd' opdat het referentie nieuw schoolgebouw ongeveer net aan de huidige energieprestatie-eisen voldoet.

Figuur 13 situeert het referentiegebouw naar volume en gebruiksoppervlakte t.o.v. de gespreide resultaten van de lijst met recente schoolgebouwen. De grafiek toont duidelijk aan dat in de statistieken een heleboel kleine (container)klassen vervat zitten die niet representatief zijn voor het doel van deze studie. Figuur 14 situeert het referentiegebouw voor verschillende gebouwkarakteristieken t.o.v. het gemiddelde van de lijst met recente schoolgebouwen.





Figuur 13: Situering van de referentie nieuw schoolgebouw naar volume en gebruiksoppervlakte t.o.v. een lijst met 93 recente schoolgebouwen



Figuur 14: Situering van de referentie nieuw schoolgebouw voor verschillende gebouwkarakteristieken t.o.v. het gemiddelde voor een lijst met 93 recente schoolgebouwen.[15]

Figuur 15 toont de passiefschool van de Vlaamse Gemeenschap in Etterbeek. Om als referentiegebouw te fungeren werden volgende aanpassingen doorgevoerd:

- De glaskoepels in het dak werden buiten beschouwing gelaten.

---

[15] De gemiddelde compactheid van de lijst met 93 recente schoolgebouwen is uitzonderlijk hoog (= lage waarde). Een groot deel van de EPB aangiften betreffen immers zogenaamde 'containerklassen' met een uitzonderlijk goede compactheid.

- Het passief bouwschil- en installatiepakket werden aangepast naar een 'standaard' +/- E70 pakket (zie hieronder).

Figuur 15: Schetsen van de passiefschool van de Vlaamse Gemeenschap in Etterbeek

De gebouwkarakteristieken worden zodanig bepaald dat het gebouw voldoet aan de huidige (anno 2012) minimale energieprestatie-eisen, zijnde de specifieke U-waarde en R-waarde eisen voor de verschillende gebouwschil delen[16], de K-peil eis (K40) en de E-peil eis (E70). Er wordt zoveel mogelijk uitgegaan van standaard systemen voor warmte- en koude-opwekking, ventilatie, verlichting, etc. Deze worden aangepast om een E70 te verkrijgen. Tabel 18 en Tabel 19 geven een overzicht van respectievelijk de bouwfysische en installatietechnische karakteristieken voor de referentie nieuw kantoorgebouw

Tabel 20: Overzicht van de gebouwschilkarakteristieken voor de referentie nieuw schoolgebouw

Gebouwschilkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Volume	4,252	m³
Gebruiksoppervlakte	925	m²
Warmteverliesoppervlakte	1,964	m²
Compactheid	2.17	m

[16] http://www.energiesparen.be/epb/welkeeisen

Oriëntatie	grootste glaspartij oost georiënteerd	
Totaal geveloppervlak (opaak + transparant)	689.5	m²
Totaal glasoppervlak • noord • oost • zuid • west	 21.6 49.9 27.9 32.2	 m² m² m² m²
Ratio glasoppervlak / totaal geveloppervlak	19.1%	
U-waarde dak	0.27	W/(m²K)
U-waarde muur	0.32	W/(m²K)
U-waarde vloer	0.35	W/(m²K)
U-waarde profiel (metalen profiel zonder thermische onderbreking)	3.00	W/(m²K)
U-waarde glas (dubbel glas (4-6-4))	1.30	W/(m²K)
Psi-waarde afstandshouder (aluminimum of stalen afstandshouders, niet thermisch onderbroken)	0.11	W/(mK)
U-waarde venster	2.14	W/(m²K)
g-waarde venster	0.63	
Luchtdichtheid	12	m³/h.m²
Rekenmethode bouwknopen	Rekenmethode B Enkel EPB aanvaarde bouwknopen	
K-peil	37	
Gemiddelde U-waarde	0.51	W/m².K

Volgende installatietechnische karakteristieken worden gekozen om het uitgangspunt (zijnde een E70 gebouw) zo dicht mogelijk te benaderen.

Tabel 21: Overzicht van de systeemkarakteristieken voor de referentie nieuw schoolgebouw

Systeemkarakteristieken	Waarde	Eenheid
Warmtetransport	Water	
Opwekkingstoestel verwarming • Rendement	Condensatieketel gas 1.07	

Hulpenergie	> 75% van het opgestelde elektrische vermogen aan pompmotoren in warmwatercircuits is voorzien van een automatisch werkende toerentalregeling of automatisch werkende aan/uit regeling	
Ventilatie • Type • Warmteterugwinning	 C - natuurlijke toevoer en mechanische afvoer Niet van toepassing	
Verlichting • Vermogen • Aanwezigheidsdetectie • Daglichtsturing	 2.5 Niet van toepassing Niet van toepassing	 W/m².100 lux
Zonnewering	Niet van toepassing	
E-peil	67	
E_{prim}	188	kWh/m².jaar

5 BOUWFYSISCHE MAATREGELEN

5.1 INLEIDING

5.1.1 Bronnen

Er wordt bewust gekozen voor prijsopvraging bij specifieke leveranciers van bouwschilcomponenten die tevens een goede kennis hebben van de gemiddelde/modale installatiekost. De grootste marktspelers worden in eerste instantie gecontacteerd gezien zij het grootste aandeel van de modale bouwmarkt representeren.

De verkregen prijzen worden vergeleken met prijsdata waarover 3E-Ingenium al beschikt (uit voorgaande projecten) en indien dit wenselijk wordt geacht, aangepast.

5.1.2 Kostprijs

Elke nieuwbouw- en renovatiemaatregel wordt opgedeeld in verschillende bouwprocesstappen. Indien beschikbaar wordt bij de verschillende (product)leveranciers een kostprijs opgevraagd voor de integrale uitvoering van een specifieke maatregel (bv. het na-isoleren van de buitengevel in combinatie met een pleisterafwerking). In de andere gevallen wordt een kostprijs opgevraagd voor elke individuele processtap. Uiteindelijk wordt voor elke maatregel één globale kostprijs (doorgaans een kostprijs per m² of per lopende meter voor bouwschilmaatregelen) bepaald.

Naast technische kostelementen wordt er bij renovatie ook bekeken voor welke maatregelen een architect en/of studiebureau betrokken dient te worden. Voor deze aspecten wordt een bijkomende studiekost ingerekend. Voor de nieuwbouwscenario's wordt doorgaans geen studiekost voorzien aangezien ervan uitgegaan wordt dat deze al opgenomen is in de globale studiekost van het gebouw.

5.1.3 Levensduur en onderhoudskost

In functie van de economische berekeningen wordt voor elke nieuwbouw- en renovatiemaatregel de levensduur en onderhoudskost bepaald. Deze levensduur wordt doorgaans bepaald door die bouwschilcomponent die als eerste aan vervanging toe is (bv. de dakbedekking bij dakisolatiemaatregelen).

De levensduur van een maatregel bepaalt enerzijds het aantal herinvesteringen binnen de beschouwde evaluatieperiode (indien van toepassing) en anderzijds de restwaarde van deze maatregel op het einde van onze evaluatieperiode[17].

De levensduur en onderhoudskost van toepassing bij de verschillende bouwfysische maatregelen wordt weergegeven in Tabel 22.

Tabel 22: Overzicht levensduur en onderhoudskost voor de bouwfysische maatregelen

Bouwfysische maatregel	Levensduur[18]	Onderhoudskost	Bron / Opmerking

[17] Dit is zowel van toepassing voor maatregelen met een levensduur groter dan de evaluatieperiode als voor maatregelen waarbij de levensduur groter is dan de resterende evaluatieperiode sinds de laatste herinvestering.

		(% van investeringskost)	
Levensduur vloerisolatie	90	-	Idem levensduur gebouw
Levensduur gevelisolatie	30	- / 0.5%	[19]
Levensduur dakisolatie	30	-	
Levensduur ramen	30	-	EN15459:2007
Levensduur zonnewering	20	-	
Levensduur bouwknopen	90	-	Idem levensduur gebouw
Levensduur luchtdichtheid	90	-	Idem levensduur gebouw

5.1.4 Algemene uitgangspunten bij de isolatiemaatregelen

Eén van de objectieven van deze studie is om na te gaan welke maatregelen(pakketten) het meest kostenoptimaal zijn bij renovatie en nieuwbouw van kantoren en scholen. In het bijzonder bij isolatiemaatregelen resulteert het combineren van verschillende types isolatiemateriaal (minerale wol, PUR, EPS, XPS, cellulose, etc.), verschillende diktes en diverse types afwerking in enorm veel combinatiemogelijkheden. Om het totaal aantal te simuleren bouwfysische maatregelencombinaties (en dus de simulatietijd per 'run') werkbaar te houden, bleek het onmogelijk om al deze combinatiemogelijkheden voor isolatie door te rekenen. Een vereenvoudigde aanpak bleek hier noodzakelijk. Deze vereenvoudiging werd bereikt door bij de meeste isolatiemaatregelen abstractie te maken van het type isolatiemateriaal en het type afwerking.

5.2 VLOERISOLATIE

5.2.1 Algemeen

Bij nieuwbouw en grondige renovaties dient bij vloerisolatie steeds rekening te worden gehouden met volgende eisen m.b.t. de geldende energieprestatieregelgeving:

- U_{max} = 0.35 W/m²K voor vloeren in contact met de buitenomgeving; en

[18] De energetische berekeningen gebeuren obv de EPB rekenmethodologie die het energieverbruik op jaarbasis in jaar 0 berekent. Een graduele achteruitgang van de effectiviteit van bepaalde maatregelen (isolatiewaarde, luchtdichtheid) kan daarom niet in rekening gebracht worden.

[19] Onderhoudskost enkel van toepassing bij de referentiegebouwen voor renovatie. Hier gaan we uit van een gevelisolatiesysteem met pleisterafwerking waarbij een periodieke onderhoudskost van toepassing is voor het onderhoud en herstel van de pleisterbekleding. Deze onderhoudskost wordt hier vertaald in een jaarlijkse onderhoudskost.

- U_{max} = 0.35 W/m²K of $R_{vl, min}$ = 1.3 m²K/W voor andere vloeren.

Voor de tabellen met technische en financiële parameterwaarden verwijzen we naar BIJLAGE A.

5.2.2 Vloerisolatie bij renovatie

Gebouw zonder kelderruimte

Het plaatsen van vloerisolatie bij een eenvoudige renovatie van niet-residentiële gebouwen zonder kelderruimte gebeurt zelden tot nooit. Voor deze gebouwen vereist dit immers doorgaans het uitbreken van de vloer, eventuele leidingen, de chape en een deel van de stabilisatie/grond alsook het herwerken van deurgaten e.d. Door de hoge investeringskosten wordt vloerisolatie bij renovatie in de praktijk doorgaans enkel toegepast wanneer het gebouw tot op de structuur ontmanteld wordt. Concreet beschouwen we deze maatregel dan ook enkel bij simulaties waarbij zowel het dak als de gevel (muren én ramen) worden aangepakt.

Voor vloerisolatie bij renovatie nemen we enkel de kosten gelinkt aan het plaatsen van de vloerisolatie mee in de berekening. De overige kosten voor de afwerking van de vloer zijn gelinkt aan de beslissing om over te gaan tot een totaalrenovatie en deze beslissing wordt doorgaans niet enkel o.b.v. energetische motieven genomen.

Voor het referentiegebouw voor renovatie zonder kelderruimte (referentie bestaand kantoorgebouw) worden (naast de referentie) 3 verschillende vloerisolatie maatregelen met dito isolatiewaarde (R-waarde) beschouwd. De referentie bestaand kantoorgebouw is uitgerust met 2 cm vloerisolatie. We gaan er van uit dat bij een totaalrenovatie deze isolatielaag verwijderd wordt alvorens een nieuwe isolatielaag wordt geplaatst.

Gebouw met kelderruimte

Ook bij gebouwen met kelderruimte wordt vloerisolatie bestudeerd onder dezelfde randvoorwaarden als bij gebouwen zonder kelderruimte (m.a.w. enkel bij totaal renovatie).

Voor gebouwen met kelderruimte is het doorgaans echter eenvoudiger (en goedkoper) om het kelderplafond te isoleren (zolang een verlaging van het kelderplafond geen obstakel vormt voor daar uitgevoerde functies). Kelderplafondisolatie kan als maatregel bovendien steeds als afzonderlijke maatregel worden toegepast (in tegenstelling tot vloerisolatie die we enkel beschouwen bij een totaalrenovatie van een bestaand gebouw).

Voor het referentiegebouw voor renovatie met kelderruimte (referentie bestaand schoolgebouw waarvan we veronderstellen dat het volledig onderkelderd is) worden (naast de referentie) 3 verschillende vloerisolatie maatregelen en 2 verschillende kelderplafondisolatie maatregelen beschouwd.

Noot: Het doortrekken van de gevelisolatie onder het maaiveld (in feite verlengde gevelisolatie) wordt beschouwd als een oplossing naar bouwknopen en bijgevolg ook onder dat hoofdstuk besproken.

5.2.3 Vloerisolatie bij nieuwbouw

Bij nieuwbouw is, gezien de huidige energieprestatie-eisen, vloerisolatie ook voor de referentie onvermijdelijk. Dit betekent dat we enkel de isolatiemateriaalkosten en de eventuele secundaire kosten als gevolg van een grotere isolatiedikte in beschouwing nemen. We maken hier volledig abstractie van de kost voor vloerbekleding, afwerking, etc.

Varianten vloerisolatie bij nieuwbouw

Voor beide referentiegebouwen voor nieuwbouw worden 4 verschillende vloerisolatie maatregelen met dito isolatiewaarde (R-waarde) beschouwd.

5.2.4 Achtergrondinformatie bij vloerisolatie

Boven de draagvloer isoleren heeft volgende voordelen:

- het voorkomt warmte-opslag in de vloer, de ruimte kan sneller verwarmd worden
- het is een must bij het gebruik van vloerverwarming

Isoleren onder de draagvloer heeft volgende voordelen:

- isolatie aan de buitenkant van de constructie zorgt ervoor dat de draagconstructie minder onderhevig is aan de wisselende temperatuur
- de draagvloer boven de isolatie doet dienst als warmte-opslag
- oppervlaktecondensatie wordt vermeden

Er kan besloten worden dat er geen uitdrukkelijk technisch voordeel behaald wordt met één van beide werkwijzen. Ook economisch is er geen interessantere oplossing. Voor beide oplossingen wordt er een gelijkaardige prijs gehanteerd.

5.3 GEVELISOLATIE

5.3.1 Algemeen

Bij nieuwbouw en grondige renovaties dient bij gevelisolatie steeds rekening te worden gehouden met volgende eisen m.b.t. de geldende energieprestatieregelgeving:

- U_{max} = 0.32 W/m²K voor muren niet in contact met de grond, met uitzondering van de muren bedoeld in 1.2.4;
- R_{min} = 1.3 m²K/W voor muren in contact met de grond;
- R_{min} = 1.2 m²K/W voor verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermd volume.

Voor de tabellen met technische en financiële parameterwaarden verwijzen we naar BIJLAGE A.

Waar mogelijk wordt als eerste twee maatregelen die isolatiewaarden beschouwd die voor het betreffende referentiegebouw met zijn specifieke bouwschilsamenstelling resulteert in respectievelijk de huidig geldende U-waarde eis en de U-waarde eis anno 2014.

5.3.2 Gevelisolatie bij renovatie

Uitgangspunten

Vergelijken we de investeringskost voor isolatie (exclusief de kost voor gevelafwerking) dan blijkt dat, wanneer uitgedrukt in de resulterende isolatiewaarde (R-waarde), de verschillen tussen types isolatiemateriaal relatief beperkt zijn.

Het grote verschil in kostprijs tussen verschillende isolatiesystemen zit hem in het type gevelafwerking. Daarbij is het belangrijk op te merken dat een goedkoper type gevelafwerking (zoals pleisterafwerking)

doorgaans een kortere levensduur heeft en mogelijks een hogere onderhoudskost dan een duurder type gevelafwerking (zoals een gevelsteen).

Voor deze studie maken we abstractie van de verschillende types gevelafwerking. We gaan voor de beschouwde gevelisolatiemaatregelen uit van een relatief goedkoop type gevelafwerking, zijnde gevelpleisterafwerking. We zijn immers hoofdzakelijk geïnteresseerd zijn in het energetische aspect van een gevelisolatiemaatregel. De meerinvestering bij duurdere types gevelafwerking kunnen we in grote mate toeschrijven aan esthetische en stedenbouwkundige objectieven die we hier buiten beschouwing laten.

Uit tussentijdse analyses blijkt bovendien dat de resultaten voor andere types gevelafwerking (dan pleisterafwerking) maar kleine afwijkingen vertonen. De meerinvestering wordt immers in meer of mindere mate gecompenseerd door een langere levensduur en een lagere onderhoudskost.

We mogen dus gerust stellen dat de resultaten en conclusies zoals geformuleerd in hoofdstuk 7 geldig zijn voor de meest courante vormen van gevelafwerking.

Varianten gevelisolatie bij renovatie

Voor beide referentiegebouwen voor renovatie worden (naast de referentie) 4 verschillende buitengevelisolatie maatregelen met dito isolatiewaarde (R-waarde) beschouwd. Voor de referentie bestaand schoolgebouw beschouwen we eveneens een spouwmuurisolatie variant. We gaan er hierbij van uit dat de spouw voorafgaand aan het uitvoeren van spouwmuurisolatie werd geïnspecteerd en geschikt geacht voor deze maatregel.

5.3.3 Gevelisolatie bij nieuwbouw

Bij nieuwbouw is gevelisolatie, gezien de huidige energieprestatie-eisen, onvermijdelijk. Dit betekent dat we enkel de isolatiemateriaalkosten en de eventuele secundaire kosten als gevolg van een grotere isolatiedikte in beschouwing nemen. We maken hier volledig abstractie van de kost voor gevelbekleding. Gezien de minieme impact op de totale investeringskost wordt ook abstractie gemaakt van een mogelijks bredere fundatievoet bij oplopende isolatiedikte.

Varianten gevelisolatie bij nieuwbouw

Voor beide referentiegebouwen voor nieuwbouw worden 5 verschillende gevelisolatie maatregelen met dito isolatiewaarde (R-waarde) beschouwd.

5.4 DAKISOLATIE

5.4.1 Algemeen

Bij nieuwbouw en grondige renovaties dient bij dakisolatie steeds rekening te worden gehouden met volgende eisen m.b.t. de geldende energieprestatieregelgeving:

- U_{max} = 0.27 W/m²K voor daken en plafonds

Voor de tabellen met technische en financiële parameterwaarden verwijzen we naar BIJLAGE A.

5.4.2 Dakisolatie bij renovatie

Uitgangspunten

De referentiegebouwen voor renovatie hebben beide een plat dak. In de praktijk zien we hier twee hoofdvarianten naar dakisolatie, zijnde:

- het na-isoleren van het dak met behoud van de bestaande dakdichting als dampscherm; en
- het herisoleren van het dak met volledige vernieuwing van alle membranen.

Bij na-isolatie gaan we er van uit dat het bestaande dakmembraan nog van goede kwaliteit is en kan worden gebruikt als dampscherm. De werken bestaan uit:

- het eventueel verwijderen van de ballast;
- het schoonmaken van het dakmembraan;
- het ophogen van de dakopstanden;
- het plaatsen van het isolatiemateriaal;
- het plaatsen van dakbedekking (tweelaags SBS).

Bij herisolatie is de kost voor het schoonmaken van het dakmembraan niet langer van toepassing. Er is echter wel een extra kost voor:

- het verwijderen van het dakmembraan en eventueel aanwezige isolatie; en
- het plaatsen van een (nieuw) dampscherm;

Voor eenzelfde isolatiewaarde (R-waarde) zal herisolatie bijgevolg iets duurder zijn dan na-isolatie. Voor deze studie zijn we uitgegaan van de kosten voor na-isolatie. Uit tussentijdse analyses blijkt echter dat de resultaten tussen beide varianten maar kleine verschillen vertonen. We mogen dus gerust stellen dat de resultaten en conclusies zoals geformuleerd in hoofdstuk 7 ook geldig zijn bij herisolatie.

Varianten dakisolatie bij renovatie

Voor beide referentiegebouwen voor renovatie worden (naast de referentie) 4 verschillende dakisolatie maatregelen voor een plat dak met dito isolatiewaarde (R-waarde) beschouwd. Veel oude scholen hebben echter nog een zadeldak. Daarom beschouwen we voor de referentie bestaand schoolgebouw eveneens een hellend dak variant waarbij dit hellend dak aan de binnenzijde wordt geïsoleerd. We houden hierbij ook rekening met de kosten voor een nieuw onderdak. Voor deze variant veronderstellen we een dakhelling van 40° en wordt de totale dakoppervlakte (verliesoppervlakte) aangepast. Het resulterende extra volume (en gebruiksoppervlakte indien van toepassing) laten we echter buiten beschouwing aangezien dit de energetische berekeningen veel complexer zou maken en de simulatietijd per maatregelcombinatie gevoelig zou opdrijven. Bij maatregelencombinaties met hellend dak variant wordt ook de helling en het vermogen (het aantal m² geplaatste zonnepanelen) van de fotovoltaïsche installatie aangepast.

5.4.3 Dakisolatie bij nieuwbouw

Bij nieuwbouw is dakisolatie, gezien de huidige energieprestatie-eisen, onvermijdelijk. Dit betekent dat we enkel de isolatiemateriaalkosten en de eventuele secundaire kosten als gevolg van een grotere isolatiedikte (bv. verhogen dakopstanden) in beschouwing nemen. We maken hier volledig abstractie

van de kost voor dakbedekking. Gezien de minieme impact op de totale investeringskost wordt ook abstractie gemaakt van een iets hogere dakopstand bij oplopende isolatiedikte.

Varianten dakisolatie bij nieuwbouw

Voor beide referentiegebouwen voor nieuwbouw worden 5 verschillende dakisolatie maatregelen met dito isolatiewaarde (R-waarde) beschouwd.

5.5 RAMEN

5.5.1 Algemeen

Bij nieuwbouw en grondige renovaties dient bij het plaatsen van ramen steeds rekening te worden gehouden met volgende eisen m.b.t. de geldende energieprestatieregelgeving:

- U_{max} = 2.2 W/m²K voor transparante scheidingsconstructies;
- U_{max} = 1.3 W/m²K voor glas

Voor de tabellen met technische en financiële parameterwaarden verwijzen we naar BIJLAGE A.

Voor zowel renovatie en nieuwbouw gaan we uit van volgende hypothesen:

- Bij tertiaire gebouwen is de oppervlakte voor deuren verwaarloosbaar t.o.v. de totale warmteverliesoppervlakte. Bovendien zijn in veel gevallen de thermische eigenschappen van de deurelementen gelijkaardig aan deze voor de raamelementen (bv bij glazen deuren). Voor deze studie laten we deuren bijgevolg buiten beschouwing.
- Bij schoolgebouwen gaan we er van uit dat, voor een bepaalde vooropgestelde thermische kwaliteit, doorgaans voor de goedkoopste optie gekozen wordt. Voor ramen betekent dit dan ook dat doorgaans voor PVC profielen gekozen wordt, zoals bevestigd door de betrokken stakeholders.
- Bij kantoorgebouwen wordt sneller voor het doorgaans iets duurdere aluminimum profielen gekozen. Voor grotere raamoppervlakken en gordijngevel constructies zal, in functie van de vereiste stijfheid, een PVC profiel zelfs niet altijd mogelijk zijn. Voor kantoorgebouwen gaan we dan ook steeds uit van aluminium profielen.

5.5.2 Ramen bij renovatie

Bij renovatie worden (naast de referentie voor het beschouwde gebouw) dezelfde raamvarianten beschouwd als bij nieuwbouw.

5.5.3 Ramen bij nieuwbouw

We beschouwen steeds een raamvariant (glas-profiel combinatie) waarbij net aan huidige eisen m.b.t. de geldende energieprestatieregelgeving wordt voldaan. Daarnaast beschouwen we nog 4 andere raamvarianten (waaronder drievoudig en zonwerend glas).

5.6 ZONNEWERING

5.6.1 Algemeen

Voor de tabellen met technische en financiële parameterwaarden verwijzen we naar BIJLAGE A.

Voor zowel renovatie en nieuwbouw gaan we uit van volgende hypothesen:

- Niet-geventileerde tussenzonnewering wordt in de praktijk nog amper gebruikt en dus niet meegenomen in deze studie.
- Onder maatregelen naar zonnewering beschouwen we ook zonwerend glas
- We beschouwen zonnewering enkel voor raamoppervlakten tussen -120° en +120° (oost/noordoost over zuid tot west/noordwest). Het aantal vierkante meter zonnewering (en de resulterende investeringskost) wordt automatisch bijgewerkt wanneer we sensitiviteitsanalyses uitvoeren op enerzijds de oriëntatie van het gebouw en anderzijds de ratio raamoppervlak/geveloppervlak (zie hoofdstuk 7.
- Voor alle zonnewering varianten wordt gebruik gemaakt van de vereenvoudigde methode en de waarden bij ontstentenis voor de reductiefactoren zoals van toepassing volgens de huidige EPB-rekenmethodiek.

5.6.2 Varianten zonnewering bij nieuwbouw en renovatie

Bij alle referentiegebouwen beschouwen we zowel binnen- als buitenzonnewering, vaste als dynamische zonnewering, manuele als elektronische regeling en het al dan niet automatisch aansturen van de zonnewering door regeleenheid met sensor.

5.7 BOUWKNOPEN

5.7.1 Algemeen

Voor de tabellen met technische en financiële parameterwaarden verwijzen we naar BIJLAGE A.

Hierbij wordt ook rekening gehouden met het feit dat:

- bij bouwknopen met een psi-waarde lager dan de grenswaarden uit tabel 1 (zie hieronder), bijlage VIII, deze bouwknopen als EPB conform worden beschouwd en bijgevolg niet meegenomen worden in de berekening;
- bij bouwknopen met een psi-waarde hoger dan de waarde bij ontstentenis, de waarde bij ontstentenis gebruikt wordt in de berekening.

Tabel 1 Grenswaarden van de lineaire warmtedoorgangscoëfficiënt Ψ_e

	$\Psi_{e,lim}$
1. BUITENHOEKEN (1)(2) • 2 muren • Andere buitenhoeken	 -0.10 W/m.K 0.00 W/m.K
2. BINNENHOEKEN (3)	0.15 W/m.K
3. VENSTER- en DEURAANSLUITINGEN	0.10 W/m.K
4. FUNDERINGSAANZETTEN	0.05 W/m.K
5. BALKONS **- LUIFELS**	0.10 W/m.K
6. AANSLUITINGEN VAN EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE binnen eenzelfde beschermd volume of tussen 2 verschillende beschermde volumes OP EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE VAN HET VERLIESOPPERVLAK	0.05 W/m.K
7. ALLE LINEAIRE BOUWKNOPEN DIE NIET ONDER 1 T.E.M 6 VALLEN	0.00 W/m.K

(1) met uitzondering van funderingsaanzetten.

(2) Voor een buitenhoek moet de hoek α - gemeten tussen de twee buitenoppervlakken van de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak - voldoen aan: $180° < \alpha < 360°$.

(3) Voor een binnenhoek moet de hoek α - gemeten tussen de twee buitenoppervlakken van de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak - voldoen aan: $0° < \alpha < 180°$.

Tabel 2 Waarden bij ontstentenis voor lineaire bouwknopen

1. Bouwknoop zonder thermische onderbreking met lineaire doorverbindingen in metaal of gewapend beton	0.90 + $\Psi_{e,lim}$ (*) W/m.K
2. Bouwknoop met thermische onderbreking met puntsgewijze doorverbindingen in metaal	0.40 + $\Psi_{e,lim}$ (*) W/m.K
3. Andere	0.15 + $\Psi_{e,lim}$ (*) W/m.K
(*) $\Psi_{e,lim}$ uit tabel 1	

5.7.2 Bouwknopen bij renovatie

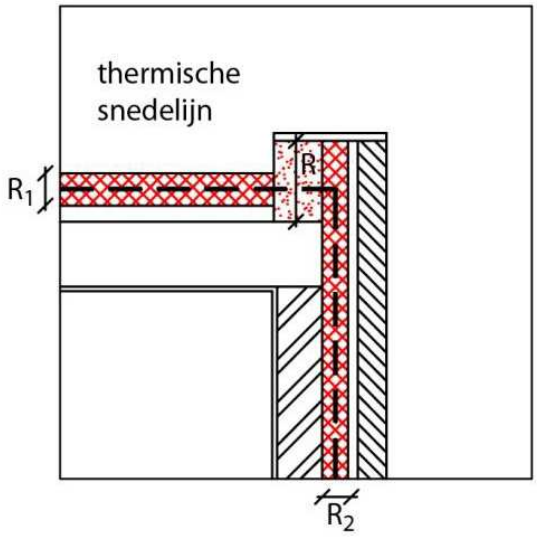
Bij renovatie wordt de bouwknoop niet noodzakelijkerwijs opgelost. We beschouwen bij renovatie dan ook beide mogelijkheden. Wanneer een bouwknoop niet als EPB conform wordt meegenomen in de berekening werd deze bouwknoop o.b.v. Therm uitgerekend en de resulterende psi-waarde meegenomen in de berekening voor het specifiek maatregelenpakket. Voor deze studie identificeren we volgende belangrijke bouwknopen.

Bouwknoop gevel-dak

Los van energetische en economische argumenten is het bouwfysisch mogelijk om voor beide referenties voor bestaande gebouwen zowel dakisolatie als gevelisolatie afzonderlijk uit te voeren. Deze afzonderlijke maatregelen worden bijgevolg ook meegenomen in de maatregelenevaluatie.

Gevel-plat dak

Indien bij een renovatie zowel gevel als dak geïsoleerd wordt, dient de bouwknoop gevel-dak te worden opgelost om de koudebrug op te lossen. Voor renovatie toepassingen gaan we uit van de (veilige, conservatieve) aanname dat hiervoor het uitstekend deel van de kroonlijst moet worden doorgeslepen (en verwijderd) om de gevelisolatie te kunnen doortrekken. Met een isolerende steen wordt een nieuwe dakrand opgebouwd en de koudebrug onderbroken.



Figuur 16: Oplossing bouwknoop gevel-plat dak[20]

Gevel-hellend dak

Voor het bestaand schoolgebouw simuleren we ook een variant met hellend dak. Ook hier moet de bouwknoop dak-gevel opgelost worden bij combinatie van dak- en gevelisolatie bij renovatie.

Het oplossen van deze bouwknoop bestaat uit het laten aansluiten van de binnenisolatie met de gevelisolatie. Hiervoor dient de bestaande hanggoot (indien aanwezig) te worden verwijderd en een nieuwe hanggoot te worden geplaatst. Deze maatregelcombinatie wordt in de praktijk voornamelijk uitgevoerd indien de hanggoot in ieder geval aan vervanging toe is. De kosten voor deze vervanging zijn m.a.w. niet strikt verbonden aan de energetische renovatie zelf en laten we bijgevolg buiten beschouwing. Er wordt eveneens rekening gehouden met de kosten voor het uittimmeren van een nieuwe kroonlijst.

Bouwknoop gevel-vloer

Onderkelderd gebouw

We gaan er van uit dat ons referentie bestaand schoolgebouw onderkelderd is.

Los van energetische en economische argumenten is het bouwfysisch mogelijk om zowel kelderplafondisolatie als gevelisolatie afzonderlijk uit te voeren. Deze afzonderlijke maatregelen worden bijgevolg ook meegenomen in de maatregelenevaluatie.

Indien bij een renovatie zowel het kelderplafond als de gevel geïsoleerd wordt, is het bovendien niet strikt noodzakelijk om ook de bouwknoop aan te pakken. Beide mogelijkheden (het wel of niet oplossen van de bouwknoop) worden bijgevolg meegenomen in de maatregelenevaluatie.

---

[20] Toelichtingsdocument volgens "Ontwerp tot wijziging van bijlage IV/V van het EPB-besluit", Werkgroep PAThB2010, 31/12/2009

Het oplossen van de bouwknoop gevel-vloer bij een onderkelderd gebouw gebeurt enerzijds door de kelderplafondisolatie uit te breiden naar de buitenste keldermuren (ongeveer 1 meter) en anderzijds de gevelisolatie ondergronds door te trekken (tot aan de funderingsvoet).[21]

Niet onderkelderd gebouw

We gaan er van uit dat de referentie voor het bestaand kantoorgebouw een niet onderkelderd gebouw is.

Het oplossen van de bouwknoop bij gevelisolatie door het verder doortrekken van deze gevelisolatie onder het maaiveld is bij een niet onderkelderd gebouw een (zowel energetisch als economisch) weinig rendabele maatregel. Om dit ook aan te tonen wordt ook deze bouwknoop oplossing meegenomen in de maatregelenevaluatie, dit uiteraard enkel indien gevelisolatie in het maatregelenpakket zit.

[21] Het doortrekken van de gevelisolatie onder het maaiveld zal bij een onderkelderd gebouw nooit gebeuren indien er geen vloerisolatie (kelderplafondisolatie) wordt toegepast. Zonder het toepassen van (een vorm van) vloerisolatie is dit immers een (zowel energetisch als economisch) weinig rendabele maatregel.

Bouwknoop gevel-raam

We kunnen er van uitgaan dat, indien zowel de gevel wordt geïsoleerd als de ramen vervangen worden, de bouwknoop maximaal wordt aangepakt (en dus EPB conform is) en dit zonder een extra meerkost.

Indien enkel het na-isoleren van de gevel wordt beschouwd, veronderstellen we dat steeds een minimale isolatiedikte van 2 cm kan worden aangebracht om deze koudebrug aan te pakken.

Dit valt als volgt te argumenteren. Indien immers het aanbrengen van zelfs deze minimale isolatiedikte niet mogelijk is, wordt ofwel afgezien van gevelisolatie om problemen te vermijden of worden eveneens de ramen vervangen.

5.7.3 Bouwknopen bij nieuwbouw

Bij nieuwbouw mogen we er van uit gaan dat alle bouwknopen opgelost (kunnen) worden. In de praktijk gebeurt het echter zelden dat de bouwknopen gedetailleerd in de EPB software worden ingegeven. Voor een grote meerderheid van bouwprojecten wordt ervoor gekozen om aan te tonen dat de bouwknopen ontworpen zijn volgens bepaalde basisregels. Deze bouwknopen kunnen dan als conform EPB worden ingegeven en er wordt een forfaitaire toeslag van circa 3 K-peilpunten toegekend.

Voor het 'oplossen' van de bouwknopen bij nieuwbouw wordt daarom enkel een studiekost in rekening gebracht. Deze vertegenwoordigt enkel de extra werklast voor de EPB-adviseur om via de voorgeschreven procedures deze bouwknopen als EPB conform te laten opnemen.

5.8 LUCHTDICHTHEID

5.8.1 Algemeen

Voor de tabellen met technische en financiële parameterwaarden verwijzen we naar BIJLAGE A.

5.8.2 Luchtdichtheid bij renovatie

Analoog met vloerisolatie worden specifieke investeringen naar luchtdichtheid enkel beschouwd bij een totaalrenovatie waarbij zowel het dak als de gevel (muren én ramen) als de vloer wordt aangepakt. Hiervoor werden verschillende ambitieniveaus geïdentificeerd. Daarnaast wordt de referentie luchtdichtheid van 12 $m^3/m^2.h$ aangepast wanneer één of meerdere isolatiemaatregelen worden toegepast. Deze resulteren immers in een verbetering van de luchtdichtheid zonder dat dit noodzakelijkerwijs extra investeringen met zich meebrengt. Bij een dergelijke 'automatische' verbetering van de luchtdichtheid wordt wel telkens de kost voor pressurisatieproeven in rekening gebracht. Een gedeclareerde luchtdichtheidswaarde is immers vereist om deze waarde te mogen meenemen in de EPB berekening.

5.8.3 Luchtdichtheid bij nieuwbouw

Bij nieuwbouw wordt zowel de waarde bij ontstentenis als verschillende ambitieniveaus meegenomen. Een 'automatische' verbetering van de luchtdichtheid door renovatie van een bouwschilonderdeel is hier niet van toepassing.

6 INSTALLATIETECHNISCHE MAATREGELEN

6.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt bepaald en toegelicht welke installatietechnische maatregelen in het verdere verloop van de studie worden onderzocht. Een overzicht van de investeringskost, levensduur en onderhoudskost van elk van deze maatregelen wordt gegeven in BIJLAGE C.

Omdat onmogelijk de volledige pool van toegepaste technieken en iedere combinatie ervan kan geëvalueerd worden, is het belangrijk om een goed gefundeerde selectie te maken. In deze selectie zitten de meest toegepaste technieken die een belangrijke impact hebben op het energieverbruik van kantoor- en schoolgebouwen anno 2012-2020. Om tot deze selectie te komen wordt vertrokken van een lijst met technische installaties zoals opgesteld door het VEA en toegevoegd als bijlage bij het originele bestek voor deze studie. Op basis van de specifieke markt en heersende tendensen in Vlaanderen wordt deze lijst verder verfijnd.

Aangezien de financiële analyse uitwijst welke technieken leiden tot het behalen van een bepaald E-peil op een kostenoptimale manier, is het van cruciaal belang om een goede inschatting te hebben van de kost van de technische installaties. Kosten die een bouwheer heeft die verbonden zijn met de keuze van een welbepaalde installatie moeten eveneens meegenomen worden. Daarom wordt in voorliggend hoofdstuk volgende kosten ingerekend:

- kost van het toestel
- plaatsingskost
- ontwerpkost
- afbraak- en vervangingskost

Deze prijzen zijn gebaseerd op enerzijds aanbestedingsprijzen uit de dossiers van Ingenium en anderzijds op bijkomende prijsvragen bij fabrikanten. De installateurs krijgen op deze laatste prijzen nog een aannemerskorting. Dit zorgt ervoor dat de prijs die fabrikanten opgeven voor het toestel een goede inschatting is van de prijs bij de installateur inclusief de plaatsing van het toestel. Bij renovaties kan de plaatsingskost van een toestel oplopen door de mogelijk beperkte toegankelijkheid van de technieken. Om zeker op voorhand geen technieken af te schrijven door dergelijke verhoogde kosten in te rekenen, wordt hierom verondersteld dat de toegankelijkheid optimaal is en dit geen meerkost met zich meebrengt ten opzichte van de plaatsing bij nieuwbouwprojecten. Deze stelling is toegelicht op de workshop en kreeg geen negatieve feedback.

De ontwerpkost is veelal techniek-onafhankelijk. Deze wordt bijgevolg voor alle technieken op dezelfde manier berekend. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van de KVIV/FABI-aanwijzingen voor prestaties van raadgevend ingenieurs, geldig vanaf 1 januari 2012. De erelonen worden berekend als functie van de kostprijs der werken volgens klasse twee onder opdracht E. Op dit ereloon wordt een korting van 20% gerekend, wat overeenkomt met een gemiddeld en marktconform ereloon.

De afbraak- en vervangkost van een toestel kan eveneens sterk oplopen door de mogelijk beperkte toegankelijkheid van de technieken. Om zeker op voorhand geen technieken af te schrijven door dergelijke verhoogde kosten in te rekenen, wordt verondersteld dat de toegankelijkheid optimaal is. Bij technieken voor warmte- en koude-opwekking en -afgifte betekent dit dat de afbraakkost verwaarloosbaar is in vergelijking met de plaatsingskost van het nieuwe toestel. Bij technieken voor

ventilatie en verlichting is de kost van deze afbraak of vervanging wel van betekenis en wordt deze meerkost mee opgenomen in de berekeningen.

6.2 WARMTE-OPWEKKING

Hieronder worden de verschillende installaties voor warmte-opwekking samen met hun eigenschappen omschreven.

6.2.1 Bestaande gasketel

Algemeen

De bestaande gasketel wordt enkel beschouwd bij het referentie bestaand kantoorgebouw dat wordt gerenoveerd. Er wordt verondersteld dat de bestaande gasketel op het einde van zijn levensduur zit en in elk scenario (behalve het referentiepunt) vervangen wordt. De ketel heeft een verbrandingsrendement op de bovenste verbrandingswaarde van 74%. Dit komt overeen met een verbrandingsrendement van 82% op de onderste verbrandingswaarde.

Kostprijs

De kost voor de afbraak van de bestaande gasketel wordt niet ingerekend aangezien de bestaande gasketel in alle scenario's vervangen wordt. De afbraakkost is steeds dezelfde (behalve voor het referentiepunt) en heeft bijgevolg geen impact op de resultaten.

6.2.2 Bestaande stookolieketel

Algemeen

De bestaande stookolieketel wordt enkel beschouwd bij het referentie bestaand schoolgebouw dat wordt gerenoveerd. Er wordt verondersteld dat de bestaande stookolieketel op het einde van zijn levensduur zit en in elk scenario (behalve het referentiepunt) vervangen wordt. De ketel en een verbrandingsrendement op de bovenste verbrandingswaarde heeft van 74%. Dit komt overeen met een verbrandingsrendement van 82% op de onderste verbrandingswaarde.

Kostprijs

De kost voor de afbraak van de bestaande gasketel wordt niet ingerekend aangezien de bestaande gasketel in alle scenario's vervangen wordt. De afbraakkost is steeds dezelfde (behalve voor het referentiepunt) en heeft bijgevolg geen impact op de resultaten.

6.2.3 Gascondensatieketel

Algemeen

De gascondensatieketel wordt beschouwd als maatregel voor alle referentiegebouwen. Voor het nieuw kantoor- en schoolgebouw wordt het beschouwd als het 'standaard' warmte-opwekkingssysteem. Het rendement op de bovenste verbrandingswaarde wordt gelijkgesteld aan 96%. Op de onderste verbrandingswaarde komt dit overeen met een rendement van circa 107%.

Kostprijs

De kostprijs hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

6.2.4 Warmtepomp lucht/water

Algemeen

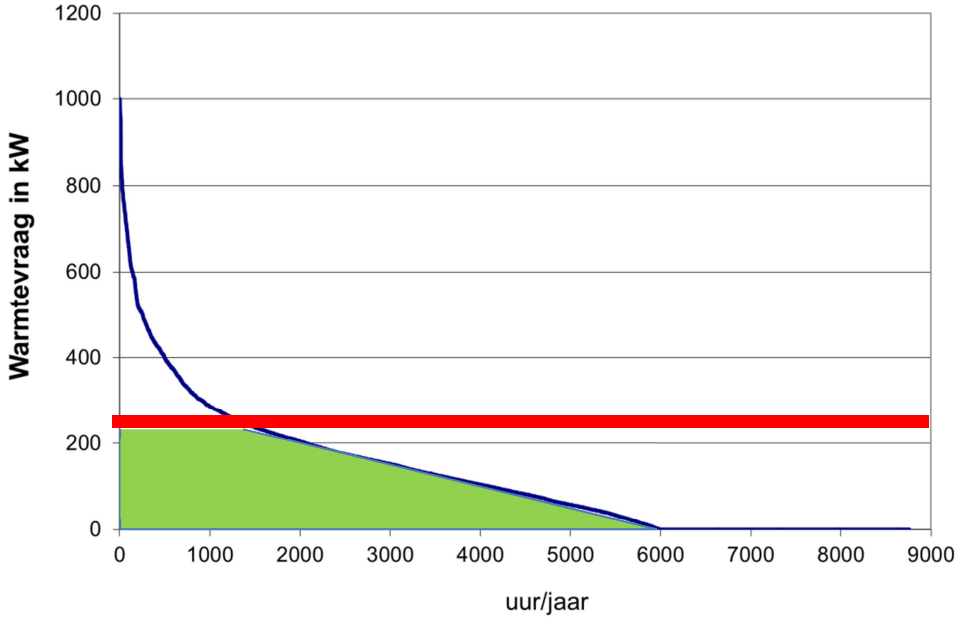
De warmtepomp lucht/water wordt beschouwd als maatregel voor alle referentiegebouwen. Twee verschillende warmtepompen worden beschouwd. Eén met een COP die vandaag frequent wordt toegepast en één met een COP die op vandaag tot de beste van de markt behoort.

Kostprijs

De kostprijs hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Dimensionering

Bij grote vermogens kan de installatiekost hoog oplopen wanneer het volledige verwarmingsvermogen wordt geleverd door een warmtepomp lucht/water. Daarom wordt het scenario beschouwd waarbij 25% van het verwarmingsvermogen voorzien wordt door de warmtepomp en de overige 75% door een condensatieketel. De warmtepomp wordt gebruikt als basisverwarming en de condensatieketel dient om de piekbelasting op te vangen. Op deze manier wordt de investeringskost beperkt en kan toch een belangrijk deel van de energievraag voorzien worden door de warmtepomp. Een preferente warmtepomp die 20 tot 30% van het totale vermogen heeft, voorziet volgens de EPB-rekenmethode in 79% van de jaarlijkse warmtebehoefte.



Wanneer echter de warmtevraag van het gebouw sterk gedrukt is door bouwfysische maatregelen, is het in het kader van energieneutrale gebouwen ook interessant om te kijken naar de dimensionering van de warmtepomp op het volledige verwarmings- en koelvermogen. Daarom wordt ook het scenario meegenomen waarbij de warmtepomp voorziet in 100% van het verwarmings- en koelvermogen.

Bij alle gebouwen wordt zowel het geval bekeken waarbij de warmtepomp op 25% van het verwarmingsvermogen wordt gedimensioneerd als op 100% van het verwarmingsvermogen.

6.2.5 Warmtepomp bodem/water

Algemeen

De warmtepomp bodem/water wordt beschouwd als maatregel voor alle referentiegebouwen. Twee verschillende warmtepompen worden beschouwd. Eén met een COP die vandaag frequent wordt toegepast en één met een COP die op vandaag tot de beste van de markt behoort.

Kostprijs

De kostprijs hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Voor de bepaling van de kost werd enerzijds de kost ingerekend van de warmtepompinstallatie en anderzijds van de ondergrondse installatie. Deze opsplitsing is nodig omwille van een verschillende levensduur, onderhoudskost en dimensionering. Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Dimensionering

Om dezelfde reden als bij de warmtepomp lucht/water wordt ook hier het scenario beschouwd waarbij de warmtepomp bodem/water wordt gedimensioneerd op 25% van het verwarmingsvermogen en een condensatieketel op 75%.

Een scenario waarbij de warmtepomp op 100% van het verwarmings- en koelvermogen wordt gedimensioneerd wordt tevens onderzocht.

Bij alle gebouwen wordt zowel het geval bekeken waarbij de warmtepomp op 25% van het verwarmingsvermogen wordt gedimensioneerd als op 100% van het verwarmingsvermogen.

6.2.6 Warmtepomp water/water

Algemeen

De warmtepomp water/water wordt beschouwd als maatregel voor alle referentiegebouwen. Twee verschillende warmtepompen worden beschouwd. Eén met een COP die vandaag frequent wordt toegepast en één met een COP die op vandaag tot de beste van de markt behoort.

Kostprijs

De kostprijs hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Voor de bepaling van de kost werd enerzijds de kost ingerekend van de warmtepompinstallatie en anderzijds van de ondergrondse installatie. Deze opsplitsing is nodig omwille van een verschillende levensduur, onderhoudskost en dimensionering. Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Een bronnenpaar kan tot een maximaal debiet en bijhorend vermogen leveren. De kostprijs is aldus niet lineair afhankelijk van het debiet en vermogen. Ongeacht hoe klein het vermogen is, moet de investering immers gebeuren om twee boorputten te bouwen tot op de watervoerende lagen. Indien het debiet en vermogen niet meer volstaan, dan dient een tweede bronnenpaar in rekening gebracht te worden.

Dimensionering

Om dezelfde reden als bij de warmtepomp lucht/water wordt ook hier het scenario beschouwd waarbij de warmtepomp water/water wordt gedimensioneerd op 25% van het verwarmingsvermogen en een condensatieketel op 75%.

Een scenario waarbij de warmtepomp op 100% van het verwarmings- en koelvermogen wordt gedimensioneerd wordt tevens onderzocht.

Bij alle gebouwen wordt zowel het geval bekeken waarbij de warmtepomp op 25% van het verwarmingsvermogen wordt gedimensioneerd als op 100% van het verwarmingsvermogen.

6.2.7 Warmtepomp lucht/lucht

Algemeen

De warmtepomp lucht/lucht wordt beschouwd als maatregel voor alle referentiegebouwen. Hierin kan men een onderscheid maken tussen 3 types:

- Warmteafgifte gebeurt in de luchtgroep. Dit is voornamelijk interessant als de luchtgroep slechts 1 ruimte ventileert. Bij kantoren en scholen met verscheidene lokalen zijn de verscheidene lokalen echter slecht te regelen en krijg je comfortproblemen.
- VRV/VRF-systeem: Per grote buiten-unit kunnen er verschillende binnen-units aangesloten worden.
- Per binnen-unit wordt een buiten-unit geplaatst. Hierdoor zullen de installatiekosten echter hoger oplopen.

Om bovenstaande redenen wordt voor kantoor- en schoolgebouwen enkel het VRV/VRF-type beschouwd.

Bij de warmtepomp lucht/lucht wordt slechts 1 COP beschouwd. Deze is bij condities zoals bepaald in EN 14511 circa 2,9. De reden hiertoe is tweezijdig:

- Volgens de fabrikanten is de gerealiseerde COP niet zomaar te kiezen. Er wordt steeds naar gestreefd de COP van de warmtepomp zo hoog mogelijk te maken. Eventuele variaties in de COP zijn veeleer te wijten aan de grootte van het vermogen en de omkasting.
- Het is bijzonder moeilijk om prijzen vast te krijgen voor een warmtepomp lucht/lucht. Bij ontwerpen van Ingenium wordt dit type toestel niet frequent toegepast. Na meermaals opgestuurde prijsvragen ontvingen we enkel prijzen voor het scenario dat “standaard” wordt genoemd. Voor het scenario met verhoogd rendement kon tot op heden geen prijs worden gegeven door een fabrikant van een VRV/VRF-systeem.

Kostprijs

De kostprijs hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Dimensionering

Bij gebruik van een VRV/VRF-systeem wordt het koelwater getransporteerd tot in het afgifte-systeem in de ruimte zelf. Indien dit systeem zou aangevuld worden met een niet-preferent verwarmingssysteem zou er naast het afgiftesysteem van de VRV/VRF een tweede parallelle distributie- en afgifte-systeem op water moeten geplaatst worden. Hierom wordt enkel het scenario beschouwd waarbij het VRV/VRF-systeem op 100% van het verwarmings- en koelvermogen wordt gedimensioneerd.

6.2.8 Houtpelletketel

Algemeen

De houtpelletketel wordt beschouwd als maatregel voor alle referentiegebouwen.

Kostprijs

De toestel- en de plaatsingskost worden bepaald op basis van de prijsvragen. De kost hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport en omvatten:

- Toestelkost
- Plaatsingskost
- Kost van stockageruimte voor de pellets

Dimensionering

Om dezelfde reden als bij de warmtepomp lucht/water wordt ook hier het scenario beschouwd waarbij de houtpelletketel wordt gedimensioneerd op 25% van het verwarmingsvermogen en een condensatieketel op 75%.

Een scenario waarbij de houtpelletketel op 100% van het verwarmings- en koelvermogen wordt gedimensioneerd wordt tevens onderzocht.

Bij alle gebouwen wordt zowel het geval bekeken waarbij de houtpelletketel op 25% van het verwarmingsvermogen wordt gedimensioneerd als op 100% van het verwarmingsvermogen.

6.2.9 Stadsverwarming

Voor de toepassing van stadsverwarming wordt voor de bepaling van de kost uitgegaan van het niet-meer-dan-anders principe. Hierbij wordt aangenomen dat de kost die je hebt aan de plaatsing van de warmtewisselaar, het onderhoud en de kost voor de afgenomen warmte niet groter is dan de kost die men heeft aan de plaatsing van een condensatieketel, het onderhoud ervan en het verbruik.

Wanneer gebruik gemaakt wordt van restwarmte kan het aandeel in primair energieverbruik evenals de energiekost gedrukt worden t.o.v. een condensatieketel. Zo wordt een stadsverwarmingssysteem pas interessanter dan een condensatieketel wanneer de primaire energiefactor voldoende laag is zodat deze de distributieverliezen tot aan de warmtewisselaar compenseert.

Op dit moment laat de EPU-methode, vastgelegd in bijlage VI van het Energiebesluit, toe dat een gunstigere primaire energiefactor het distributieverlies compenseert maar niet beter zal zijn dan een condensatieketel. Aangezien naast de kostprijs ook de performantie in het beste scenario wordt gelijkgesteld aan een condensatieketel wordt in dit beste scenario het scenario stadsverwarming gelijkgesteld aan het scenario condensatieketel. Indien de primaire energiefactor van de stadsverwarming de distributieverliezen niet compenseert zal het steeds minder goed doen dan de condensatieketel.

Wanneer de EPU-methode wel toelaat een stadsverwarmingssysteem in te geven met betere prestaties dan een condensatieketel, kan deze toepassing beter scoren dan in deze studie het geval is.

6.2.10 WKK

Algemeen

De plaatsing van een WKK wordt beschouwd als maatregel voor alle referentiegebouwen.

Kostprijs

De toestel- en de plaatsingskost worden bepaald op basis van de prijzen zoals toegepast in de dossiers van Ingenium en op bijkomende prijsvragen. De kost hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Dimensionering

Bij het ontwerp van een WKK is het belangrijk dat de WKK een groot aantal vollasturen heeft. De reden hiertoe is tweezijdig:

- Het aantal start-stops moet beperkt worden. Een groot aantal start-stops belast de installatie meer en resulteert hierdoor in een verhoogde kost voor onderhoud en herstellingen.
- De kostprijs bij het plaatsen van een WKK is relatief hoog. Indien het aantal vollasturen te beperkt is, is de installatie weinig of niet rendabel.

Hierom richt men bij de dimensionering veelal op 3.000 à 4.000 vollasturen voor de WKK.

Bij kantoor- en schoolgebouwen is een WKK veelal niet interessant. Het aantal vollasturen is te beperkt en het aantal start-stops is bovendien erg groot door:

- Geen/verminderde warmtebehoefte ’s avonds en ’s nachts.
- Geen/verminderde warmtebehoefte in het weekend.
- Geen warmtebehoefte in de zomer.

Voor scholen zijn er jaarljks slechts een 36-tal weken waarin de gebouwen circa 40 uren open zijn. Ook kantoren zijn het hele jaar door ongeveer 50 uur per week open (inclusief zomerweken). Voor deze bestemmingen komt men dus niet in de buurt van 3.000 vollasturen.

Voor de volledigheid wordt er toch een scenario beschouwd waarbij de WKK wordt gedimensioneerd op 10% van het verwarmingsvermogen. Hierdoor zal de kostprijs per kW groter zijn maar wordt wel het aantal vollasturen vergroot. Dit aantal vollasturen blijft echter nog steeds beperkt. Aanvullend aan de WKK wordt er een condensatieketel verondersteld die gedimensioneerd wordt op 90% van het verwarmingsvermogen.

Merk wel op dat de toepassing van een WKK bij ziekenhuizen of woonzorgcentra wel interessant kan zijn. Hier heeft men immers een meer continue warmtevraag:

- 24 uur per dag
- 7 dagen per week
- Zelfs in de zomer is er een warmtevraag

6.2.11 Micro-WKK

Het dimensioneren van de WKK gebeurt op basis van de warmtevraag. Uit het resultaat van de dimensionering volgt dan of het om een WKK gaat of een micro-WKK. Een micro-WKK afzonderlijk beschouwen is hierom overbodig.

6.2.12 COP

De SPF is functie van verschillende factoren. Twee belangrijke factoren hiervan zijn de COP en de temperatuur aan condensorzijde van de warmtepomp. Deze twee worden afzonderlijk gevarieerd. Uit de COP en de temperatuur aan de condensorzijde wordt zo in de rekentool een SPF berekend. De COP's worden hieronder toegelicht. De temperatuur aan condensorzijde is in functie van het gekozen afgiftesysteem.

De COP's die in deze studie worden beschouwd zijn:

- Warmtepomp lucht/water: 3,1 / 3,8
- Warmtepomp bodem/water:4,3 / 4,8
- Warmtepomp water/water: 5,1 / 5,6
- Warmtepomp lucht/lucht: 2,9

De COP wordt verondersteld bepaald te zijn volgens EN 14511. De eerstgenoemde waarden in bovenstaande COP's zijn gebaseerd op volgende referenties:

- QUEST / EHPA label: Europees beoordelingssysteem van warmtepompen.
- Europese milieukeur (Ecolabel)
- Distributienetbeheerder Eandis en Infrax

De tweede waarde in bovenstaande COP's behoren tot de COP's die op vandaag tot de betere COP's op de markt behoren en zijn afgeleid uit gegevens uit projecten van Ingenium.

6.2.13 Overzicht varianten warmte-opwekking

Volgende varianten naar warmte-opwekking worden doorgerekend:

- Bestaande gasketel (als referentie-installatie voor het bestaand kantoorgebouw)
- Bestaande stookolieketel (als referentie-installatie voor bestaand schoolgebouw)
- Gascondensatieketel
- Warmtepomp lucht/water
- Warmtepomp bodem/water
- Warmtepomp water/water
- Warmtepomp lucht/lucht
- Houtpelletketel
- Stadsverwarming

- WKK

6.3 KOUDE-OPWEKKING

Hierbij wordt de EER bepaald volgens NBN EN 14511.

Er is een belangrijk verschil in koelconcepten tussen kantoren en scholen. Voor lagere en secundaire scholen wordt doorgaans geen koeling toegepast, noch in nieuwbouw, noch bij renovaties. De reden hiertoe is drievoudig:

- Het budget is beperkt.
- Men gaat veelal door passieve maatregelen de koelbehoefte proberen drukken. Wat soms wel wordt gedaan is de betonmassa van het gebouw niet afdekken en nachtventilatie toepassen.
- In de zomermaanden juli en augustus zijn deze scholen gesloten.

Voor hoger onderwijs zijn er soms wel al grotere budgetten beschikbaar. Hier worden dan soms specifieke lokalen zoals computerklassen en/of de kantoorruimtes gekoeld.

Omwille van de specificaties van de referentiegebouwen horen ze meer thuis in de eerstgenoemde categorie. Hierom veronderstellen we voor de scholen geen actieve koeling.

Deze benadering laat toe een eenduidige vergelijking te maken. Het verschil in gerealiseerd comfort leidt immers tot een moeilijke vergelijkbaarheid tussen gebouwen met koeling en gebouwen zonder koeling. Door inrekening van een fictieve koelbehoefte kunnen de verschillende scenario's zonder koeling onderling vergeleken worden.

6.3.1 Luchtgekoelde compressiekoelmachine met EER = 3

Algemeen

De compressiekoelmachine wordt beschouwd als maatregel voor alle kantoorgebouwen. Voor het nieuw kantoorgebouw wordt het beschouwd als het 'standaard' koude-opwekkingssysteem.

Kostprijs

De kost hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Dimensionering

De luchtgekoelde compressiekoelmachine wordt gedimensioneerd enerzijds als enige koude-opwekker die 100% van de koudevraag invult, anderzijds aanvullend op koudeopslag in de bodem of warmtepomp in zomerbedrijf wanneer deze niet op de volledige koellast zijn gedimensioneerd.

6.3.2 Compressiekoelmachine met EER > 3

Een EER van 3 is reeds erg ambitieus. Volgens de classificatie van Eurovent behoren compressiekoelmachines met deze EER al tot klasse A of de betere types van klasse B. Hierom lijkt het ons niet zinvol om een compressiekoelmachine te beschouwen met een nog betere EER.

6.3.3 Koudeopslag

Algemeen

De rechtstreekse benutting van koude die op seizoen basis in het grondmassief opgeslagen is zonder tussenkomst van een koelmachine, ook wel passieve koeling genoemd, wordt beschouwd als maatregel voor alle kantoorgebouwen.

De koude die in de winter wordt opgeslagen in de bodem door middel van een bodem-water of een water-water warmtepomp, wordt er in de zomer terug uitgehaald door middel van een warmtewisselaar. Bij deze manier van koelen verbruiken enkel de circulatiepompen energie wat tot een erg grote efficiëntie leidt. Merk op dat door deze manier van koelen een hoog temperatuurregime wordt toegepast.

Kostprijs

De kostprijs van het grondsysteem is al toegelicht in het deel verwarming. De kost hangt af van de grootte van het vermogen en wordt dus ook in functie van het vermogen uitgedrukt (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Dimensionering

Deze manier van koelen wordt beschouwd wanneer voor verwarming een warmtepomp bodem-water of water-water is voorzien. Hiervoor zijn al twee scenario's vooropgesteld voor de dimensionering. In deze scenario's wordt de dimensionering van de koelinstallatie afgestemd op de grootte van het bodemsysteem dat is gedimensioneerd op de warmtevraag.

Daarnaast wordt er een derde scenario voor de dimensionering vooropgesteld waarbij het bodemsysteem niet wordt gedimensioneerd op het verwarmingsvermogen maar op 100% van het gevraagde koelvermogen. In dit scenario zal het vermogen van de warmtepomp voor verwarming afgestemd worden op het beschikbare vermogen zoals gedimensioneerd op de koudevraag.

6.3.4 Warmtepomp in zomerbedrijf

De koude die in de winter wordt opgeslagen in de bodem door middel van een bodem-water of een water-water warmtepomp, wordt in de zomer terug benut door middel van een koelmachine. De meerwaarde van deze koelmachine ten opzichte van passieve koeling is er enkel wanneer lage temperatuur koeling wordt voorzien en de warmtewisselaar bij passieve koeling niet in staat is om het ijswater tot deze lage temperaturen te koelen.

Aangezien het enkel zinvol is deze techniek te beschouwen bij toepassing van lage temperatuur koeling, werd deze techniek initieel enkel beschouwd in combinatie met ventilo-convectoren als afgiftesysteem. Omdat finaal over de ventilo-convectoren werd besloten om deze niet mee te nemen in de studie (zie paragraaf 6.4.7), wordt ook de warmtepomp in zomerbedrijf niet verder beschouwd. Aangezien men bij de toepassing van een bodemgekoppelde warmtepomp voor kantoren meestal hoge temperatuurkoeling gaat toepassen om zo passief te kunnen koelen, doet het niet beschouwen van de warmtepomp in zomerbedrijf geen afbreuk aan de representativiteit van de beschouwde koelsystemen.

6.3.5 Grondbuizen

Om passief te kunnen koelen, worden soms ook grondbuizen toegepast. Hierbij wordt de verse lucht om de ruimten te ventileren eerst door een ondergrondse warmtewisselaar gestuurd zodat deze lucht

in de zomer passief wordt voorgekoeld. Omdat de EPU-methode - vastgelegd in bijlage VI van het Energiebesluit - op vandaag nog geen mogelijkheid geeft om grondbuizen in te rekenen, wordt deze techniek niet verder beschouwd.

6.3.6 Overzicht varianten koude-opwekking

Volgende varianten naar koude-opwekking worden doorgerekend:

- Compressiekoelmachine met EER = 3 (voor kantoren)
- Koudeopslag (bij warmtepomp bodem-water en water-water voor kantoren)
- Geen koeling (voor scholen)

6.4 AFGIFTESYSTEEM

6.4.1 Bestaande ventilo-convectoren

Voor het referentie bestaand kantoorgebouw worden ventilo-convectoren verondersteld voor zowel verwarming als koeling. Deze worden geacht aan vervanging toe te zijn en bij de renovatie verwijderd te worden.

6.4.2 Bestaande hoge-temperatuur radiatoren

Voor het referentie bestaand schoolgebouw worden hoge-temperatuur radiatoren beschouwd. Tevens wordt gekeken naar het scenario waarbij deze radiatoren behouden worden en het temperatuur regime wordt aangepast in functie van de genomen maatregelen. Bij hoge temperatuurregimes wordt de combinatie met warmtepompen niet bekeken. Bij lage temperatuurregimes wel.

6.4.3 Lage-temperatuur radiatoren

Voor verwarming wordt de toepassing van lage-temperatuur radiatoren beschouwd bij de referenties voor zowel het bestaand als nieuw kantoor- en schoolgebouw. Het temperatuur regime wordt gelijkgesteld aan 50 – 30°C.

Op gebouwniveau kan de kost uitgedrukt worden in functie van het totale verwarmingsvermogen van de warmteopwekker (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Bij voldoende kwalitatieve renovaties wordt verondersteld dat indien het nodige afgiftevermogen voor verwarming voldoende is gedaald, de bestaande radiatoren bij het referentie bestaand schoolgebouw volstaan om te verwarmen en er dus geen bijkomende kost is voor de vernieuwing van het afgiftesysteem voor verwarming.

6.4.4 Vloerverwarming

De toepassing van vloerverwarming wordt beschouwd bij de referenties voor zowel het bestaand als nieuw kantoor- en schoolgebouw. Het temperatuur regime is afhankelijk verondersteld van de warmtevraag in het gebouw. Deze kan gaan van 35 – 31°C tot 50 – 40°C.

De kost wordt uitgedrukt op basis van de oppervlakte aan vloerverwarming (€/m²). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Bij renovaties wordt verondersteld dat er geen bijkomende kosten zijn en het vloerverwarmingssysteem rechtstreeks op de bestaande vloer kan geplaatst worden.

6.4.5 Koelplafond

De toepassing van koelplafonds wordt beschouwd bij de referenties voor zowel het bestaand als nieuw kantoorgebouw.

De kost wordt uitgedrukt op basis van de oppervlakte aan gekoelde ruimten (€/m²). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

Bij renovaties wordt verondersteld dat er geen bijkomende kosten zijn en de koelplafonds rechtstreeks aan het bestaande plafond kunnen geplaatst worden.

6.4.6 Lucht

Bij toepassing van een warmtepomp lucht/lucht wordt door directe expansie de warmte/koude rechtstreeks afgegeven aan de lucht in de te verwarmen/koelen ruimte zelf. Dit gebeurt door middel van binnen units waarin de ruimtelucht over de warmtewisselaar wordt gevoerd.

De toepassing hiervan wordt beschouwd bij de referenties voor zowel het bestaand als nieuw kantoorgebouw. Bij kantoren wordt een systeem geplaatst dat gelijktijdig kan verwarmen en koelen. Bij scholen een systeem dat enkel dient voor de verwarming.

De kost hiervan wordt uitgedrukt in functie van het gevraagde verwarmings- en koelvermogen op gebouwniveau (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

6.4.7 Ventilo-convectoren

Initieel werden bij de referenties voor zowel het bestaand als nieuw kantoorgebouw ook ventilo-convectoren als mogelijk afgiftesysteem beschouwd omwille van mogelijk beperkende randvoorwaarden van praktische of financiële aard.

Finaal werd geconcludeerd dat de huidige manier van doorrekenen van ventilo-convectoren in de EPU-methode, vastgelegd in bijlage VI van het Energiebesluit, niet voldoende strookt met de realiteit om een correcte vergelijking te kunnen maken met andere technieken. Hierom werd geopteerd om deze techniek niet meer te beschouwen in de verdere studie.

De referentie voor het bestaand kantoorgebouw is echter wel uitgerust met dit type afgiftesysteem. De redenen hiertoe zijn:

- Ventilo-convectoren zijn één van de meest voorkomende afgiftesystemen om te verwarmen en koelen in bestaande kantoorgebouwen.
- De optredende fout in de huidige manier van doorrekenen in de EPU-methode is bij bestaande (oude) ventilo-convectoren minder groot dan bij nieuw geplaatste.
- Het energieverbruik van het referentiegebouw is irrelevant. Het is het verschil tussen het energieverbruik van de maatregelpakketten onderling dat van belang is om het kostenoptimaal E-peil te bepalen.

6.4.8 Betonkernactivering

Voor renovaties is het niet zinvol betonkernactivering te beschouwen. Het systeem maakt immers deel uit van de gebouwstructuur.

Betonkernactivering is voor kantoortoepassingen een erg veelbelovende techniek. Het is een afgiftesysteem dat zeer-lage-temperatuurverwarming en zeer-hoge-temperatuurkoeling toelaat. De regeling ervan verschilt echter van de meeste ingeburgerde verwarming- en koelingafgiftesystemen en is op vandaag nog niet geïmplementeerd in de EPU-methode, vastgelegd in bijlage VI van het Energiebesluit. Hierom wordt geadviseerd om deze technologie pas bij een revisie van voorliggende studie te implementeren wanneer de regeling en de implementatie ervan in de EPU-methode verder staat dan op vandaag.

6.4.9 Ventilatielucht

Wanneer het gevraagde verwarmingsvermogen voldoende is gereduceerd, kan het voorziene ventilatiedebiet voldoende zijn om de ruimten mits een naverwarmingsbatterij in het eindstuk van het pulsiekanaal te verwarmen. In dit geval waarbij het ventilatiedebiet niet moet verhoogd worden, wordt ook dit verwarmingssysteem beschouwd. Merk op dat dit enkel mogelijk is en dus enkel wordt beschouwd bij ventilatiesysteem D.

De kost hiervan wordt uitgedrukt in functie van het gevraagde verwarmingsvermogen op gebouwniveau (€/kW). Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

6.4.10 Overzicht varianten afgifte-systemen

Volgende varianten naar afgifte-systemen worden doorgerekend:

Voor de kantoorgebouwen met zowel verwarming als koeling:

- Bestaande ventilo-convectoren (enkel voor de referentie van het bestaand kantoorgebouw)
- LT-radiatoren + koelplafond
- Vloerverwarming + koelplafond
- Binnen-unit van warmtepomp lucht/lucht
- Verwarmingsbatterij in pulsiekanaal + koelplafond

Merk op dat met de combinatie vloerverwarming + koelplafond beide systemen kunnen dienen voor zowel verwarming als koeling. Om de kosten te drukken worden hierom volgende stappen doorlopen:

- Stap 1: Indien vloerverwarming volstaat om zowel te verwarmen als te koelen, wordt er naast het vloerafgiftesysteem geen ander afgiftesysteem verondersteld.
- Stap 2: Indien niet wordt voldaan aan stap 1 en indien koelplafonds volstaan om zowel te verwarmen als te koelen, wordt er naast plafondafgiftesysteem geen ander afgiftesysteem verondersteld.
- Stap 3: Indien niet wordt voldaan aan stap 1 of stap 2 worden zowel het vloerverwarmings- als het plafondafgiftesysteem verondersteld.

Voor de schoolgebouwen met enkel verwarming:

- Bestaande hoge-temperatuur radiatoren (enkel voor de referentie van het bestaand schoolgebouw)
- Behoud bestaande radiatoren met aangepast temperatuur regime (enkel bij het bestaand schoolgebouw)
- Lage-temperatuur radiatoren
- Vloerverwarming
- Binnen-unit van warmtepomp lucht/lucht

- Verwarmingsbatterij in pulsiekanaal (bij gereduceerde warmtevraag en ventilatietype D)

6.5 REGELING

De EPU-methode, vastgelegd in bijlage VI van het Energiebesluit, gebruikt bepaalde waarden voor vernietiging van energie en weegfactoren voor leidingverliezen voor de berekening van het jaarlijkse verbruik voor verwarming en koeling. Deze waarden verschillen wanneer er al dan niet een regeling per ruimte is voorzien voor verwarming en koeling. Wanneer echter zowel voor verwarming als voor koeling gebruik wordt gemaakt van water als transportmiddel, is er geen waarde opgegeven indien er geen regeling per ruimte wordt voorzien. Bij het gebrek aan de achterliggende redenering bij het opstellen van deze waarden of van andere mogelijke methoden, is het niet mogelijk hier een gefundeerde waarde voor te geven. Wanneer voor zowel verwarming als koeling het warmtetransport gebeurt door water, wordt hierom enkel de situatie beschouwd waarbij er voor iedere ruimte een regeling is voorzien.

Bij kantoren heeft dit als gevolg dat er altijd een regeling per ruimte wordt voorzien. Dit wijkt echter niet veel af van wat in de realiteit wordt gedaan waar standaard bijna altijd een regeling per ruimte wordt toegepast. In bepaalde gevallen wanneer de warmte- en/of koudevraag van enkele lokalen sterk gelijkaardig is, kan men hiervan afwijken om budgettaire redenen. Zo kan men bij een aantal lokalen op dezelfde verdieping, met dezelfde oriëntatie en met hetzelfde gebruikersprofiel 1 regeling gebruiken om meerdere ruimten in diezelfde zone te regelen zonder dat er significant aan comfort wordt ingeboet of zonder dat er noodzakelijkerwijs energievernietiging optreedt.

Bij scholen worden wel de twee mogelijkheden doorgerekend omdat er geen koeling wordt beschouwd (waarbij water als transportmiddel wordt verondersteld).

In de dagelijkse praktijk is het voor bepaalde afgiftesystemen al gebruikelijk dat er standaard een regeling wordt voorzien die de warmte- en/of koudeproductie afstemt op de warmte- respectievelijk koudevraag. Bij andere afgiftesystemen betekent deze regeling per ruimte een belangrijke meerkost. Daarom worden volgende scenario's beschouwd.

Voor kantoorgebouwen:

	Regeling per ruimte	Geen regeling per ruimte
Bestaande ventilo-convectoren (enkel bij de referentie voor het bestaand kantoorgebouw)	x	
LT-radiatoren + koelplafond	x	
Vloerverwarming + koelplafond	x	
Binnen-unit van warmtepomp L/L	x	

Verwarmingsbatterij in pulsiekanaal + koelplafond	x	

Voor schoolgebouwen:

	Regeling per ruimte	Geen regeling per ruimte
Bestaande radiatoren (enkel bij de referentie voor het bestaand schoolgebouw)	x	
Behoud bestaande radiatoren met aangepast temperatuur regime (enkel bij het bestaand schoolgebouw)	x	
LT-radiatoren	x	
Vloerverwarming	x	x
Binnen-unit van warmtepomp L/L	x	
Verwarmingsbatterij in pulsiekanaal	x	

6.6 VERLICHTING

6.6.1 Geïnstalleerd vermogen

Algemeen

De prijs van de verlichting is geen directe functie van het geïnstalleerd vermogen. Zo is het mogelijk om een erg laag geïnstalleerd vermogen te plaatsen zonder dat hier een meerkost mee gepaard hoeft te gaan. De keuze van het geïnstalleerd vermogen en de kostprijs hangen meer samen met het esthetische aspect. Hierom is een zelfde kostprijs voorgesteld voor elk van de geïnstalleerde vermogens.

Gezien dezelfde kost voor de verschillende scenario's is één scenario voldoende om het kostenoptimum op het vlak van het geïnstalleerde vermogen te bepalen. Omdat een verschillend opgesteld vermogen echter een verschillende besparing heeft afhankelijk van de regeling, worden wel 2 scenario's doorgerekend.

Er is een voorstel gedaan om ook het scenario te bekijken waarbij enkel de lampen worden vervangen en de armaturen worden behouden. Het resultaat van dit scenario hangt echter sterk af van het type armaturen, lampen en de bereikbaarheid van de armaturen die vooropgesteld worden. Indien er al efficiënte en goed bereikbare armaturen worden verondersteld waarin energiezuinige lampen passen, is de investeringskost van dit scenario erg beperkt terwijl het kan resulteren in één van de meest energiezuinige scenario's. Wanneer echter minder efficiënte en moeilijk bereikbare armaturen worden verondersteld kan de kost al een stuk hoger oplopen. Het resultaat is met andere woorden direct

afhankelijk van het concrete gebouw en product dat wordt verondersteld. Hierom is dit niet zinvol dit scenario in deze studie verder te onderzoeken.

We stellen volgende scenario's voor:

- 2,5 W/(m².100lx)
- 1,5 W/(m².100lx)

Kostprijs

Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

6.6.2 Regeling

Algemeen

Onderstaande mogelijkheden worden beschouwd naar regeling van verlichting bij de referenties voor zowel het bestaand als nieuw kantoor- en schoolgebouw.

- Geen regeling
- Aanwezigheidssturing in ruimtes niet bestemd voor menselijke bezetting
- Afwezigheidssturing in ruimtes bestemd voor menselijke bezetting
- Daglichtsturing

We beschouwen vier scenario's waarbij het volgende scenario telkens energiezuiniger is dan het voorgaande. De reden hiertoe is dat bijvoorbeeld aanwezigheidsdetectie in ruimtes niet bestemd voor menselijke bezetting voor een kleine investering al snel tot een besparing kan leiden. Hierdoor zal men veelal eerst deze maatregel toepassen vooraleer bijvoorbeeld daglichtsturing wordt toegepast. Dit blijkt eveneens uit de dossiers van Ingenium. De totale investeringskost voor een combinatie van regelmogelijkheden is makkelijk af te leiden uit concrete dossiers. De specifieke investeringskost van bijvoorbeeld enkel daglichtsturing is moeilijker af te leiden omdat deze niet als individuele maatregel wordt toegepast. Zo komen we tot volgende vier scenario's.

	Geen regeling	Aanwezigheidsdetectie in ruimtes niet bestemd voor menselijke bezetting	Afwezigheidsdetectie in ruimtes bestemd voor menselijke bezetting	Daglichtsturing
Scenario 1	x			
Scenario 2		x		
Scenario 3		x	x	

Scenario 4	x	x	x

Kostprijs

Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

6.7 VENTILATIE

Naar ventilatie worden volgende varianten beschouwd bij de referenties voor zowel het bestaand als nieuw kantoor- en schoolgebouw. Prijzen zijn weergegeven in BIJLAGE C van dit rapport.

6.7.1 Ventilatiesysteem

- Vrije toevoer en mechanische afvoer
- Mechanische toevoer en afvoer zonder warmterecuperatie
- Mechanische toevoer en afvoer met warmterecuperatie 70%
- Mechanische toevoer en afvoer met warmterecuperatie 80%

6.7.2 Bypass

Het aantal verschillende scenario's wordt beperkt tot twee, zijnde

- Geen bypass
- Volledige bypass

6.7.3 Balans

- Onbalans
- Balans zonder continue meting
- Balans met continue meting

Voor kantoor- en schoolgebouwen wordt bij het ontwerp van het ventilatiesysteem veelal maximaal getracht balans te realiseren. Daarom worden enkel volgende scenario's naar ventilatiebalans in kantoor- en schoolgebouwen beschouwd:

- Balans zonder continue meting
- Balans met continue meting

6.7.4 Debietsturing

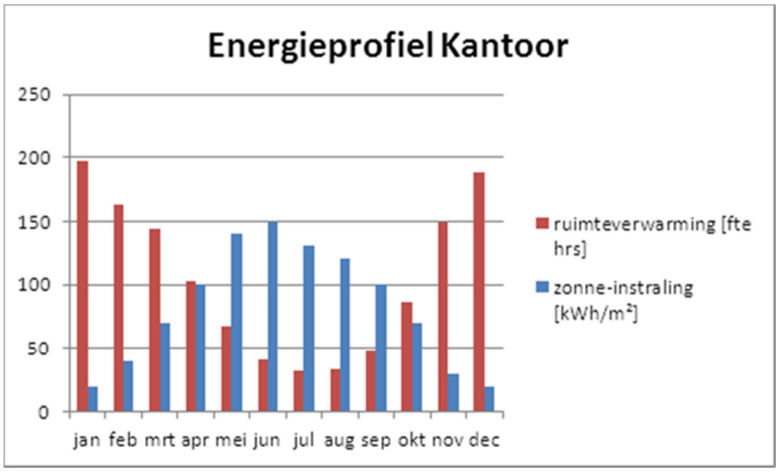
De sturing van het debiet op basis van gemeten grootheden (bijvoorbeeld CO2) kan leiden tot een belangrijke energiebesparing van de conditionering van de lucht en van het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren. In de versie van de EPU-methode, vastgelegd in bijlage VI van het Energiebesluit, waarop deze studie is gebaseerd, is er echter nog geen methode gedefinieerd om debietsturing in te rekenen. Daarom is dit niet verder uitgewerkt. Het is wel een belangrijke parameter om in een herziening van deze studie mee te nemen.

6.8 THERMISCHE ZONNEPANELEN

6.8.1 Algemeen

Voor scholen en kantoren is het doorgaans niet zinvol om thermische zonnepanelen te plaatsen. Tijdens de piekproductie (zomer) is er immers geen vraag naar verwarming. De vraag naar sanitair warm water op kantoren en scholen is bovendien minimaal.

Eigen aan thermische zonnepanelen is dat de grootste warmteproductie plaatsvindt gedurende de zomerdagen. De warmtevraag voor ruimteverwarming in kantoor- en schoolgebouwen is echter haast niet-bestaande in deze zomerdagen. De warmte die je gedurende de zomer produceert, geraak je zo niet kwijt waardoor de temperatuur van het glycol-mengsel in de installatie erg hoog kan oplopen. Hierdoor degradeert het glycol-mengsel en verkort de levensduur van de installatie.



Eigen aan de Cv-installatie is dat de grootste warmtevraag plaatsvindt gedurende de winterdagen. De warmteproductie van de thermische zonnepanelen is echter erg laag in deze winterdagen. Hierdoor zal het aandeel van de zonthermische panelen in de warmtevoorziening erg klein zijn evenals de verwezenlijkte energiebesparing.

Daarenboven treedt de piekwarmtevraag op in de ochtend, net na een lange afwezigheid van de zonnewarmte die des te langer duurt in de winter. Hierdoor heb je een groot volume aan buffervaten nodig wat de investering verhoogt.

6.8.2 Conclusie

Bovenstaande redenen zorgen ervoor dat voor de specifieke toepassing van thermische zonnepanelen voor CV-gebruik in een kantoor- of schoolgebouw niet zinvol is. Door het werkingsprincipe zal de energiebesparing immers erg beperkt zijn. De nodige buffervaten zorgen daarbij voor een verhoogde kost wat tot een lange terugverdientijd leidt terwijl de levensduur verkort door het gebrek aan warmtevraag in de zomer. Hierom worden thermische zonnepanelen voor CV-gebruik niet meegenomen in deze studie.

6.9 FOTOVOLTAÏSCHE PANELEN

Kostprijs en dimensionering

Voor fotovoltaïsche installaties werd, o.b.v. verschillende prijsvragen en een ruime expertise binnen 3E, een eenheidsprijs per geïnstalleerd kWp opgesteld, en dit voor volgende vermogensklassen:

- = 10 kW (voor het referentie nieuw schoolgebouw)
- > 50 kW en < 250 kW (voor de overige referentiegebouwen.

Installaties groter dan 10 kVA resulteren in een aantal eenmalige kosten (netstudiekosten, stabiliteitsstudie,...) waardoor in de praktijk weinig systemen met een vermogen kleiner dan 50 kWp worden geïnstalleerd vanwege hun lagere rentabiliteit.

Voor het referentie nieuw schoolgebouw wordt het vermogen gezien de kleine dakoppervlakte steeds beperkt tot 10 kVA. Enkel voor dit gebouw geldt het systeem van de terugdraaiende teller. Daaruit volgt dat echter ook een netvergoeding van toepassing is. Deze bedraagt gemiddeld 53 €/kWp.jaar excl. BTW [16].

Het verschil in levensduur tussen de verschillende componenten van de fotovoltaïsche installatie wordt opgevangen door een algemeen onderhoudscontract die ook de eventuele vervanging van materiaal zoals kabels en invertoren afdekt.

De ervaring leert dat het voorspellen van prijsevoluties voor fotovoltaïsche panelen en (in mindere mate) invertoren geen evidente zaak is. Voor beide wordt een lichte prijsdaling verwacht in 2013, waarna een periode van stabilisatie zou volgen. Gezien de lange levensduur van een fotovoltaïsche installatie (rekening houdend met het onderhoudscontract) wordt een herinvestering in beschouwing genomen na 25 jaar.

Gedetailleerde technische en prijsgegevens voor fotovoltaïsche installaties zijn terug te vinden in BIJLAGE C.

Oriëntatie en helling

Op voorwaarde dat de PV-installatie georiënteerd ligt tussen oost en west over zuid, heeft de precieze oriëntatie van de installatie slechts een beperkte impact op de efficiëntie. Aangezien in de praktijk de dakoppervlakte doorgaans de beperkende factor is, worden de panelen veelal in lijn gelegd met de gebouworiëntatie om de dakoppervlakte zo efficiënt mogelijk te benutten. De oriëntatie van het gebouw zal m.a.w. de oriëntatie van de PV-panelen bepalen.

7 RESULTATEN

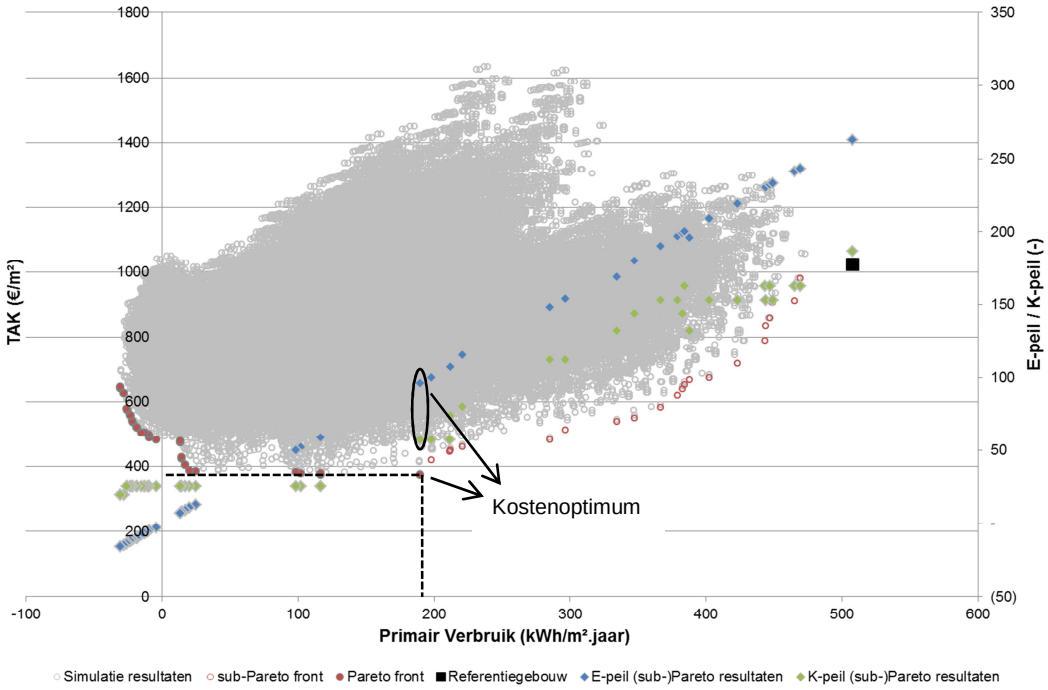
7.1 EVALUATIE VOOR MEERDERE OBJECTIEVEN: HET PARETO FRONT

In dit hoofdstuk worden de verschillende maatregelenpakketten beoordeeld vanuit twee criteria, zijnde:

- economisch (uitgedrukt in totale actuele kost); en
- energetisch (uitgedrukt in primair energieverbruik, E-peil,...)

Deze twee objectieven moeten dus ten opzichte van elkaar afgewogen worden. Om een objectieve beoordeling mogelijk te maken, moet men ieder objectief gelijkwaardig behandelen.

Een interessant wiskundig concept hiervoor is het zoeken van de niet-gedomineerde oplossing of het Pareto front. Een oplossing is niet gedomineerd als er geen andere oplossing is binnen de set van oplossingen die gelijk of beter presteert in één objectief zonder slechter te presteren in het andere objectief. Bij twee objectieven resulteert dit in een lijn van niet-gedomineerde resultaten: het Pareto front[22]. Figuur 17 geeft een voorbeeld van een resultatenwolk waarop een Pareto analyse werd toegepast.



Figuur 17: Voorbeeldfiguur resultaten Pareto analyse voor de objectieven primair energieverbruik en totale actuele kost (linkse y-as) met weergave van het corresponderend K- en E-peil (rechtse y-as) voor de resultaten op het (sub-)Pareto front

[22] Een Pareto optimalisatie voor meer dan 3 objectieven is mogelijk, maar de visualisatie is minder evident.

De resultatenwolk

In deze figuur wordt het primair energieverbruik (in kWh/m².jaar) ten opzichte van de totale actuele kost (in €/m²) weergegeven en dit voor vele duizenden verschillende maatregelen(pakketten). Elke lichtgrijze cirkel vertegenwoordigt één specifieke maatregel of maatregelenpakket. Alle combinaties samen geven een grote (grijze) resultatenwolk.

Het Pareto front

De volle rode cirkels stellen de niet-gedomineerde oplossingen of het Pareto front voor. Grafisch betekent dit dat voor een niet-gedomineerde oplossing geen andere oplossingen gevonden worden in de rechthoek gevormd door de assen en de lijnen vanuit het punt loodrecht op de assen. Dit betekent dat er binnen de berekende oplossingen geen enkele oplossing te vinden is die beter presteert qua primair energieverbruik én totale actuele kost. Voor gedomineerde oplossingen (de lichtgrijze cirkels) liggen er wel één of meerdere oplossingen in een dergelijke rechthoek en zijn er dus wel oplossingen te vinden die beter presteren voor beide objectieven. Het is bijgevolg vanuit energetisch én economisch oogpunt het meest interessant een oplossing te kiezen die op het Pareto front ligt.

Het concept van niet-dominantie wordt vaak gebruikt in optimalisatieproblemen en is een interessant hulpmiddel om de wisselwerking tussen twee of meer objectieven te bepalen, in dit geval het primair energieverbruik en de totale actuele kost

Voor een bouwheer die vooral naar de totale actuele kost kijkt, zijn de onderste oplossingen de meest interessante. Wil men als overheid echter een zo groot mogelijke primaire energiebesparing, dan moet men de meest linkse oplossingen promoten. Tegelijk geeft de figuur de totale actuele kost die hiermee overeenkomt, waaruit men als overheid kan afleiden welke financiële ondersteuning nodig is om deze keuzes aantrekkelijk te maken. Gelijkaardige grafieken kunnen gemaakt worden met andere objectieven en zijn zeer verduidelijkend bij de verwerking en interpretatie van alle simulaties en berekeningen. Men kan ermee bepalen welke investeringen nuttig zijn, in welke volgorde men de investeringen best implementeert, welke primaire energiebesparing men hiermee kan bereiken en welk E-peil hiermee overeenkomt.

Het kostenoptimum

Het kostenoptimum is die oplossing op het Pareto front met de laagste totale actuele kost. In theorie is dit één welbepaald punt en vertegenwoordigt het de meest kostenoptimale keuze. In werkelijkheid is het beter de puntenwolk rond het theoretische optimum te beschouwen, die we de kostenoptimale zone noemen. Bij ons voorbeeld (Figuur 17) kunnen we een veel grotere primaire energiebesparing bereiken voor een totale actuele kost die quasi gelijk is aan die van het kostenoptimum. De 'beste keuze' is functie van het gewicht die aan beide objectieven wordt gegeven en is m.a.w. niet altijd het kostenoptimum.

Het sub-Pareto front

Een groep oplossingen is 'suboptimaal', in de zin dat zowel het primair energieverbruik als de totale actuele kost verbeterd kan worden. Dit zijn de rode cirkels rechts van kostenoptimum in ons voorbeeld (Figuur 17). Hiervoor is echter een grotere meerinvestering vereist, zodat het bijvoorbeeld in geval van beperkt budget toch mogelijk is dat deze oplossingen gekozen worden. Deze oplossingen liggen strikt genomen niet op het Pareto front. Op het zogenaamde sub-Pareto front liggen die oplossingen die voor

een specifiek beperkt initieel investeringsbudget resulteren in de grootste primaire energiebesparing tegen de laagste totale actuele kost.

Andere resultaatwaarden op de Pareto grafieken

In de concluderende paragrafen in dit hoofdstuk worden bij de grafieken met Pareto analyses ook andere resultaatwaarden weergegeven. Zo worden bij ons voorbeeld (Figuur 17) voor de maatregelenpakketten op het (sub-)Pareto front het overeenkomstig K- en E-peil weergegeven op de tweede y-as.

7.2 RESULTATEN BESTAAND KANTOORGEBOUW

7.2.1 Scenariokeuze

De resultaten zoals hieronder besproken zijn het resultaat van energetische en financiële berekeningen o.b.v. de volgende algemene scenariokeuzes:

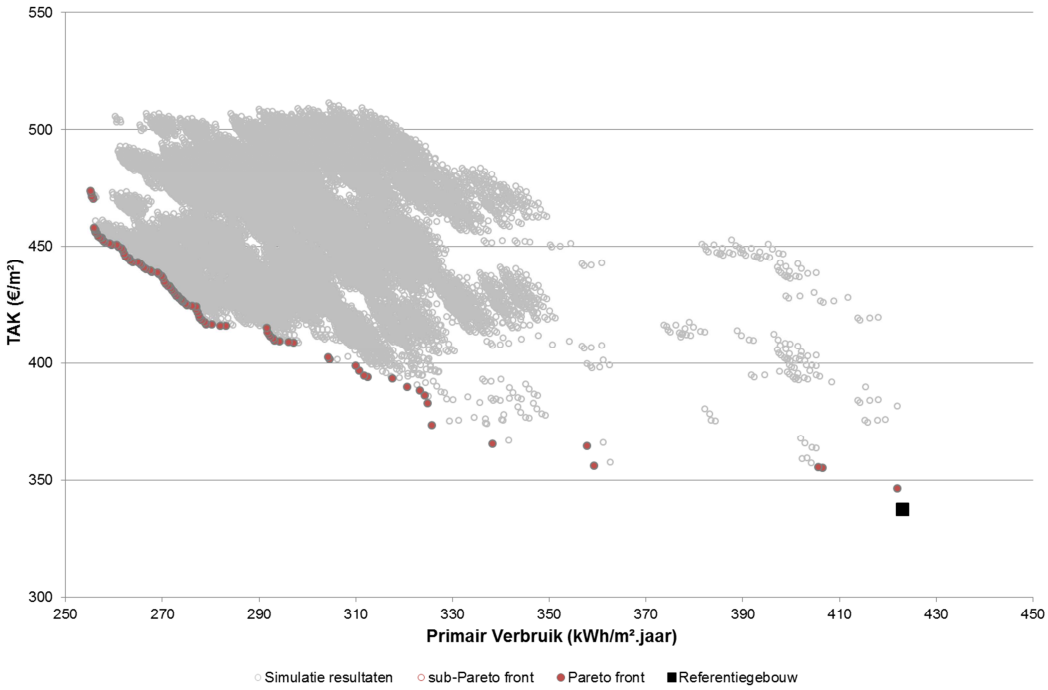
- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 20 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen zonder overheidssteun;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 4%

7.2.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten

Figuur 18 toont de resultaten en het Pareto front voor de bouwfysische maatregelencombinaties bij het bestaand kantoorgebouw. In totaal betreft het ruim 27,000 maatregelencombinaties.

Een eerste belangrijke vaststelling is dat er geen maatregelenpakketten zijn met een lagere totale actuele kost dan het referentiegebouw. Hierin ligt tevens het grootste verschil met het bestaand schoolgebouw. Bij die laatste resulteert het overgrote deel van de bouwfysische maatregelen(pakketten) in een lagere totale actuele kost dan het referentiegebouw. Dit belangrijke verschil is toe te schrijven aan de performantere gebouwschil van ons bestaand kantoorgebouw (ramen met dubbel glas plus vloer-, gevel- en dakisolatie). De voorkeur dient hier m.a.w. naar installatietechnische maatregelen te gaan.

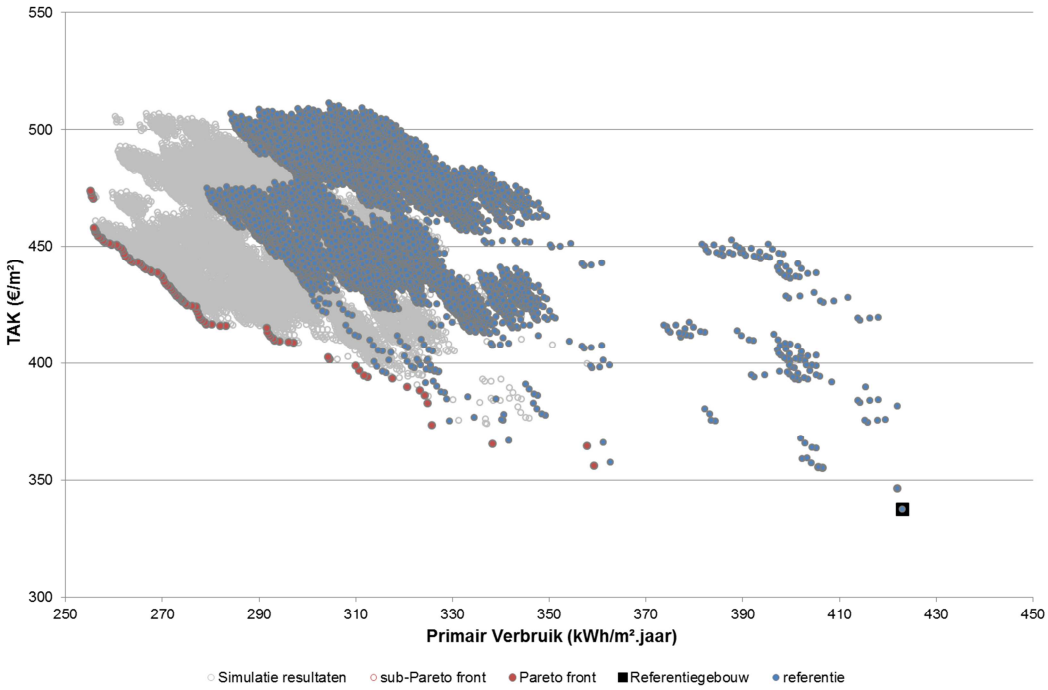
Noot: Doordat alle maatregelen(pakketten) resulteren in een zekere primaire energiebesparing én de totale actuele kost hiervoor steeds groter wordt in vgl. met het referentiegebouw, is hier geen sub-Pareto front van toepassing.



Figuur 18: Resultaten bouwfysische maatregelen(pakketten) voor het bestaand kantoorgebouw

Bouwknopen

Uit Figuur 19 blijkt duidelijk dat het niet oplossen en als EPB conform ingeven van de belangrijkste bouwknopen niet te prefereren is. De extra aandacht voor het oplossen van enkele specifieke bouwknopen en de daarbij horende studiekost valt duidelijk te verkiezen boven het alternatief.

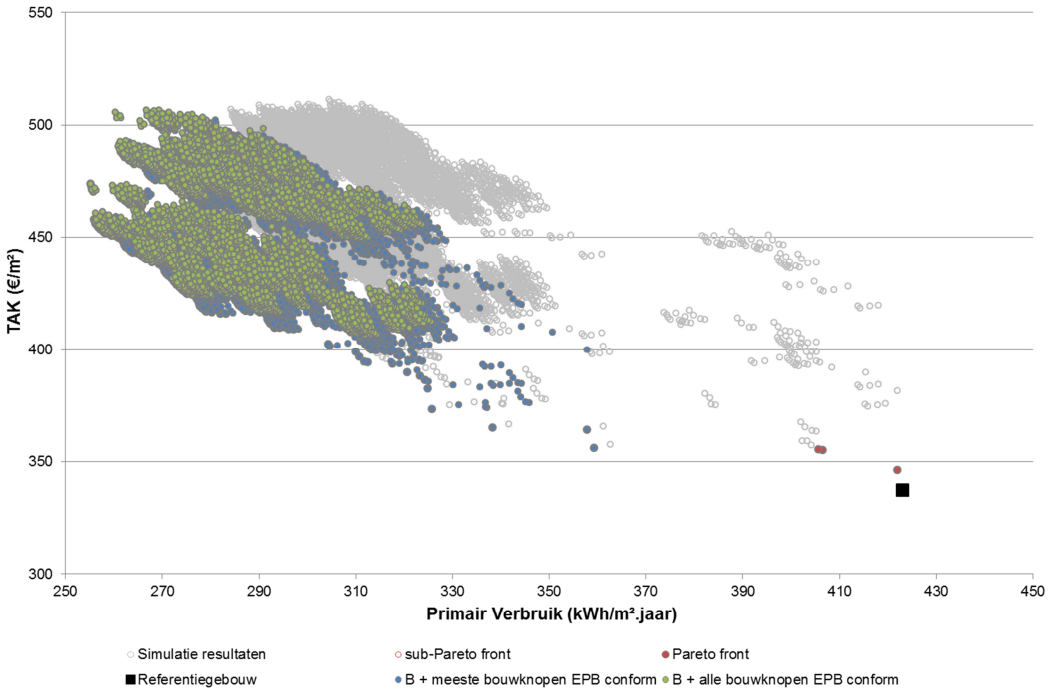


Figuur 19: Resultaten referentie bouwknopen (methode B + belangrijke niet EPB conforme bouwknopen) voor het bestaand kantoorgebouw

Het oplossen van de bouwknopen vraagt een extra investering, maar doordat deze als EPB-conform kunnen worden ingevoerd, dalen de transmissieverliezen aanzienlijk. Bouwknopen kunnen enkel als EPB conform worden beschouwd indien deze ook effectief werden aangepakt, wat impliceert dat de betrokken verliesoppervlakken ook werden aangepakt. Deze maatregel kan m.a.w. enkel worden toegepast indien de betrokken verliesoppervlakken ook gerenoveerd werden. Dit verklaart waarom de varianten, zijnde:

- methode B + meeste bouwknopen EPB conform; en
- methode B + alle bouwknopen EPB conform;

enkel van toepassing zijn wanneer een zekere primaire energiebesparing wordt bereikt overeenkomend met het gelijktijdig renoveren van verschillende verliesoppervlakken.



Figuur 20: Resultaten bouwknoopvarianten voor het bestaand kantoorgebouw

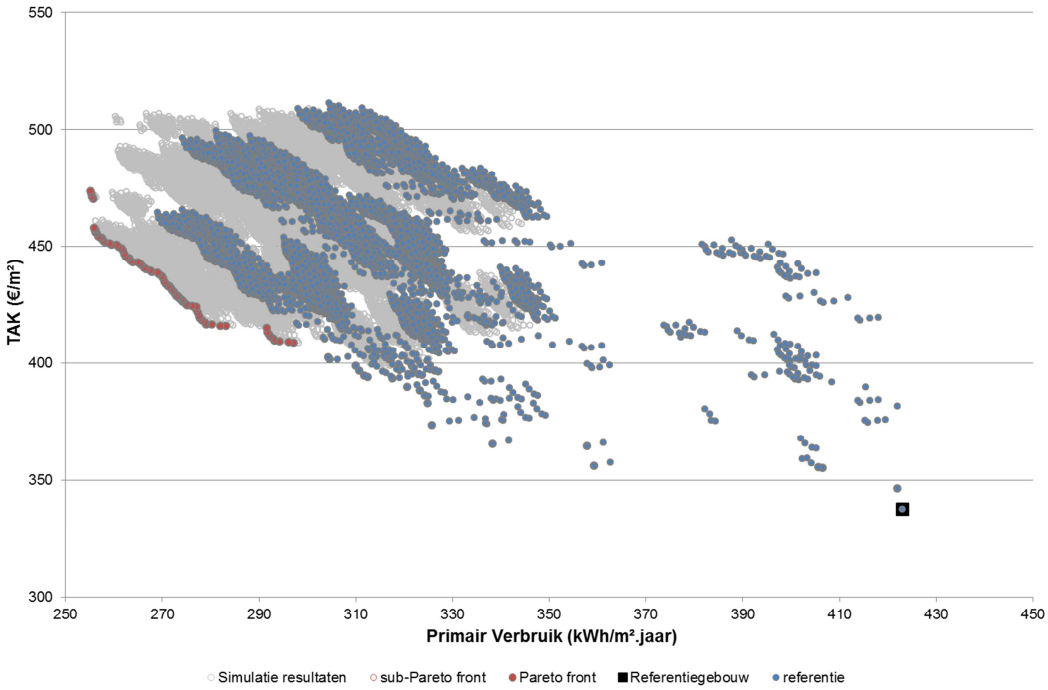
Luchtdichtheid

Specifieke inspanningen m.b.t. het verbeteren van de luchtdichtheid worden maar in beschouwing genomen wanneer het om een 'totaalrenovatie' gaat. Concreet betekent dit wanneer zowel dak, gevel (muur en ramen) als vloer worden gerenoveerd.

In het andere geval wordt de standaard luchtdichtheid (v50 = 12 m³/h.m²) automatisch verlaagd o.b.v. toegepaste isolatiemaatregelen voor die specifieke maatregelencombinatie (zie 5.8). De punten met deze referentie luchtdichtheidswaarden worden weergegeven in Figuur 21.

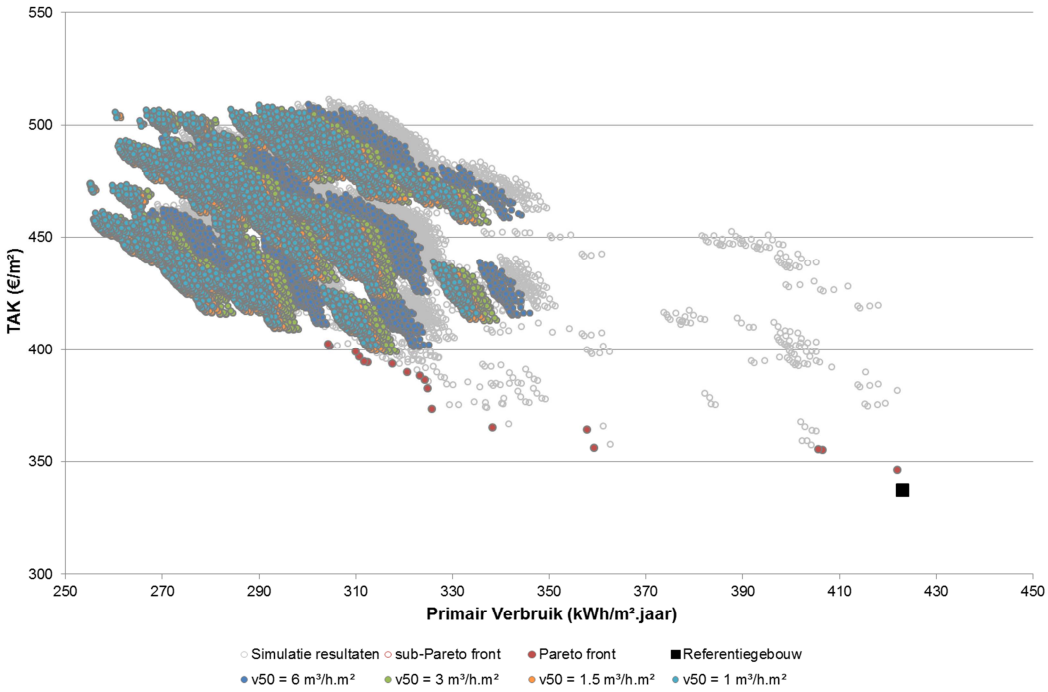
Hieruit blijkt dat al een grote primaire energiebesparing kan worden bereikt zonder bijkomende inspanning. Om deze primaire energiebesparing te valoriseren dient de verbeterde luchtdichtheid welliswaar te worden gevaloriseerd d.m.v. een pressurisatieproef, wat een beperkte kost met zicht meebrengt.

Vanaf een bepaalde primaire energiebesparing blijkt dit echter niet langer de meest kostenoptimale optie te zijn (de referentiepunten, aangeduid in het blauw, liggen niet langer op het Pareto front).



Figuur 21: Resultaten referentie luchtdichtheid (inclusief een eventuele daling onder invloed van andere isolatiemaatregelen) voor het bestaand kantoorgebouw

Uit Figuur 22 kunnen we besluiten dat extra luchtdichtheidsinspanningen bij een totaalrenovatie wel degelijk lonen. De relatief beperkte meerkost om bij een totaalrenovatie naar een ambitieus luchtdichtheidsniveau te gaan rendeert. Op het Pareto front wisselen een luchtdichtheidsniveau van v50 = 1.5 m³/h.m² en v50 = 1 m³/h.m² elkaar af. De totale actuele kost om een luchtdichtheidsniveau te bereiken van 6 m³/h.m² ligt hoger dan dat van de volgende (2) stap(pen) (zijnde 3 en 1.5 m³/h.m²). Deze variant is m.a.w. niet zozeer interessant, mede als gevolg van het feit dat quasi eenzelfde luchtdichtheidsniveau kan worden bereikt door het uitvoeren van verschillende maatregelen naar gebouwschil in standaard uitvoering. We kunnen besluiten dat het, in het geval van een totaalrenovatie, zeker rendeert om op vlak van luchtdichtheid een extra inspanning te doen en een luchtdichtheidsniveau van 1.5 tot 1 m³/h.m² na te streven.

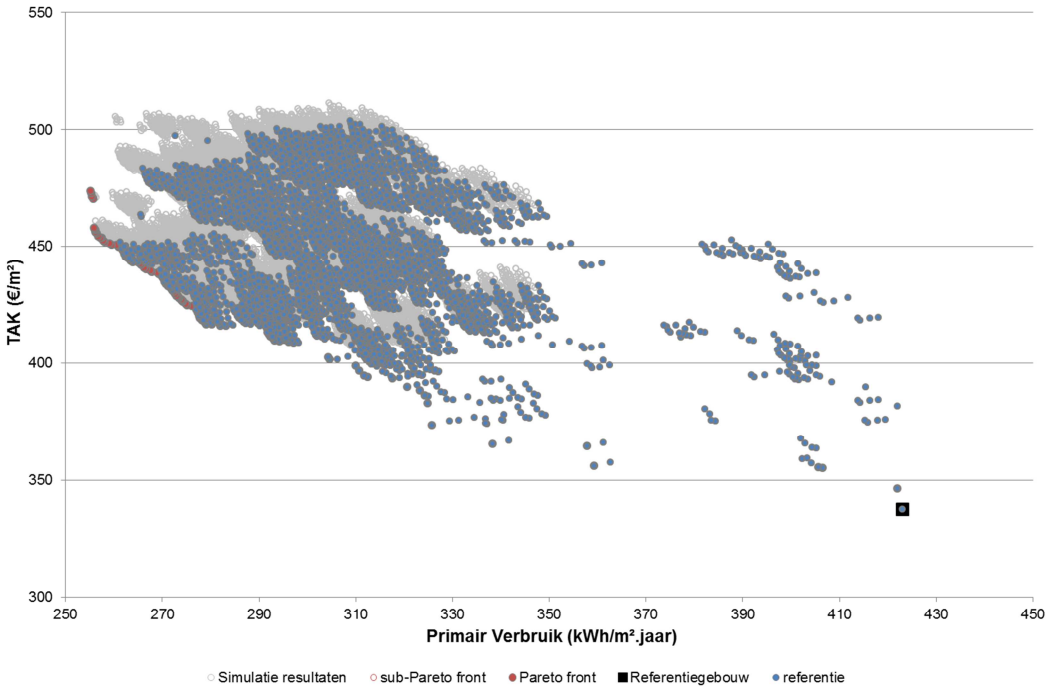


Figuur 22: Resultaten luchtdichtheidsvarianten voor het bestaand kantoorgebouw

Vloerisolatie

Vloerisolatie wordt enkel in beschouwing genomen bij een totaalrenovatie van het gebouw. De keuze voor een totaalrenovatie is doorgaans gebaseerd op verschillende motieven, waarvan het verminderen van de warmteverliezen via de vloer doorgaans niet het primaire objectief is. Daarom wordt bij toepassing van deze maatregel op dit gebouw enkel rekening gehouden met de kosten voor isolatie (materiaal en installatiekost). Afwerkingskosten laten we buiten beschouwing. Overige kosten (zoals voor de aanpassing van het vloerniveau) veronderstellen we inherent aan de keuze voor een totaalrenovatie en laten we bijgevolg eveneens buiten beschouwing bij de analyse deze maatregel.

Op basis van Figuur 23 kunnen we besluiten dat het behouden van de bestaande situatie (2 cm vloerisolatie met een lambda-waarde van 0.045 W/mK) in veel gevallen een kostenoptimale keuze is.



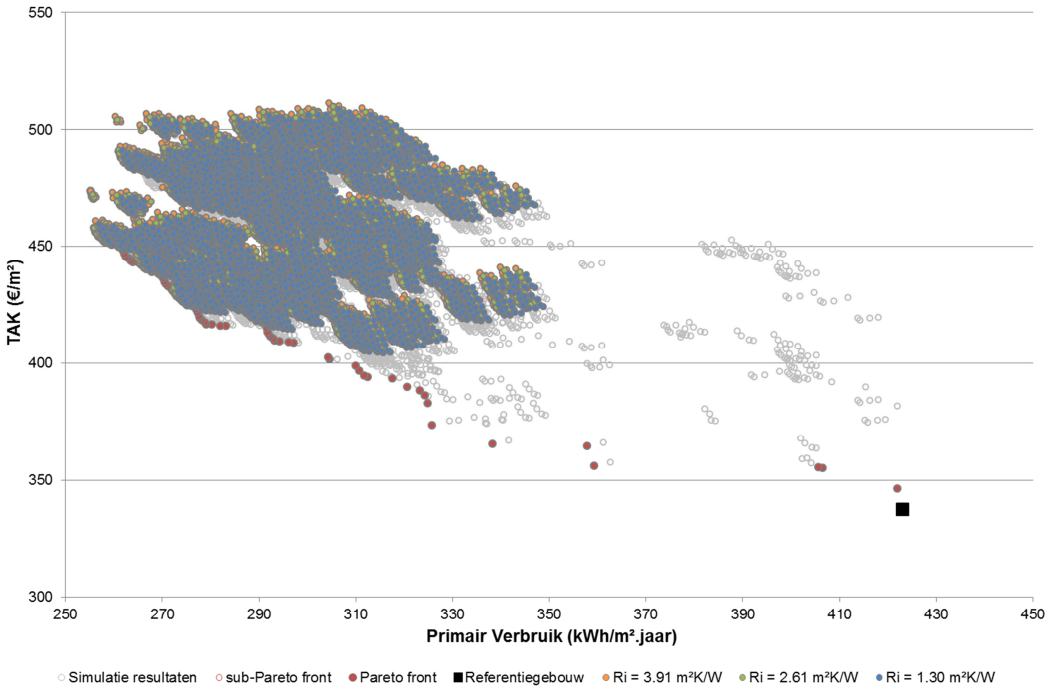
Figuur 23: Resultaten met bestaande vloerisolatie (referentie) voor het bestaand kantoorgebouw

Bij een totaalrenovatie is het behoud van de bestaande vloer (met zijn isolatie) echter dikwijls geen optie. In voorkomend geval is de vraag welke isolatiewaarde het meest kostenoptimaal is.

Een eerste vaststelling is dat met alle beschouwde vloerisolatievarianten inclusief de referentie - mits gebruik van de gedetailleerde berekening - al voldaan wordt aan de maximale U-waarde eis voor vloeren anno 2014 (U = 0.30 W/m²K). Hierbij moeten we echter volgende belangrijke nuance maken: het beschouwde referentiegebouw heeft een lager dan gemiddelde perimeter-grondoppervlakte verhouding. Voor kantoorgebouwen waarbij deze verhouding een stuk hoger ligt, zal minder snel een dergelijk lage U-waarde kunnen worden bereikt met de gedetailleerde rekenmethode.

Vergelijken we nu de verschillende vloerisolatievarianten (Figuur 24), dan zien we dat de verschillen miniem zijn. Bekijken we de resultaten en het Pareto front in detail, dan stellen we het volgende vast:

- De meest performante vloerisolatie variant (Ri = 3.91 m²K/W) vinden we hoofzakelijk op het Pareto front bij een maximale primaire energiebesparing. Deze variant is m.a.w. niet de meest kostenoptimale optie.
- De overige twee vloerisolatievarianten zijn qua kostenoptimaliteit evenwaardig. Deze varianten komen overeen met een U-waarde van 0.21 en 0.16 W/m²K wat een stuk beter is dan de vooropgestelde eis anno 2014 van 0.30 W/m²K. Welke variant op het Pareto front komt te liggen is afhankelijk van de overige maatregelen in het pakket.

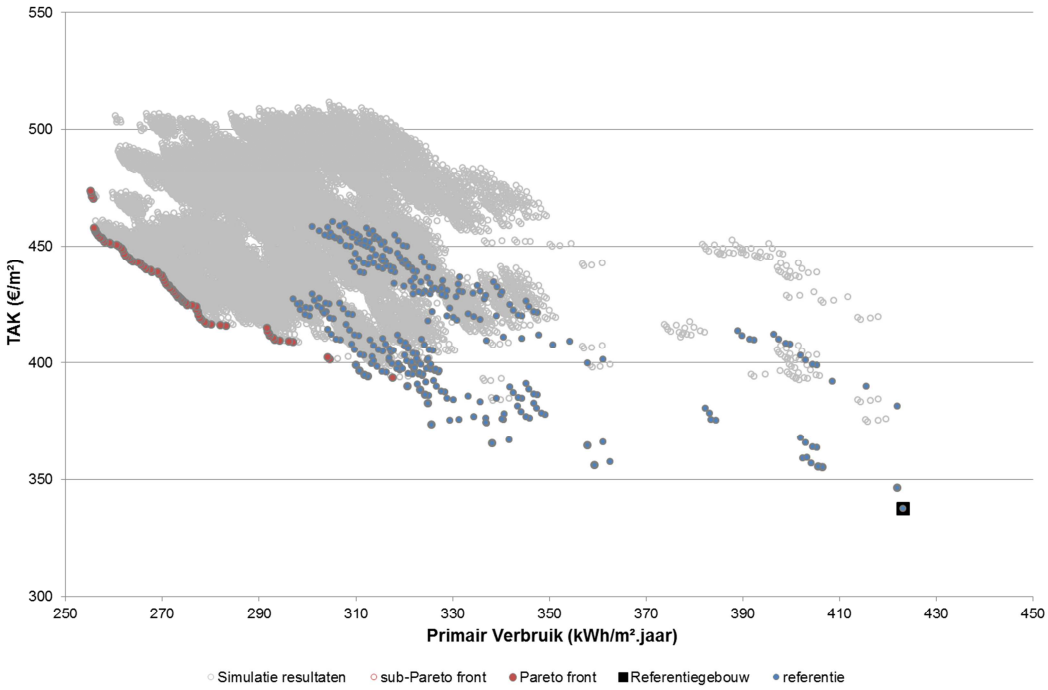


Figuur 24: Resultaten varianten vloerisolatie voor het bestaand kantoorgebouw

Gevelisolatie

Uit Figuur 25 kunnen we afleiden dat het renoveren (en isoleren) van de gevel misschien niet de eerste bouwfysische renovatiemaatregel is voor ons bestaand kantoorgebouw, maar dat bijkomende gevelisolatie noodzakelijk is om een meer ambitieuze primaire energiebesparing te bekomen.

Hierbij is het belangrijk op te merken dat ons bestaand kantoorgebouw al uitgerust is met 2 cm gevelisolatie met een lambda-waarde van 0.045 W/mK. Bij de gevelisolatievarianten zoals hieronder besproken gaat het steeds om bijkomende isolatiemaatregelen waarbij de bestaande isolatie behouden blijft. Dit heeft een belangrijke impact op de resultaten en de hieruit afgeleide conclusies.

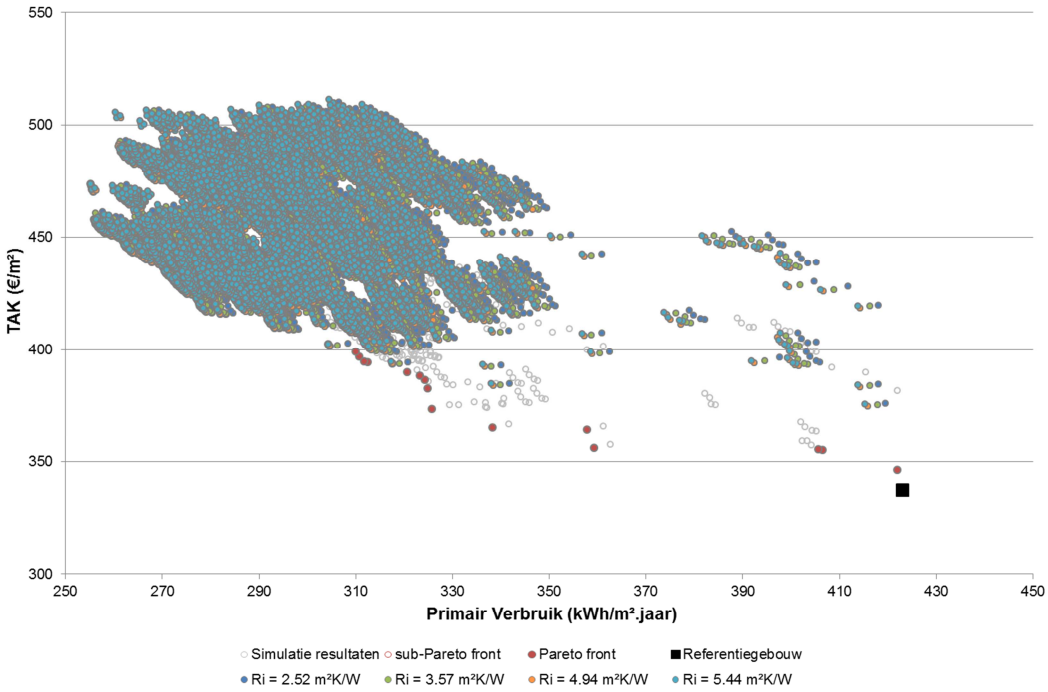


Figuur 25: Resultaten met bestaande gevelisolatie (referentie) voor het bestaand kantoorgebouw

Vergelijken we nu de verschillende gevelisolatievarianten (Figuur 26), dan stellen we het volgende vast:

- Beschouwen we de verschillende gevelisolatievarianten op zich (niet in combinatie met andere maatregelen), dan is de variant met een Ri-waarde = 4.94 m²K/W duidelijk de meest kostenoptimale variant. In combinatie met andere maatregelen (bijvoorbeeld bij een doorgedreven totaalrenovatie) is die investering iets minder snel terug te verdienen en is de variant met Ri-waarde = 3.57 m²K/W (wat overeenkomt met een U-waarde van 0.24 W/m²K, tevens de maximale U-waarde eis vanaf 2014) ook een interessante optie. Aangezien het echter overwegend de variant met Ri-waarde = 4.94 m²K/W is die op het Pareto front ligt, werd deze meestal gekozen bij de geselecteerde bouwfysische maatregelenpakketten voor combinatie met de installatietechnische maatregelenpakketten[23].
- De gevelisolatievariant waarbij voldaan wordt aan de maximale U-waarde eis anno 2012 (Ri-waarde = 2.52 m²K/W resulterend in een U-waarde van 0.32 W/m²K) is niet de meest kostenoptimale optie en steeds minder interessant dan de eis anno 2014.

[23] Voor deze selectie werden doorgaans die maatregelenpakketten gekozen die de grootste marginale winst opleverden.

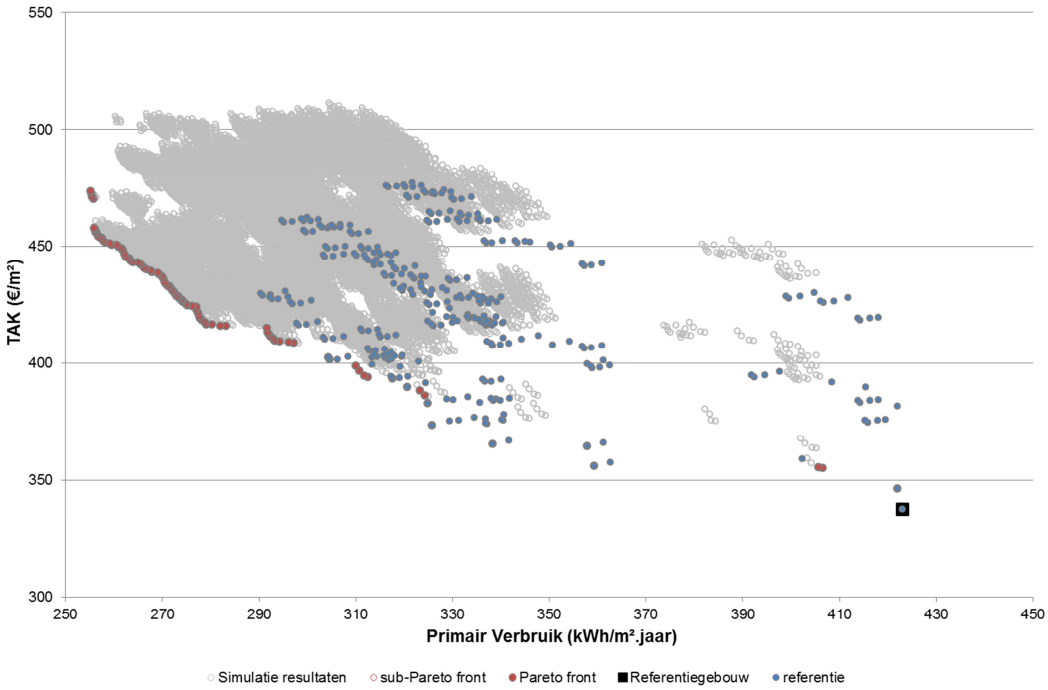


Figuur 26: Resultaten varianten gevelisolatie voor het bestaand kantoorgebouw

Dakisolatie

Uit Figuur 27 kunnen we afleiden dat het renoveren (en isoleren) van het dak misschien niet de eerste bouwfysische renovatie maatregel is voor ons bestaand kantoorgebouw, maar dat bijkomende dakisolatie zeker noodzakelijk is om een meer ambitieuze primaire energiebesparing te bekomen.

Hierbij is het belangrijk op te merken dat ons bestaand kantoorgebouw al uitgerust is met 4 cm dakisolatie met een lambda-waarde van 0.045 W/mK. Bij de dakisolatievarianten zoals hieronder besproken gaat het steeds om na-isolatie waarbij de bestaande isolatie behouden blijft. Dit heeft een belangrijke impact op de resultaten en de hieruit afgeleide conclusies.

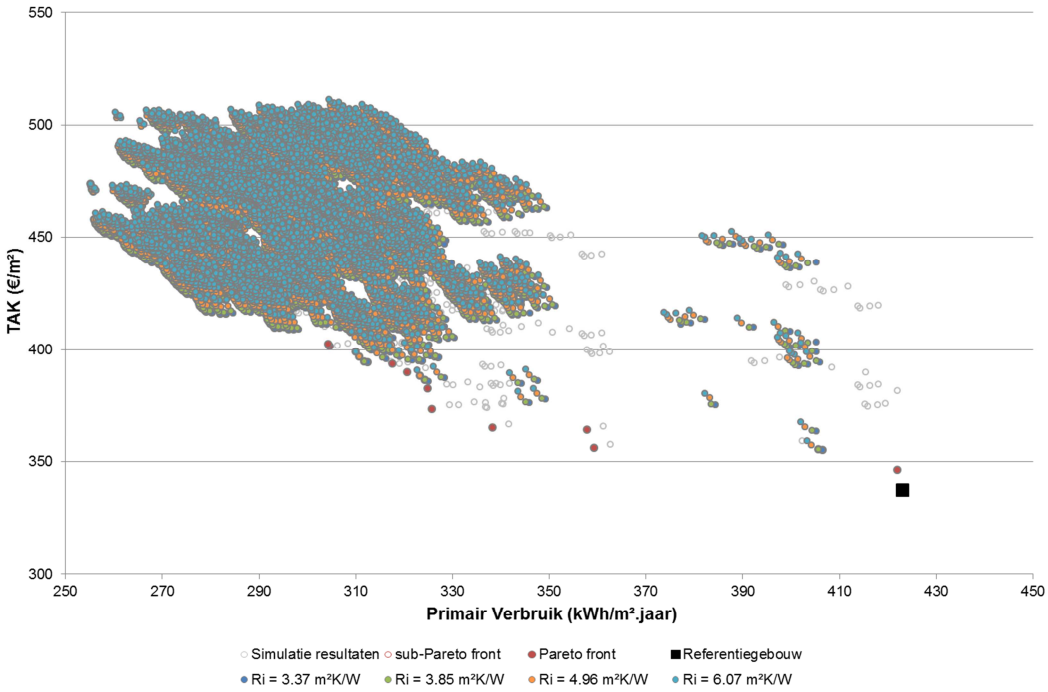


Figuur 27: Resultaten met bestaande dakisolatie (referentie) voor het bestaand kantoorgebouw

Vergelijken we nu de verschillende dakisolatievarianten (Figuur 28), dan kunnen we het volgende besluiten:

- De dakisolatievarianten waarbij voldaan wordt aan de maximale U-waarde eis anno 2012 (Ri-waarde = 3.37 m²K/W resulterend in een U-waarde van 0.27 W/m²K) en de maximale U-waarde eis anno 2014 (Ri-waarde = 3.85 m²K/W resulterend in een U-waarde van 0.24 W/m²K) blijken doorgaans de meest kostenoptimale varianten te zijn. Deze varianten komen dan ook het vaakst voor in de geselecteerde bouwfysische maatregelenpakketten voor combinatie met de installatietechnische maatregelenpakketten.
- De dakisolatievariant waarbij voldaan wordt aan de maximale U-waarde eis anno 2014 (Ri-waarde = 3.85 m²K/W resulterend in een U-waarde van 0.24 W/m²K) blijkt vooral interessant qua kostenoptimaliteit wanneer weinig andere bouwfysische maatregelen worden toegepast. Het voldoen aan deze eis is m.a.w. hoofdzakelijk interessant wanneer een beperkte renovatie of enkel een renovatie (en na-isolatie) van het dak wordt beschouwd.
- De overige dakisolatievarianten liggen zelden tot nooit op het Pareto front, al blijft het verschil al bij al klein. De totale actuele kost neemt hier sterk toe in vgl. met de verkregen primaire energiebesparing.

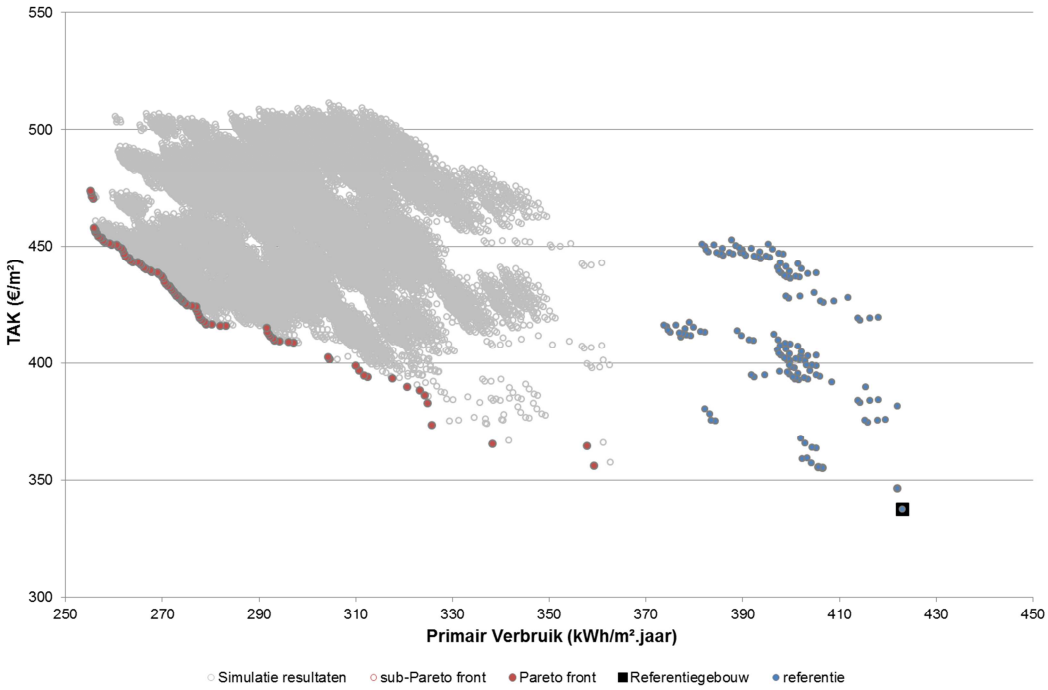
Nogmaals, bovenstaande besluiten hebben betrekking op een gebouw waarbij de al bestaande dakisolatie behouden blijft en na-isolatie wordt toegepast. Voor de renovatie van een gebouw zonder bestaande dakisolatie zullen de besluiten afwijken (zie hoofdstuk 7.4.6 - dakisolatie)



Figuur 28: Resultaten varianten dakisolatie voor het bestaand kantoorgebouw

Ramen

Uit Figuur 29 blijkt duidelijk dat het vervangen van de bestaande ramen een maatregel is die als prioritair kan worden beschouwd. Bij quasi elke maatregelencombinatie op het Pareto front (behalve voor de heel lage primaire energiebesparingen) worden de bestaande ramen vervangen.



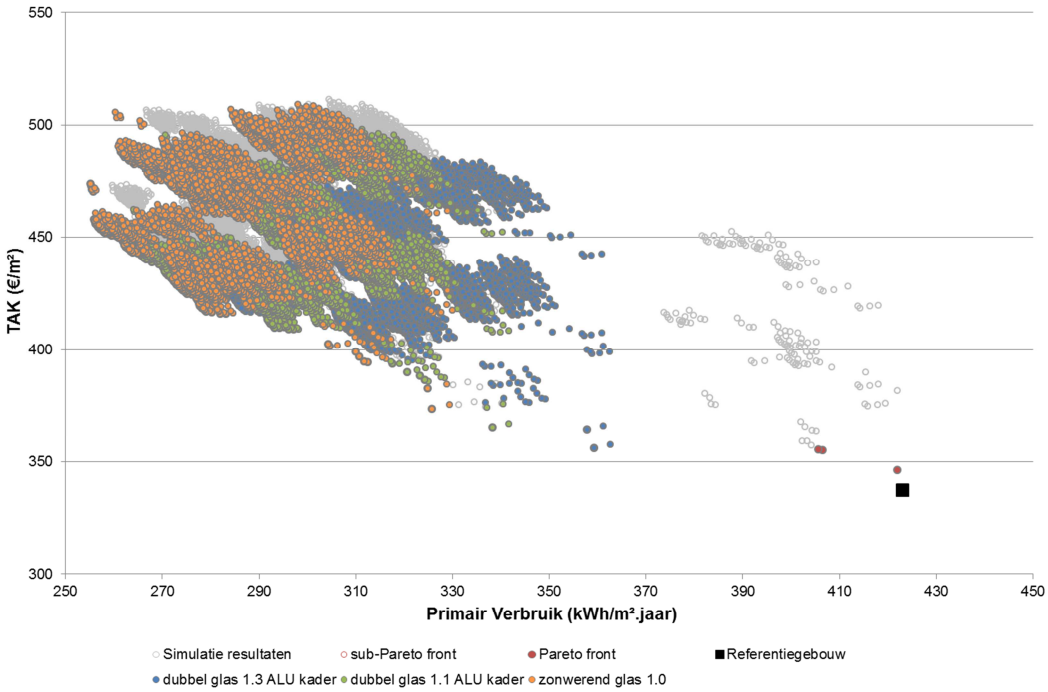
Figuur 29: Resultaten met de bestaande ramen (referentie) voor het bestaand kantoorgebouw

De voornaamste raamvarianten worden weergegeven in Figuur 30.

De variant met dubbel glas met U_g-waarde = 1.3 W/m²K is hoofdzakelijk terug te vinden op het Pareto front als unieke maatregel (weliswaar resulterend in een significante primaire energiebesparing). Bij grotere besparingen wordt deze variant al snel en definitief verdrongen door hetzij dubbel glas met U_g-waarde = 1.1 W/m²K, hetzij zonwerend glas met U_g-waarde = 1.0 W/m²K en een g-waarde van 0.38.

Hieruit kunnen we het volgende besluiten:

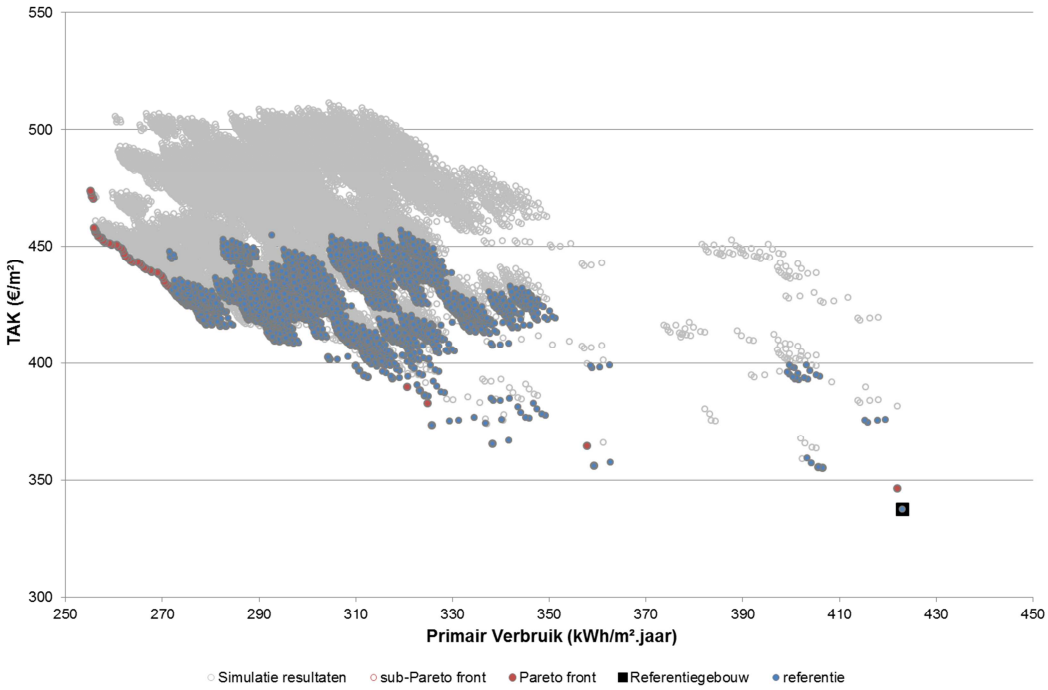
- de betere prestaties van dubbel glas met U_g-waarde = 1.0 W/m²K en drievoudig glas met U_g-waarde 0.6 kunnen de hogere investeringskost t.o.v. dubbel glas met U_g-waarde 1.1 W/m²K niet noodzakelijk compenseren;
- ondanks de hogere investeringskost van zonwerend glas t.o.v. drievoudig glas en een hogere U_g-waarde (1.0 W/m²K t.o.v. 0.6 W/m²K) resulteert zonwerend glas in een grotere primaire energiebesparing voor een iets lagere totale actuele kost. Dit is het gevolg van de lagere koellasten die volgen uit de lagere g-waarde bij zonwerend glas (0.38 t.o.v. 0.5). Het beperken van de zonnewinsten is voor ons kantoorgebouw belangrijker dan het verminderen van de transmissieverliezen.



Figuur 30: Resultaten voornaamste raamvarianten voor het bestaand kantoorgebouw

Zonnewering

Naarmate de isolatiegraad van het gerenoveerde gebouw toeneemt, worden de koellasten belangrijker dan de warmteverliezen en stijgt ook het belang van een afdoende zonnewering. Dit verklaart deels waarom de meeste zonneweringvarianten pas vanaf een bepaalde primaire energiebesparing (het gevolg van bepaalde gebouwschilmaatregelen) op het Pareto front komen te liggen. Met de varianten zonder zonnewering (zie 'referentie' punten Figuur 31) kan maar een beperkte primaire energiebesparing worden bereikt.

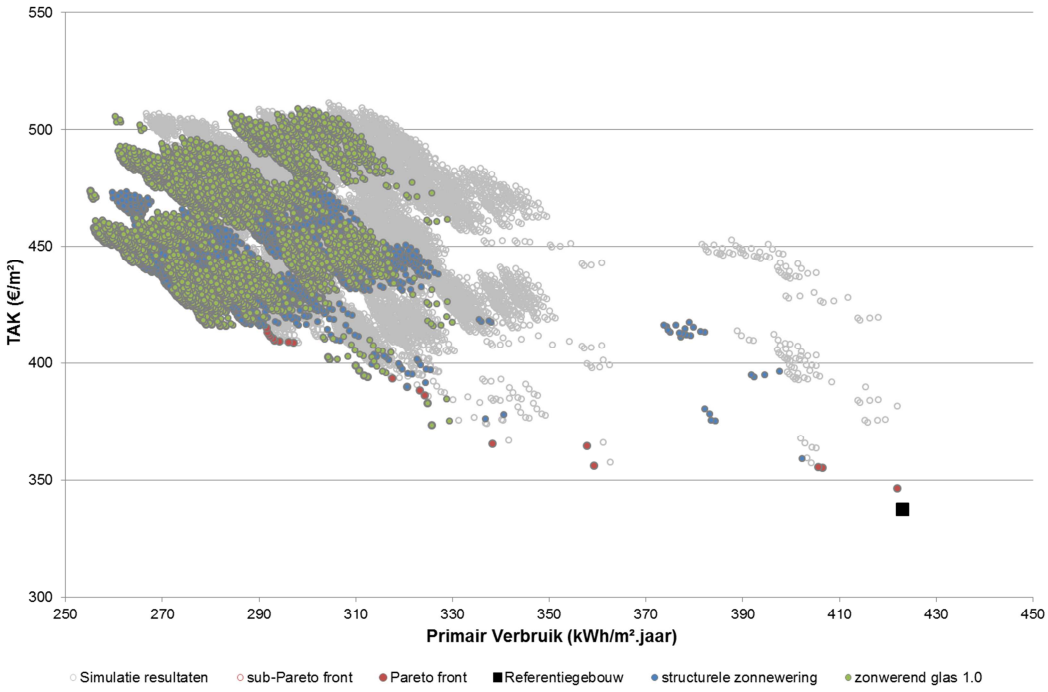


Figuur 31: Resultaten zonder zonnewering voor het bestaand kantoorgebouw

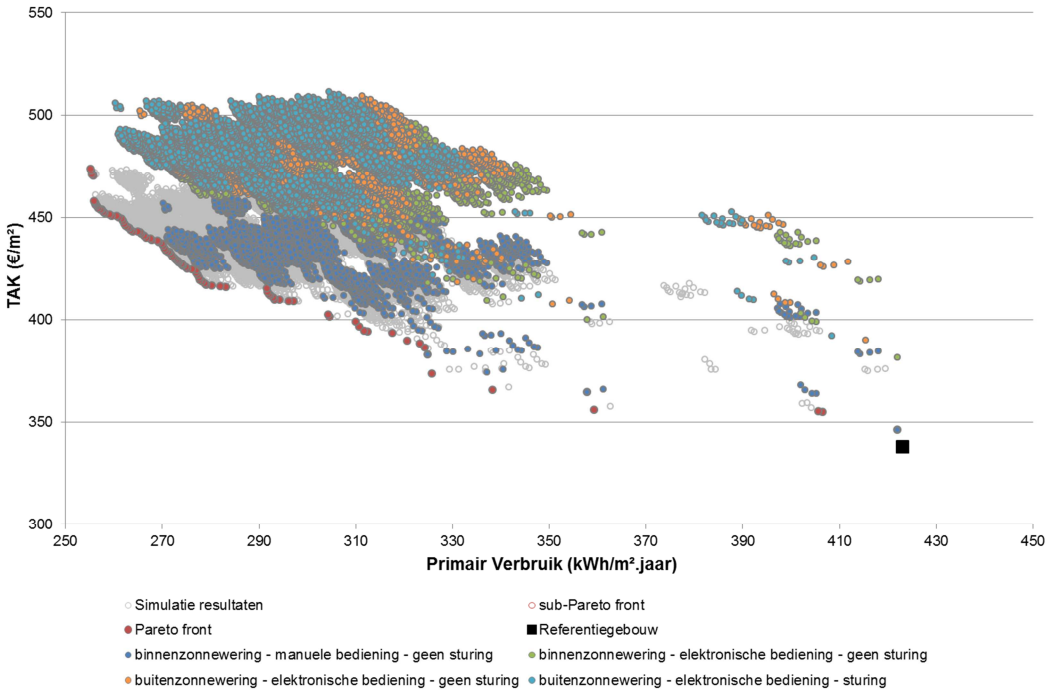
De verschillende zonneweringvarianten worden weergegeven in Figuur 32 en Figuur 33. Vergelijken we nu deze varianten, dan stellen we het volgende vast:

- Gezien de relatief lage investeringskost van structurele zonnewering t.o.v. de overige zonneweringsvarianten (zonwerend glas buiten beschouwing gelaten), is het weinig verwonderlijk dat deze variant opvallend beter scoort op vlak van totale actuele kost dan de overige zonneweringsvarianten. Daarnaast is het voornamelijk zonwerend glas die op het Pareto front te vinden is. Ook de combinatie van beide komt (voornamelijk dan bij de grotere besparingen) op het Pareto front voor.
- Door de lage investeringskost van manueel bediende binnenzonnewering komt ook deze optie soms nog dicht bij het Pareto front te liggen. De resulterende primaire energiebesparing is echter uiterst miniem[24].
- Buitenzonnewering (met en zonder sturing) is door zijn hoge investeringskost t.o.v. structurele zonnewering geen partij voor deze laatste. Wanneer structurele zonnewering echter niet mogelijk is, is buitenzonnewering met automatische sturing veruit de meest kostenoptimale keuze. Deze keuze resulteert in een significante primaire energiebesparing voor een beperkte stijging in totale actuele kost t.o.v. buitenzonnewering zonder automatische sturing.

[24] Vergelijk hiervoor de referentie en het meest dichtbij gelegen punt.



Figuur 32: Resultaten structurele zonnewering en zonwerend glas voor het bestaand kantoorgebouw



Figuur 33: Resultaten overige zonnewering varianten voor het bestaand kantoorgebouw

7.2.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten

Voor de selectie van de bouwfysische maatregelencombinaties die we zullen combineren met de installatietechnische maatregelencombinaties, beperken we ons hoofdzakelijk tot die maatregelencombinaties die op dat deel van het Pareto front bevinden dat quasi lineair stijgt. De maatregelencombinaties in het meer exponentiële deel van het Pareto front vertegenwoordigen combinaties waarbij primaire energiebesparing veeleer primeert op het kostenaspect en die bijgevolg minder relevant zijn voor de commerciële markt van kantoorgebouwen.

Tabel 23 geeft een oplijsting van de 15 bouwfysische maatregelenpakketten, liggend op het Pareto front, die werden geselecteerd voor combinatie met de verschillende installatietechnische maatregelencombinaties.

De referentie varianten, zoals weergegeven in hoofdstuk 4 zijn:

- VL1: U_{vloer} = 0.28 W/m²K
- M1: U_{muur} = 0.95 W/m²K
- D1: U_{dak} = 0.81 W/m²K
- R1: dubbel glas met U_{raam} = 4.12 W/m²K en g-waarde = 0.75
- Z1: geen zonnewering
- B1: methode B + aantal niet EPB-aanvaarde bouwknopen
- LD1: luchtdichtheid waarde bij ontstentenis (12 m³/h.m²)

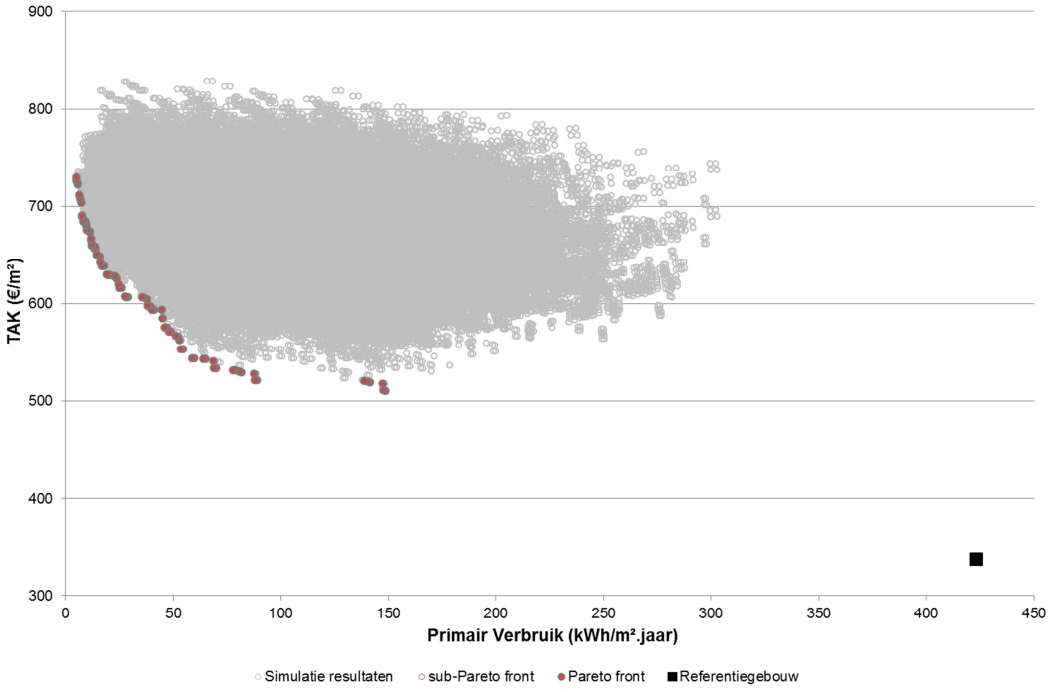
Tabel 23: Selectie bouwfysische maatregelen(pakketten) bestaand kantoorgebouw voor combinatie met installatietechnische maatregelen(pakketten)

Code	Maatregelenpakket
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1	• U_{dak} = 0.24 W/m²K
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1	• U_{dak} = 0.81 W/m²K • dubbel glas 1.3 ALU kader • methode B + meeste bouwknopen EPB conform
VL1 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1	idem voorgaande maar • dubbel glas 1.1 ALU kader
VL1 M1 D1 R6 Z1 B2 LD1	idem voorgaande maar • zonwerend glas 1.0
VL1 M1 D1 R3 Z6 B2 LD1	idem voorgaande maar • dubbel glas 1.1 ALU kader • structurele zonnewering
VL1 M1 D3 R6 Z1 B2 LD1	• U_{dak} = 0.24 W/m²K • zonwerend glas 1.0 • geen zonnewering

	• methode B + meeste bouwknopen EPB conform
VL1 M4 D1 R6 Z1 B2 LD1	• U_{gevel} = 0.18 W/m²K • U_{dak} = 0.81 W/m²K • geen zonnewering • zonwerend glas 1.0 • methode B + meeste bouwknopen EPB conform
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4	idem voorgaande maar • U_{dak} = 0.27 W/m²K • dubbel glas 1.1 ALU kader • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL1 M3 D2 R6 Z1 B2 LD4	idem voorgaande maar • U_{gevel} = 0.24 W/m²K • U_{dak} = 0.27 W/m²K • zonwerend glas 1.0
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4	idem voorgaande maar • U_{vloer} = 0.21 W/m²K • U_{gevel} = 0.18 W/m²K • methode B + alle bouwknopen EPB conform
VL1 M4 D2 R3 Z6 B2 LD4	idem voorgaande maar • U_{vloer} = 0.28 W/m²K • dubbel glas 1.1 ALU kader • structurele zonnewering • methode B + meeste bouwknopen EPB conform
VL2 M4 D3 R3 Z6 B3 LD4	idem voorgaande maar • U_{vloer} = 0.21 W/m²K • U_{dak} = 0.24 W/m²K • methode B + alle bouwknopen EPB conform
VL1 M3 D2 R6 Z6 B2 LD4	• U_{vloer} = 0.28 W/m²K • U_{gevel} = 0.24 W/m²K • U_{dak} = 0.27 W/m²K • zonwerend glas 1.0 • structurele zonnewering • methode B + meeste bouwknopen EPB conform • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL1 M4 D2 R6 Z6 B2 LD5	idem voorgaande maar • U_{gevel} = 0.18 W/m²K • v50 = 1.0 m³/h.m²
VL3 M4 D2 R6 Z6 B3 LD4	idem voorgaande maar • U_{vloer} = 0.16 W/m²K • methode B + alle bouwknopen EPB conform • v50 = 1.5 m³/h.m²

7.2.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten

Figuur 34 toont de resultaten en het Pareto front voor de combinatie van de geselecteerde bouwfysische maatregelenpakketten en de installatietechnische maatregelenpakketten. In totaal betreft het ruim 143,500 gecombineerde maatregelenpakketten.



Figuur 34: Resultaten gecombineerde maatregelenpakketten voor het bestaand kantoorgebouw

Woord vooraf

Bij de analyse van de gecombineerde maatregelenpakketten worden de verschillende installatietechnische maatregel(varianten) met hun specifieke (her)investeringskost, restwaarde en onderhoudskost samen met de referentiesituatie afgebeeld. We gaan er van uit dat bij elk maatregelenpakket (m.a.w. elk punt op de grafiek behalve het referentiepunt) zowel op vlak van verwarming- en koelsysteem, ventilatie als verlichting de huidige installaties dienen te worden vervangen. Dit verklaart onmiddellijk de grote sprong tussen het referentiegebouw en de oplossingen voor de gecombineerde maatregelenpakketten. Alle varianten met het bestaande systeem voor verwarming en koeling, ventilatie of verlichting werden m.a.w. uit de resultaten geweerd (behalve het referentiegebouw).

Voor de referentiesituatie zijn de kosten die gepaard gaan met de investeringen in installaties niet van toepassing en wordt de totale actuele kost enkel bepaald door de verbruikskosten waardoor deze veel lager ligt. Het is dan ook niet correct om de gecombineerde maatregelenpakketten te vergelijken met de referentiesituatie. De bedoeling is daarentegen om de verschillende maatregelenpakketten met elkaar te vergelijken, ervan uitgaande dat bepaalde investeringen zowiezo aan de orde zijn.

Omwille van praktische redenen wordt in het vervolg van dit hoofdstuk de resultaten voor specifieke maatregelen(combinaties) weergegeven t.o.v. het Pareto front, zonder alle overige resultaatwaarden weer te geven.

Verwarming- en koelsysteem

In totaal worden voor het bestaand kantoorgebouw 64 unieke systemen voor verwarming en koeling in beschouwing genomen. Hierbij wordt gevarieerd op vlak van:

- het type opwekkingstechnologie voor verwarming en koeling;
- de aanwezigheid van een (back-up) installatie voor verwarming en/of koeling;
- de performantie van de opwekkingsinstallatie(s) (η, COP, EER);
- het type emissiesysteem voor warmte en koude.

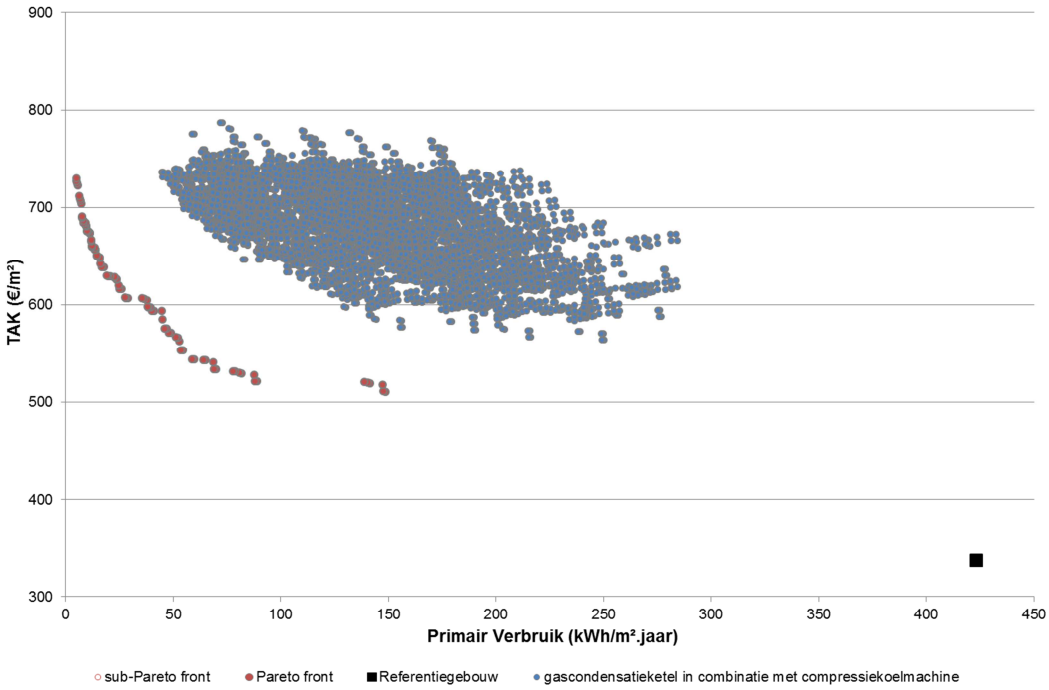
Zoals uit Figuur 35 kan worden afgeleid, ligt een standaard systeem voor verwarming en koeling (de gascondensatieketel in combinatie met een compressiekoelmachine) een stuk van het Pareto front verwijderd. Maar ook andere systemen voor verwarming en koeling scoren een stuk minder in vergelijking met de maatregelenpakketten op het Pareto front.

Zonder hierbij alle grafieken af te beelden, werden volgende maatregelenpakketten voor verwarming en koeling niet langer weerhouden wegens weinig interessant:

- de lucht-water warmtepomp, COP = 3.1 en 3.8, in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0, met en zonder back-up gascondensatieketel;
- de lucht-lucht warmtepomp, COP = 2.9, in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0 met VRV
- de WKK met gascondensatieketel[25], in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0;
- koppeling aan een warmtenet[26], in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0
- de pelletketel in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0

[25] De rentabiliteit van een WKK installatie zal zeker verbeteren bij een meer continue warmtevraag voor centrale verwarming (dag, nacht én in het weekend) en/of er een jaar rond warm water afname is, bv. onder de vorm van sanitair warm water afname zoals dit het geval is in rusthuizen, ziekenhuizen, etc.

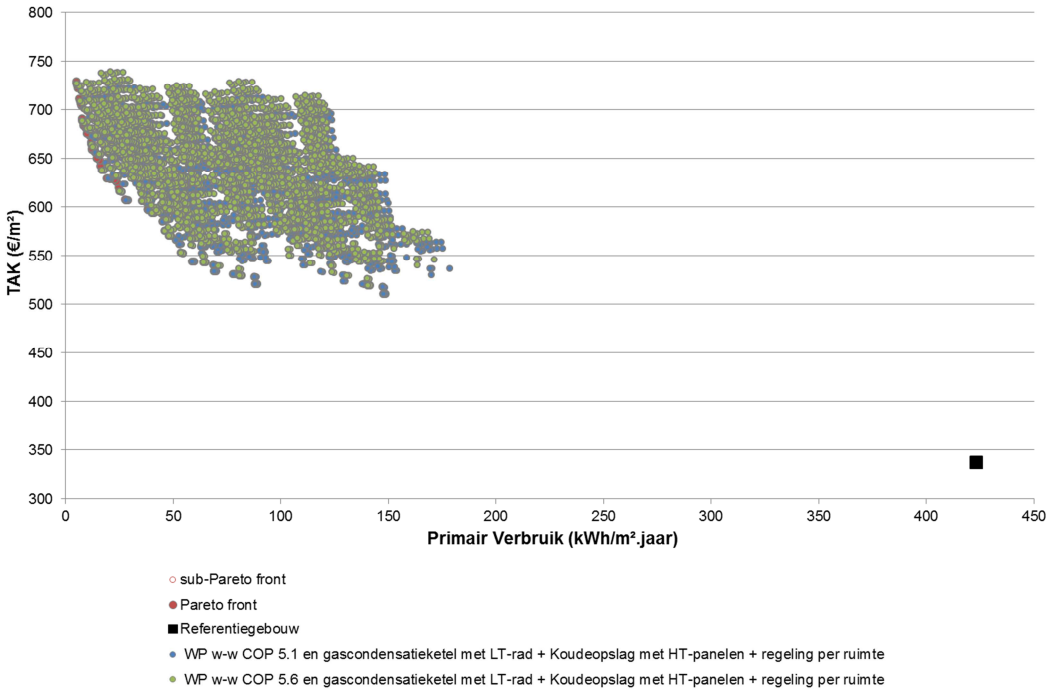
[26] Hierbij werd uitgegaan van het NMDA (Niet Meer Dan Anders) principe met als gevolg dat de kosten voor verwarming parallel lopen met een standaard vernieuwing van het systeem voor verwarming (zijnde een gascondensatieketel).



Figuur 35: Resultaten gascondensatieketel in combinatie met een compressiekoelmachine voor het bestaand kantoorgebouw

Op het Pareto front vinden we verschillende warmtepompsystemen, afhankelijk van de beoogde primaire energiebesparing.

Zoals uit Figuur 36 kan worden afgeleid, wordt het belangrijkste deel van het Pareto front ingenomen door de water-water warmtepomp (met een gascondensatieketel als piekvermogen installatie) in combinatie met koudeopslag en het gebruik van koelpafonds (aangeduid als “HT-panelen” in de grafiek) als koude-emissiesysteem. Deze hoge-temperatuur panelen laten toe om de koude uit de grond rechtstreeks te benutten zodat geen extra investeringen nodig zijn om het temperatuursregime verder te verlagen.



Figuur 36: Resultaten water-water warmtepomp (met gascondensatieketel) + koudeopslag met koelplafonds voor het bestaand kantoorgebouw

De overige punten op het Pareto front worden ingenomen door maatregelencombinaties met:

- WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
- WP w-w COP 5.1 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
- WP w-w COP 5.1 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
- WP w-w COP 5.6 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
- WP w-w COP 5.6 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
- WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
- WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte

Uit een gedetailleerde analyse van de resultaten kunnen we het volgend besluiten:

- Lage temperatuur radiatoren komen doorgaans als meest kostenoptimale optie voor warmte-emissie naar voor. Het verschil met vloerverwarming en verwarming via ventilatielucht is vooral groot bij een standaard wamte-opwekkingsinstallatie (cfr. de gascondensatieketel). Bij opwekkingstechnologieën die beter geschikt zijn voor een lager temperatuurregime (zoals de warmtepompen op het Pareto front) is het verschil tussen lage temperatuur radiatoren en vloerverwarming echter kleiner (en verwaarloosbaar). Dit geldt des te meer naarmate het

gebouw een meer performante gebouwschil (en dus lager benodigd verwarmingsvermogen) heeft.

- Wanneer een warmtepomp wordt gebruikt voor warmte-opwekking scoren de varianten met back-up gascondensatieboiler (voor het opvangen van de pieken in de warmtevraag) minder goed op vlak van primaire energiebesparing (als gevolg van het lager opwekkingsrendement van de ketel t.o.v. de warmtepomp). Dit wordt echter gecompenseerd door de veel lagere totale actuele kost. Gebruik van een back-up gascondensatieketel laat immers toe een veel kleiner warmtepompvermogen te plaatsen, waardoor de totale investeringskost een stuk lager is.
- Bij warmtepompvarianten waarbij gekoeld wordt d.m.v. koudeopslag scoren de varianten met een back-up compressiekoelmachine minder goed qua primaire energiebesparing als gevolg van het lager rendement van de compressiekoelmachine t.o.v. koudeopslag. Dit wordt echter gecompenseerd door de veel lagere totale actuele kost van die varianten met compressiekoelmachine. Gebruik van een compressiekoelmachine laat immers toe een veel kleinere ondergrondse installatie (vermogen koudeopslag) te plaatsen, waardoor de totale investeringskost een stuk lager is.

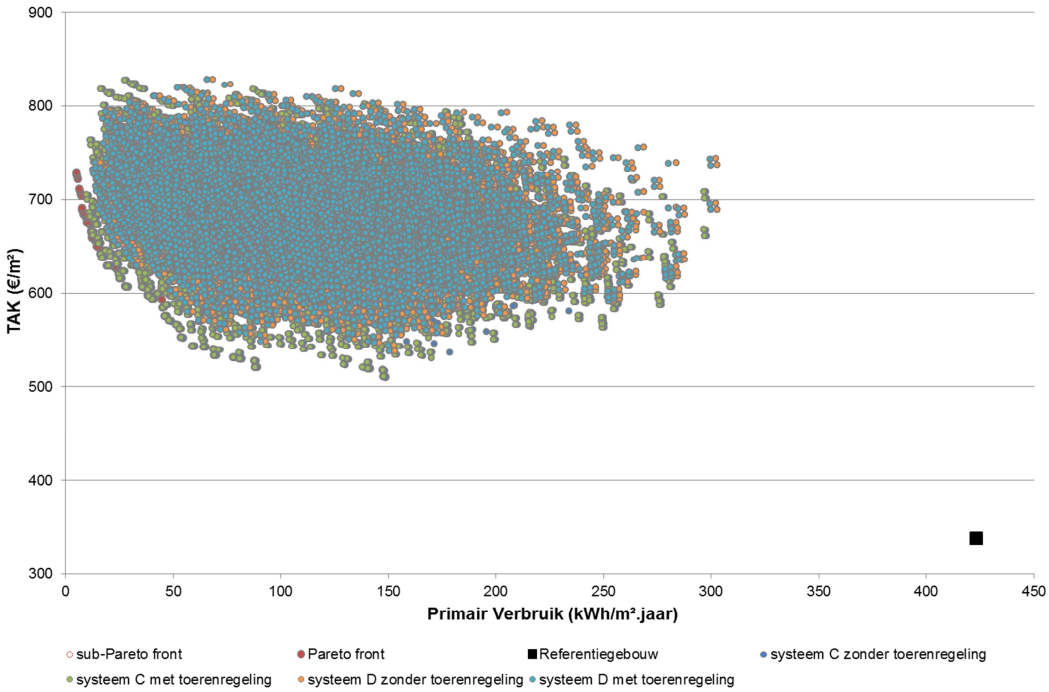
Ventilatie

Voor de renovatie van het bestaand kantoorgebouw beschouwen we zowel ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer) en ventilatiesysteem D (mechanische toevoer en afvoer) Daarnaast verschillen de varianten van elkaar op vlak van:

- het al dan niet toepassen van toerenregeling;
- het al dan niet toepassen van een by-pass (enkel bij systeem D met dubbele platenwisselaar);
- de performantie van de warmteterugwinning (enkel bij systeem D).

Uit Figuur 37 kunnen we het volgende besluiten:

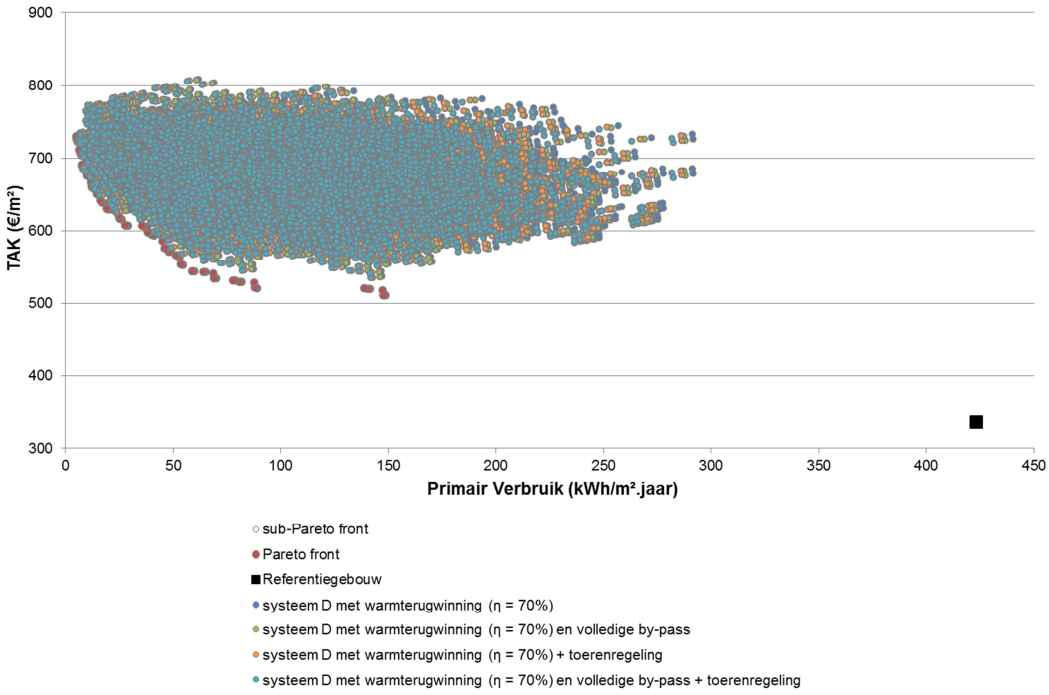
- Door het lager ventilatorverbruik bij ventilatiesysteem C ligt het totaal primair energieverbruik van deze varianten lager dan wanneer een ventilatiesysteem D (weliswaar zonder warmteterugwinning) wordt toegepast. De totale actuele kost ligt als gevolg van de lagere investeringskost ook een stuk lager.
- Hoewel beide varianten op het Pareto front liggen, krijgt de toepassing van toerenregeling doorgaans de voorkeur. Zeker bij een systeem D is deze duidelijk de meest kostenoptimale keuze



Figuur 37: Resultaten ventilatie varianten zonder warmteterugwinning voor het bestaand kantoorgebouw

Uit Figuur 38 kunnen we het volgende besluiten:

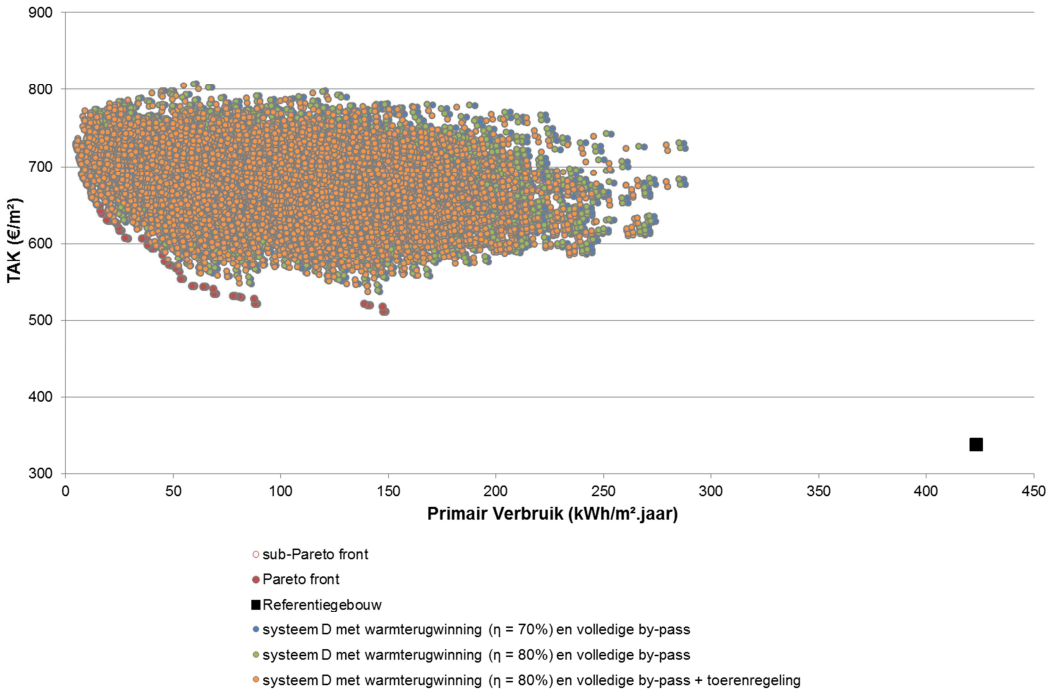
- In vergelijking met de varianten met ventilatiesysteem D zonder warmteterugwinning liggen deze met warmteterugwinning (η = 70%) een stuk dichter bij het Pareto front. Indien er - hetzij uit energetische overwegingen, hetzij uit overwegingen m.b.t. hygiënische ventilatie - beslist wordt om voor een systeem D te kiezen, doet men er m.a.w. goed aan steeds voor een installatie met warmteterugwinning te kiezen.
- Zowel het toepassen van toerenregeling als een (volledige) by-pass resulteert in een lagere totale actuele kost t.o.v. van de situatie waarbij deze opties niet worden toegepast. De meerinvesteringen voor deze opties zijn m.a.w. steeds rendabel. Een combinatie van beide geldt als de meest kostenoptimale keuze. Dit resulteert immers in een lager primair energieverbruik en dit voor een lagere totale actuele kost dan wanneer deze opties niet toegepast worden.



Figuur 38: Resultaten ventilatie varianten systeem D met warmteterugwinning η = 70% voor het bestaand kantoorgebouw

Als we nu voorgaande resultaten vergelijken met de varianten met een rendement op de warmteterugwinning van 80%, dan zien we dat deze meerinvestering zichzelf terug verdient wanneer beschouwd over de volledige evaluatieperiode. Ook bij deze varianten is de meerinvestering voor toerenregeling rendabel, al wordt het verschil wel kleiner (zowel naar primaire energiebesparing als totale actuele kost). Dit valt makkelijk te verklaren doordat bij een hoger rendement van warmteterugwinning het besparingspotentieel van deze opties kleiner wordt.

Hieruit kunnen we concluderen dat toerenregeling en (volledige) by-pass des te meer van belang zijn bij een lager rendement van de warmteterugwinning.



Figuur 39: Resultaten ventilatie varianten systeem D met een warmtewiel met η = 80% voor het bestaand kantoorgebouw [27]

Verlichting

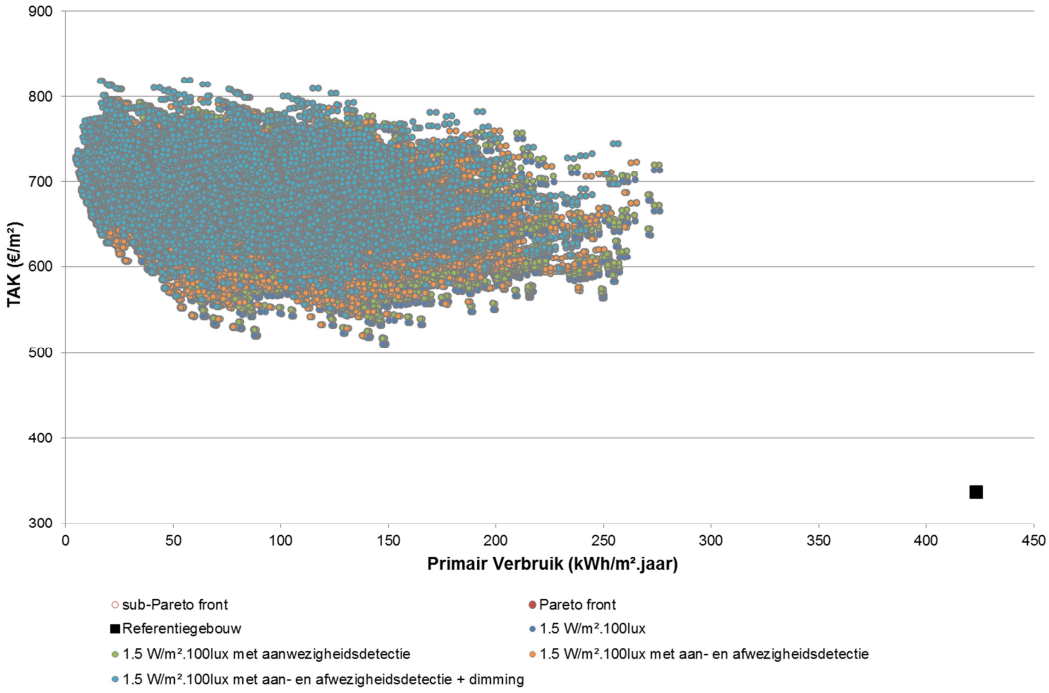
Zoals besproken in paragraaf 6.6 werden voor de verlichting varianten met 1.5 W/m².100 lux dezelfde investeringskost genomen als voor de varianten met 2.5 W/m².100 lux. Hierdoor zijn het uiteraard enkel de eerste die op het Pareto front komen te liggen. Wat opvalt in vergelijking met de resultaten, is dat de ratio tussen primaire energiebesparing en totale actuele kost kleiner is bij de varianten met 1.5 W/m².100 lux.

Uit Figuur 40 kunnen we het volgende besluiten:

- Het enkel toepassen van aanwezigheidsdetectie zal, volgens de huidige EPB-rekenwijze, nauwelijks in enige primaire energiebesparing resulteren waardoor deze meerinvestering volgens de gebruikte methodologie hier niet rendeert, gelet op de relatief beperkte oppervlakte aan ruimtes niet bestemd voor menselijke bezetting ;
- Het toepassen van aan- en afwezigheidsdetectie resulteert in een significante primaire energiebesparing voor een minieme totale actuele kost variatie [28];

[27] Voor het systeem D met warmtewiel (rendement 80%) gebeurt de “volledige by-pass” zoals aangegeven in de legende bij de grafiek d.m.v. het stilzetten van het warmtewiel. Dit veronderstelt m.a.w. geen extra investering.

- Indien hier bovenop ook daglichtsturing ("dimming" in de grafiek) wordt toegepast, resulteert dit opnieuw in een significante primaire energiebesparing voor een relatief beperkte totale actuele kost stijging. Zoals bij de meeste andere maatregelen zal ook bij deze maatregel de rentabiliteit groter zijn wanneer het aantal overige maatregelen(combinaties) beperkt is.



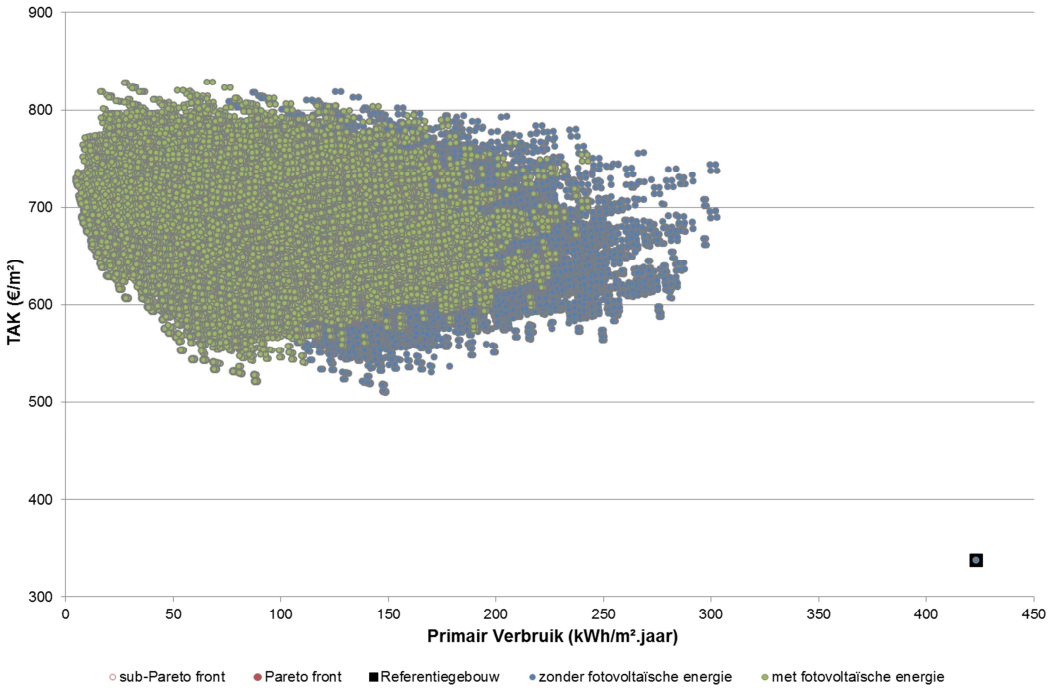
Figuur 40: Resultaten verlichting varianten 1.5 W/m².100 lux voor het bestaand kantoorgebouw

Fotovoltaïsche energie (PV)

Zoals Figuur 41 toont, blijkt het plaatsen van een fotovoltaïsche installatie nog steeds één van de meest interessante maatregelen om het primair energieverbruik drastisch te verlagen en dit voor een totale actuele kost die nauwelijks toeneemt t.o.v. de referentiesituatie zonder fotovoltaïsche energie. Belangrijk hierbij op te merken is dat de potentiële primaire energiebesparing bij toepassing van fotovoltaïsche energie stabiel blijft, ook bij doorgedreven renovatie richting een laag-energie gebouw. Dit is een belangrijk verschil met de meeste andere maatregelen (zowel bouwfysisch als installatietechnisch) waarvan het energiebesparingspotentieel daalt naarmate andere maatregelen al werden toegepast. Dit omdat fotovoltaïsche energie als quasi enige maatregel niet inspeelt op de warmte- en/of koudevraag van het gebouw.

---

[28] Dit kan zowel een kleine daling als stijging van de totale actuele kost zijn, afhankelijk van de combinatie met andere maatregelen(combinaties).



Figuur 41: Resultaten met en zonder (referentie) fotovoltaïsche energie voor het bestaand kantoorgebouw

7.2.5 Conclusies bestaand kantoorgebouw

Conclusies gebouwschil

De referentie voor het bestaand kantoorgebouw heeft een relatief 'goede' gebouwschil. Het gebouw is uitgerust met vloer-, gevel-, en dakisolatie, zij het telkens met minimale isolatiediktes. Die al aanwezige isolatie heeft een sterk negatieve impact op de terugverdientijd van de verschillende isolatiemaatregelen bij renovatie. Hierdoor resulteren isolatiemaatregelen steeds in een hogere totale actuele kost in vergelijking met de referentiecase. Bij dit type gebouwen (met een al redelijk performante gebouwschil) worden dus best eerst de installaties aangepakt. Enige nuancering is hier wel op zijn plaats: het gebruikte rekenmodel o.b.v. de EPU-rekenmethodologie houdt geen rekening met degradatie, beschadiging, etc. van het bestaande isolatiepakket. Bij een gebouw met een veel minder effectief isolatiepakket zullen de conclusies eerder aansluiten bij deze voor het referentiegebouw zonder isolatie (het bestaand schoolgebouw).

Indien een één of meerdere gebouwschildelen aan vervanging toe zijn en een renovatie zich sowieso aandient, wordt doorgaans beter voor de meest kostenefficiënte varianten gekozen. Tabel 24 geeft een overzicht van het aangewezen renovatieniveau voor de verschillende gebouwschildelen en vergelijkt deze met de huidge EPB-eisen en de eisen anno 2014.

Tabel 24: Aangewezen renovatieniveau gebouwschildelen voor het bestaand kantoorgebouw

	Eenheid	Huidige eis (vanaf 2012)	Eis anno 2014	Aangewezen renovatieniveau
U_{gevel}	W/m²K	0.32	0.24	0.24 – 0.18 (incl. 2cm bestaande isolatie)
U_{dak}	W/m²K	0.27	0.24	0.27 – 0.24 (incl. 4 cm bestaande dakisolatie) [29]
U_{vloer}	W/m²K	0.35	0.30	0.30 [30]
U_{raam}	W/m²K	2.2	1.8	dubbel glas met U_{raam} = 1.43, U_{glas} = 1.1 en g-waarde = 0.63 in combinatie met zonnewering; of zonwerend glas met U_{raam} = 1.36, U_{glas} = 1.0 en g-waarde = 0.38
U_{glas}	W/m²K	1.3	1.1	
Luchtdichtheid	m³/(h/m²)	/	/	≤ 3 (enkel van toepassing bij totaalrenovatie)

[29] Wanneer dakisolatie als individuele maatregel wordt toegepast gaat de voorkeur duidelijk uit naar een U-waarde van 0.24 W/m²K.

[30] De U-waarde wordt berekend volgens de gedetailleerde rekenmethode. Vloerisolatie als renovatiemaatregel wordt enkel beschouwd bij totaalrenovatie.

Conclusies globale energieprestatie-eisen

Figuur 42 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven E-peil en totale actuele kost (€/m²) en dit voor de gecombineerde maatregelenpakketten. Figuur 43 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven primair verbruik (kWh/m².jaar) en totale actuele kost (€/m²). Voor de maatregelenpakketten op het (sub-)Pareto front wordt het corresponderend K- en E-peil afgebeeld.

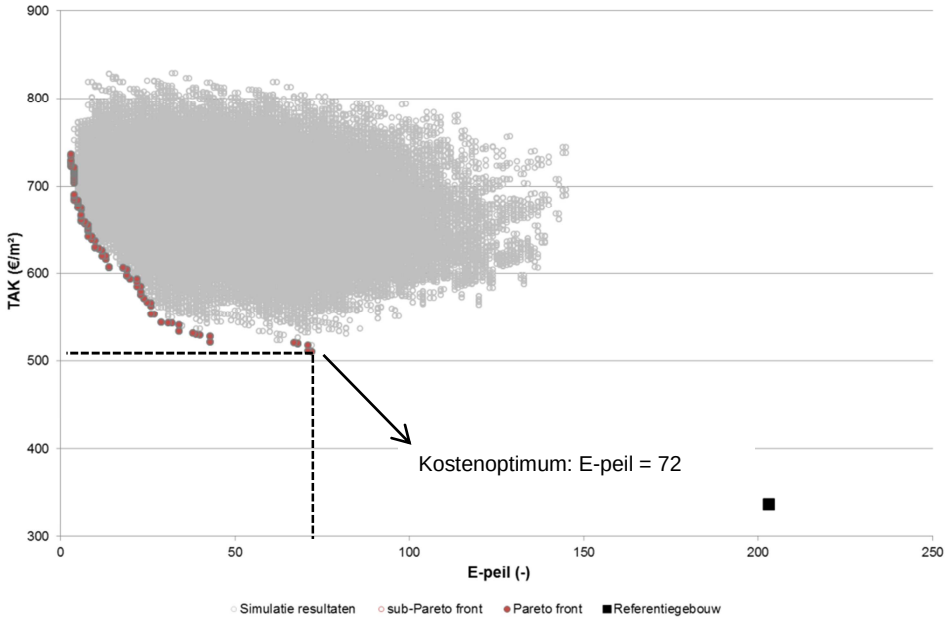
Het kostenoptimum ligt bij een primair verbruik van 149 kWh/m².jaar en een corresponderend K-peil van 74 en een E-peil van 72.

Voorbij het kostenoptimum neemt de totale actuele kost eerst gestaag toe tot een E-peil van 43 waarna elke bijkomende daling van het E-peil resulteert in een exponentiële stijging van de totale actuele kost. Dit omslagpunt komt overeen met het maatregelenpakket van het kostenoptimum plus toepassing van fotovoltaïsche energie.

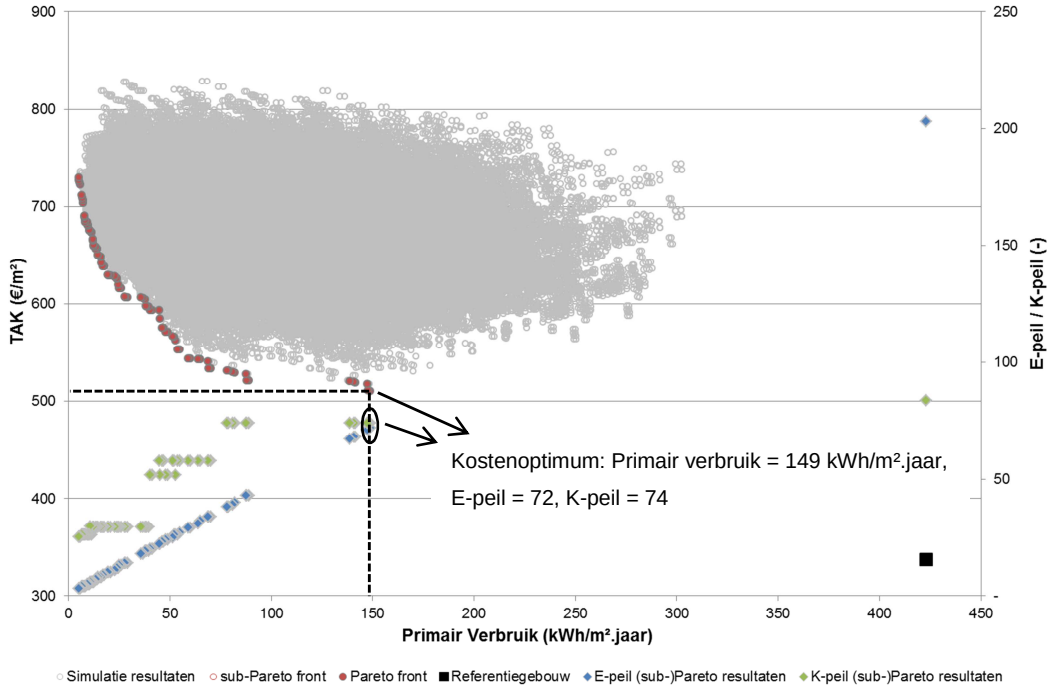
Uit Figuur 44 blijkt duidelijk dat de toepassing van fotovoltaïsche energie het heel wat gemakkelijker maakt om een meer ambitieus E-peil te bereiken. Voor een totale actuele kost die nauwelijks boven het kostenoptimum ligt kan bij ons referentiegebouw dankzij fotovoltaïsche energie een aanzienlijke primaire energiebesparing en E-peil punten daling worden bereikt.

Beschouwen we enkel de situatie mét fotovoltaïsche energie, dan ligt het kostenoptimum bij een E-peil van 43. Het K-peil blijft ongewijzigd (zijnde 74) want onafhankelijk van de toepassing van fotovoltaïsche energie.

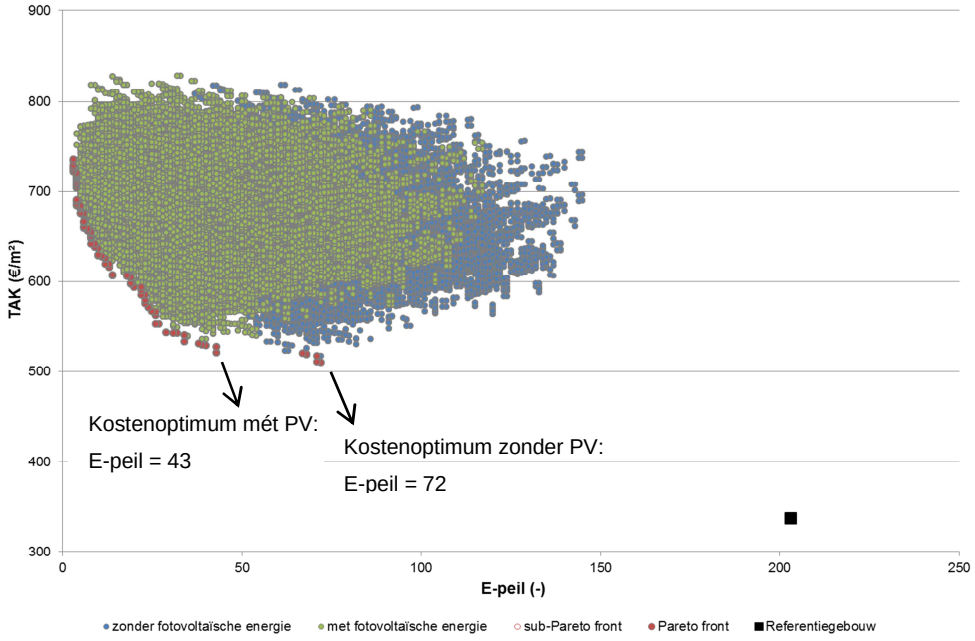
Het kostenoptimale E-peil bij een (ingrijpende) renovatie hangt sterk af van de bestaande toestand van het betreffende gebouw. Een E-peil eis vastleggen voor ingrijpende renovatie die functie is van die bestaande toestand is praktisch moeilijk haalbaar. Een heel conservatieve E-peil eis is een mogelijk alternatief maar is eerder arbitrair. Daarenboven lijkt een E-peil eis voor ingrijpende renovatie na 2015 slechts een beperkte meerwaarde te hebben. Dit omwille van de combinatie van bestaande eisen voor renovatie (eisen naar U- en R-waarde) en de toekomstige energieprestatie-eisen voor nieuw geplaatste installaties in bestaande gebouwen (opgelegd vanaf 1 januari 2015).



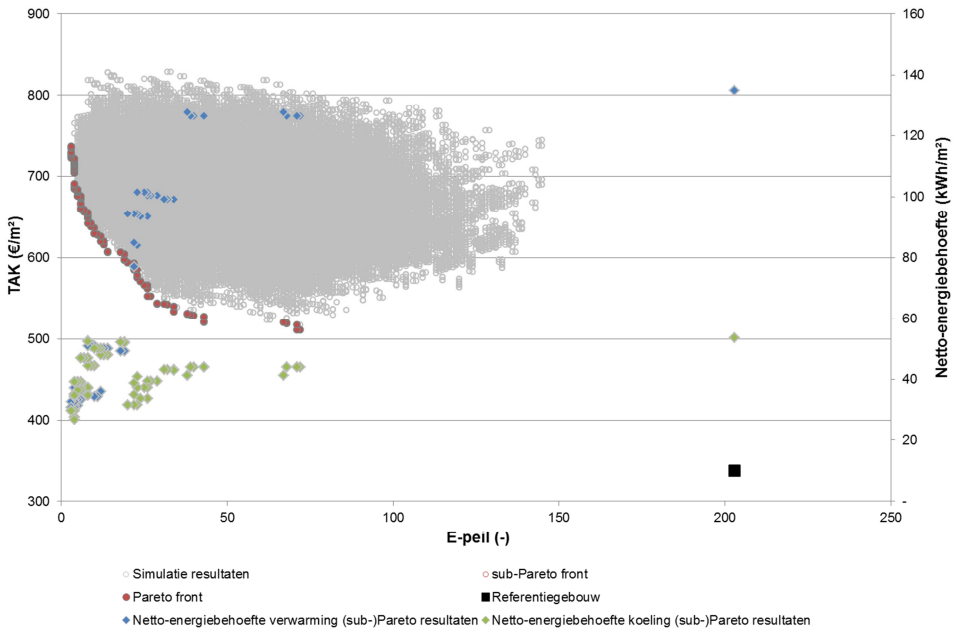
Figuur 42: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand kantoorgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost



Figuur 43: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand kantoorgebouw voor de objectieven primair energieverbruik en totale actuele kost (linkse y-as) met weergave van K- en E-peil (rechtse y-as)



Figuur 44: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand kantoorgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave onderscheid met en zonder fotovoltaïsche energie

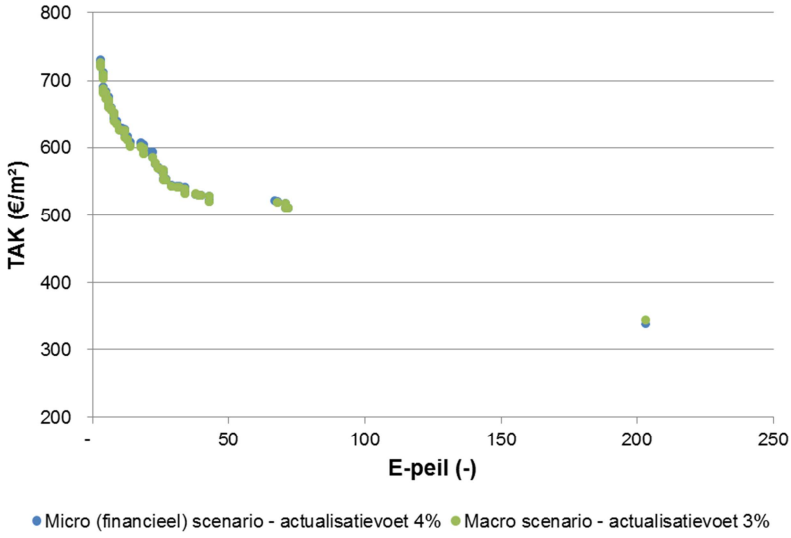


Figuur 45: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand kantoorgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave van de netto energievraag voor verwarming en koeling

7.2.6 Sensitiviteitsanalyses

Macro-economische berekening

In lijn met de eisen uit de Verordening [1] wordt ook een macro-economische berekening uitgevoerd voor een actualisatievoet van 3%. Zoals uit Figuur 46 kan worden afgeleid zijn er nauwelijks verschillen met de micro-economische berekeningen voor een actualisatievoet van 4%.

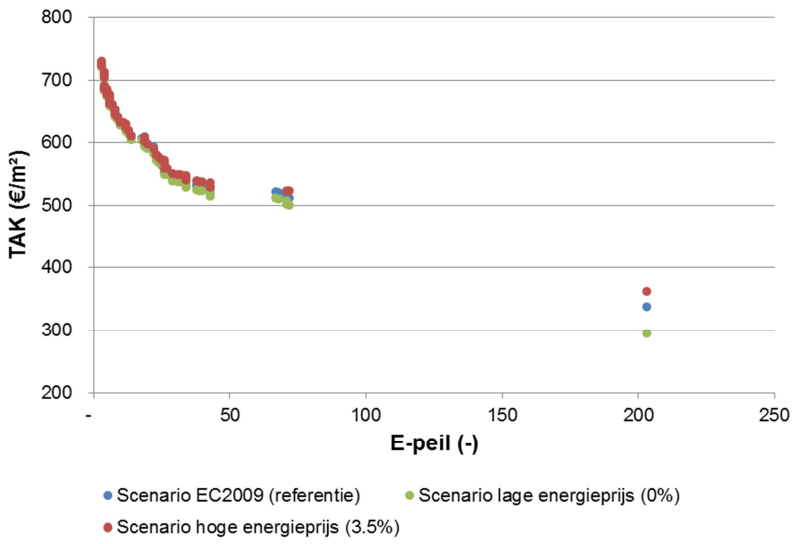


Figuur 46: (sub-)Pareto front voor het micro (financieel) scenario met actualisatievoet 4% (referentie) en het macro scenario met actualisatievoet 3% voor het bestaand kantoorgebouw

Energieprijsscenario

Figuur 47 toont de impact van een 'laag' en 'hoog' energieprijsscenario op het (sub-)Pareto front voor het bestaand kantoorgebouw. Lagere energieprijzen resulteren in een lagere totale actuele kost, zeker wanneer de vooropgestelde primaire energiebesparing eerder beperkt is. Hoe hoger het ambitieniveau en dus hoe lager het beoogde primaire energieverbruik, hoe kleiner de afstand tussen de verschillende energieprijsscenarios. De keuze voor een laag-energie gebouw zorgt er m.a.w. voor dat de gebruiker veel minder gevoelig is voor prijsfluctuaties op de energiemarkt.

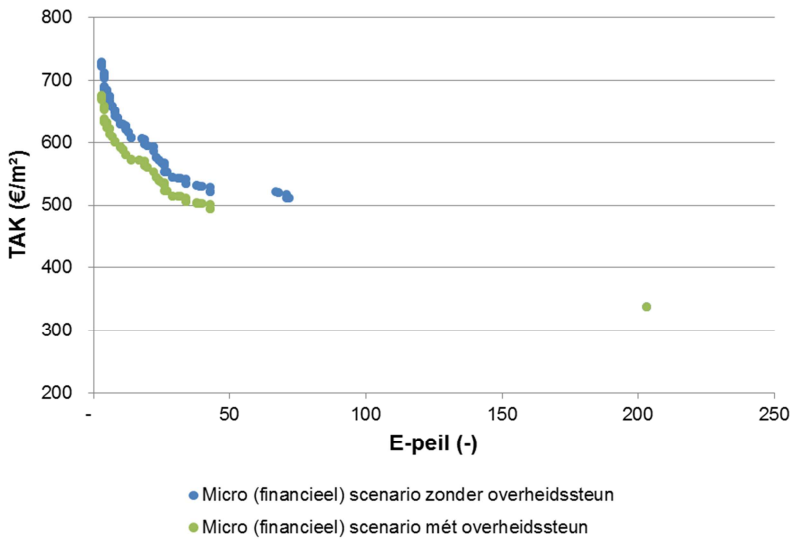
Uit een gedetailleerde analyse van de maatregelencombinaties op het front blijkt dat het doorgaans om dezelfde maatregelen gaat. Bij een lager energieprijsscenario kunnen echter ook maatregelcombinaties met een iets minder performante variant van een specifieke maatregel op het Pareto front komen te liggen.



Figuur 47: (sub-)Pareto front voor het referentie energieprijsscenario (EC2009) en een laag (0%) en hoog (3.5%) energieprijsscenario voor het bestaand kantoorgebouw

Overheidssteun

In hoofdstuk 3.11 wordt besproken welke vormen van overheidssteun van toepassing zijn voor het bestaand kantoorgebouw. Zoals we uit Figuur 48 kunnen afleiden is de impact van overheidssteun op het (sub-)Pareto front beperkt tot een verlaging van de totale actuele kost van bepaalde maatregelenpakketten. De daling in totale actuele kost is het grootst bij maatregelenpakketten met fotovoltaïsche energie; dit als gevolg van de groenestroomcertificaten. Hierdoor wijzigt ook het kostenoptimum. De totale actuele kost van het maatregelenpakket mét fotovoltaïsche energie is als gevolg van de groenestroomcertificaten nu lager dan de totale actuele kost van datzelfde maatregelenpakket zonder fotovoltaïsche energie. Voor de gevolgen hiervan verwijzen we naar bovenstaande conclusies (paragraaf 7.2.5) De volgorde van de overige maatregelenpakketten op het front blijft echter grotendeels gelijk.



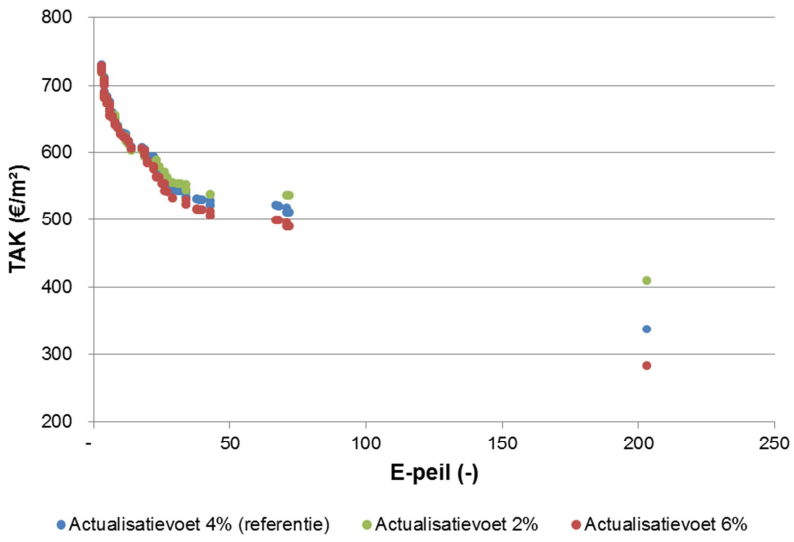
Figuur 48: (sub-)Pareto front voor het scenario zonder overheidssteun (referentie) en mét overheidssteun voor het bestaand kantoorgebouw

Actualisatievoet

Figuur 49 toont de impact op het (sub-)Pareto front van een lagere (2%) en hogere (6%) actualisatievoet voor de berekeningen bij het bestaand kantoorgebouw. De actualisatievoet is een weerspiegeling van hoe de bouwheer/investeerder de toekomst inschat. Bij onzekerheid wordt meer waarde gehecht aan korte termijn inkomsten en minder aan lange termijn rendementen. Hoe groter de onzekerheid, hoe hoger de actualisatievoet. In het kader van deze studie zal een hogere actualisatievoet zich vertalen in een hoger vereist rendement op de investering, een hogere rentevoet op vreemd vermogen, etc.

We constateren een duidelijke impact op de totale actuele kost onder de vorm van een opwaartse of neerwaartse verschuiving van het front. Uit een gedetailleerde analyse van de resultaten blijkt dat het grotendeels om dezelfde maatregelenpakketten op het front gaat. Het kostenoptimum blijft bij een E72 liggen.

De actualisatievoet heeft een grotere impact op de jaarlijkse kosten (energie en onderhoud) dan op de investeringskosten (hoofdzakelijk van toepassing in jaar 0). Zoals al vermeld in het 'Woord vooraf' (zie 7.2.4) wordt voor de referentiecase (met E-peil = 203) geen enkele investeringskost in rekening gebracht. Aangezien het energieverbruik (en dus ook de kosten) bij de referentiecase veel groter is dan bij de maatregelen(pakketten) op het Pareto front is de impact van een variërende actualisatievoet bij de referentiecase veel groter. Naarmate het primair energieverbruik (en het E-peil) daalt, zal de impact van een variërende actualisatievoet afnemen.



Figuur 49: (sub-)Pareto front voor de referentie actualisatievoet (4%) en een lagere (2%) en hogere (6%) actualisatievoet voor het bestaand kantoorgebouw

Gebouworiëntatie

Ons referentie bestaand kantoorgebouw is een bijna symmetrisch gebouw. De glasoppervlakte aan de voorkant van het gebouw is quasi gelijk aan de glasoppervlakte aan de achterkant van het gebouw. En hetzelfde geldt voor de linker- versus rechterkant van het gebouw. Uit sensitiviteitsanalyses blijkt dan ook dat het draaien van het referentiegebouw met 180° maar een uiterst minieme impact op de resultaten heeft. Het Pareto front voor de 180° variant is quasi gelijk aan die voor het referentiegebouw. Daarom wordt deze sensitiviteitsvariant ook niet weergegeven in onderstaande figuur.

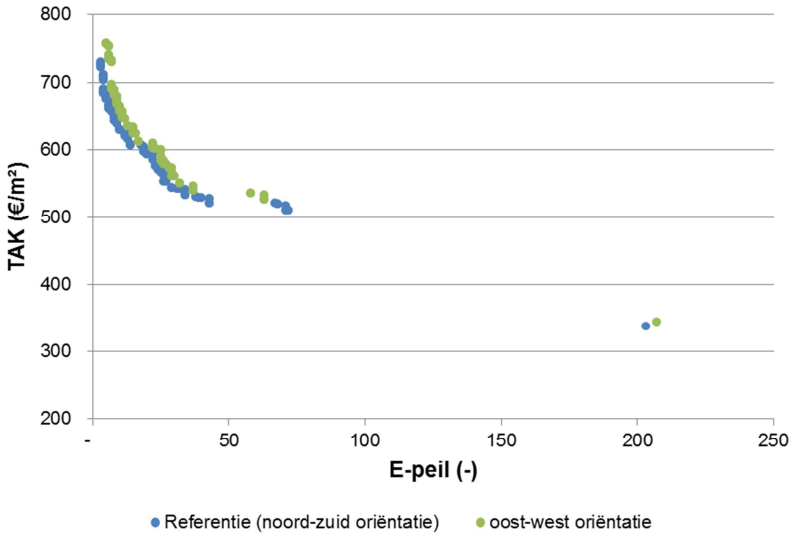
Figuur 50 toont de impact op het (sub-)Pareto front van een oost-west georiënteerd gebouw (t.o.v. het noord-zuid georiënteerd referentiegebouw)[31].

De impact van de oriëntatie van het gebouw blijkt van veel groter belang op het Pareto front dan het toekomstig energieprijsscenario. We stellen het volgende vast:

- Voor ons referentiegebouw resulteert een oost-west oriëntatie in een kleine daling van de jaarlijkse warmtevraag maar een (in verhouding grotere) stijging van de koudevraag. Daarnaast zal hetzelfde geïnstalleerd vermogen aan fotovoltaïsche panelen een lagere elektriciteitsproductie genereren door de minder optimale oriëntatie. De combinatie van beide resulteert in een groter primair energieverbruik (en E-peil) voor ons referentiegebouw en een hogere totale actuele kost.
- De oriëntatie van ons gebouw heeft een grote invloed op ons kostenoptimum. Net als bij het referentiegebouw stijgt de koudevraag en de bijhorende energiekosten bij een oost-west

[31] Met noord-zuid oriëntatie wordt bedoeld dat het grootste glasoppervlak zich aan de noord- en zuidzijde van het gebouw bevindt. Idem oost-west oriëntatie.

oriëntatie. Hierdoor wordt dakisolatie als dominante bouwfysische maatregel bij de kostenoptimale varianten vervangen door de renovatie van ramen. Net als bij bijkomende dakisolatie zal het vervangen van de ramen de globale U-waarde doen dalen. Daarenboven zal door de lagere g-waarde van de nieuwe ramen echter ook de koellasten dalen. Hierdoor resulteert dit maatregelenpakket (met vervanging van ramen) in een grotere primaire energiebesparing (en een lager E-peil) dan het equivalent maatregelenpakket met bijkomende dakisolatie. Het kostenoptimum verschuift van een primair energieverbruik van 149 kWh/m².jaar en een E-peil van 72 naar een primair energieverbruik van 131 kWh/m².jaar en een E-peil van 63.



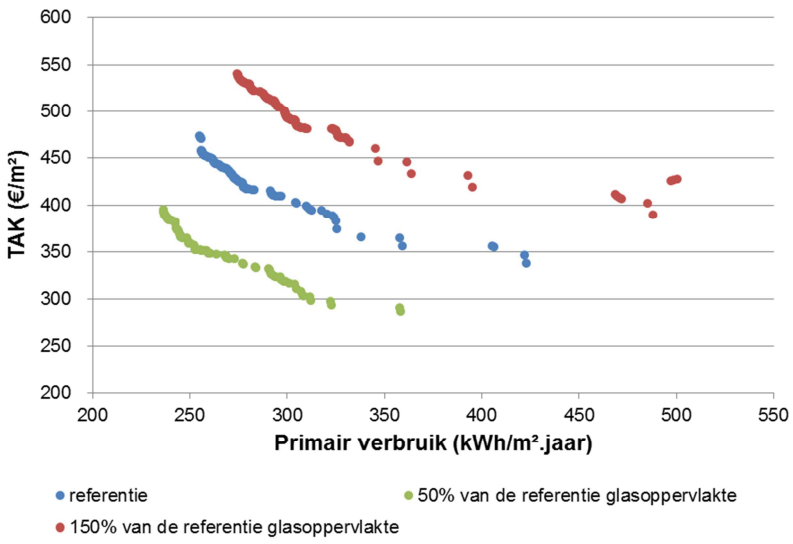
Figuur 50: (sub-)Pareto front voor een noord-zuid (referentie) en oost-west oriëntatie voor het bestaand kantoorgebouw

Glasoppervlakte gevel

Figuur 51 en Figuur 52 tonen de impact op het (sub-)Pareto front van een kleiner en groter glasoppervlak voor het bestaand kantoorgebouw en dit voor respectievelijk de bouwfysische maatregelenpakketten en de gecombineerde maatregelenpakketten.

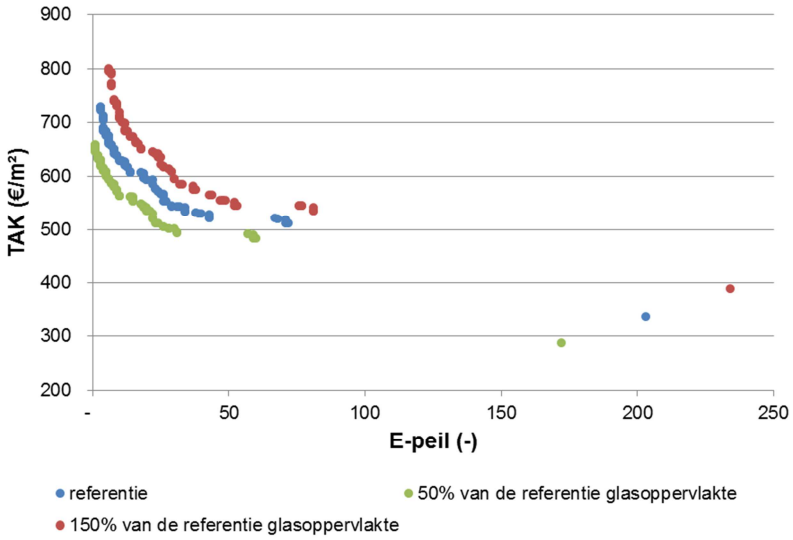
Zoals verwacht zal een kleiner glaspercentage bij zowel het referentiegebouw als de verschillende maatregelen(pakketten) resulteren in een lager primair energieverbruik (en dus E-peil) en een lagere totale actuele kost. Dit valt eenvoudig te verklaren door het grote belang van de koellasten op het totaal verbruik bij een kantoorgebouw. Een kleiner glaspercentage resulteert in minder zonnewinsten en zodoende ook in een lager koelverbruik. De precieze keuze voor een bepaald glaspercentage zal steeds functie zijn van de geometrie van het gebouw en de gewenste daglichttoetreding.

Zonnewering kan hier als alternatief optreden voor het verder verlagen van het glaspercentage.



Figuur 51: (sub-)Pareto front van de bouwfysische maatregelenpakketen voor de referentie en een kleiner (50% t.o.v. de referentie) en groter (150% t.o.v. de referentie) glasoppervlak voor het bestaand kantoorgebouw

Het kostenoptimum lag voor het referentiescenario bij een E-peil van 72. Bij een glasoppervlakte die maar de helft bedraagt van dat van de referentiecase zal het maatregelenpakket die correspondeert met het kostenoptimum resulteren in een E-peil van 60. Bij een glasoppervlakte die de helft groter is dan dat van de referentiecase zal het maatregelenpakket die correspondeert met het kostenoptimum resulteren in een E-peil van 81. Het mag duidelijk zijn dat het glaspercentage een significante invloed heeft op het primair energieverbruik (en E-peil) dat resulteert uit een bepaald maatregelenpakket. De impact is met voorsprong de grootste van alle sensitiviteitsanalyses.



Figuur 52: (sub-)Pareto front van de gecombineerde maatregelenpakketen voor de referentie en een kleiner (50% t.o.v. de referentie) en groter (150% t.o.v. de referentie) glasoppervlak voor het bestaand kantoorgebouw

Reële energiebesparing

Afwijkend met de eisen uit het bestek werd geen sensitiviteitsanalyse uitgevoerd op het verschil tussen de reële energiebesparing en de berekende energiebesparing volgens de EPU-rekenmethodologie.

De complexiteit van het gebruikte rekenmodel voor deze studie uit zich in een groot aantal intermediaire berekeningen i.f.v. de dimensionering van het systeem. Die gedetailleerde dimensionering is cruciaal om tot betrouwbare kostprijzen te komen voor de specifieke vermogens in elke simulatielijn. Die complexiteit in het model sluit echter een sensitiviteitsanalyse op de reële energiebesparing t.o.v. de energiebesparing o.b.v. de EPU-rekenmethodologie uit.

7.3 RESULTATEN BESTAAND SCHOOLGEBOUW

7.3.1 Scenariokeuze

De resultaten zoals hieronder besproken zijn het resultaat van energetische en financiële berekeningen o.b.v. de volgende algemene scenariokeuzes:

- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 30 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen zonder overheidssteun;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 3%

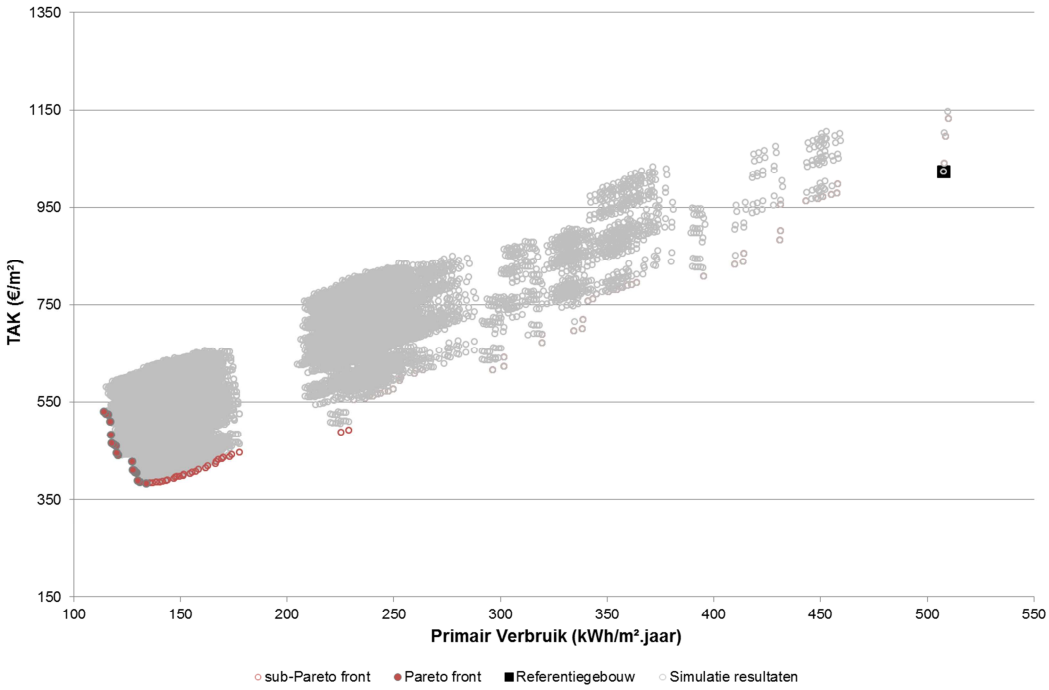
7.3.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten

Figuur 53 toont de resultaten en het Pareto front voor de bouwfysische maatregelencombinaties bij het bestaand schoolgebouw. In totaal betreft het ruim 66,000 maatregelencombinaties.

Het grote verschil met de resultaten voor het bestaand kantoorgebouw is dat bij ons bestaand schoolgebouw het overgrote deel van de bouwfysische maatregelenpakketten een lagere totale actuele kost heeft dan het referentiegebouw. De investeringskost(en) voor die maatregelenpakketten wordt m.a.w. steeds gecompenseerd door de resulterende besparingen.

Dit belangrijke verschil met de resultaten voor het kantoorgebouw is toe te schrijven aan de veel minder performante gebouwschil van ons referentie schoolgebouw. Ons referentie kantoorgebouw was al een minimale isolatie aanwezig in zowel vloer, gevel als dak en het gebouw was ook uitgerust met dubbel glas (t.o.v. enkel glas bij het referentie schoolgebouw).

Bouwfysische maatregelen(pakketten) en/of een totaalrenovatie zijn m.a.w. een stuk interessanter naar kostenoptimaliteit bij oude en minder performante gebouwen. Dit type gebouwen zou dan ook prioritair moeten worden aangepakt.



Figuur 53: Resultaten bouwfysische maatregelen(pakketten) voor het bestaand schoolgebouw

De afzonderlijke resultatenwolk met primair verbruik tussen 100 en 200 kWh/m².jaar vertegenwoordigt enkel 'totaalrenovatie' oplossingen. Voor ons referentie schoolgebouw (met zijn weinig performante gebouwschil eigenschappen) blijkt deze duidelijk de meest aangewezen keuze te zijn.

In het algemeen kunnen we concluderen dat de beslissing voor een totaalrenovatie van een dergelijk type gebouw (met weinig performante gebouwschil) op macro-economisch niveau een veel grotere impact heeft naar primair energieverbruik dan een verstrenging van de specifieke eisen voor de verschillende bouwschildelen.

Bouwknopen

Analoog met het kantoorgebouw blijkt dat ook voor het schoolgebouw het oplossen van de meeste tot alle bouwknopen (wanneer van toepassing) doorgaans de meest kostenoptimale oplossing is. De extra investering, zowel naar werken als studiekost, verdient zichzelf terug, te meer binnen de huidige EPB regelgeving.

Luchtdichtheid

Analoog met het kantoorgebouw worden specifieke inspanningen m.b.t. het verbeteren van de luchtdichtheid enkel in beschouwing genomen wanneer het om een 'totaalrenovatie' gaat. Concreet betekent dit wanneer zowel dak, gevel (muur en ramen) als vloer worden gerenoveerd.

In het andere geval wordt de standaard luchtdichtheid (v50 = 12 $m^3/h.m^2$) automatisch verlaagd o.b.v. van toegepaste isolatiemaatregelen voor die specifieke maatregelencombinatie.

Voor ons schoolgebouw ligt het kostenoptimaal luchtdichtheidsniveau in het geval van een totaalrenovatie rond de 3 tot 1.5 $m^3/h.m^2$. Dit is minder ambitieus dan het kostenoptimum bij ons kantoorgebouw (1.5 tot 1 $m^3/h.m^2$) is vnl. het gevolg van de lagere compactheid van ons schoolgebouw.

Vloerisolatie

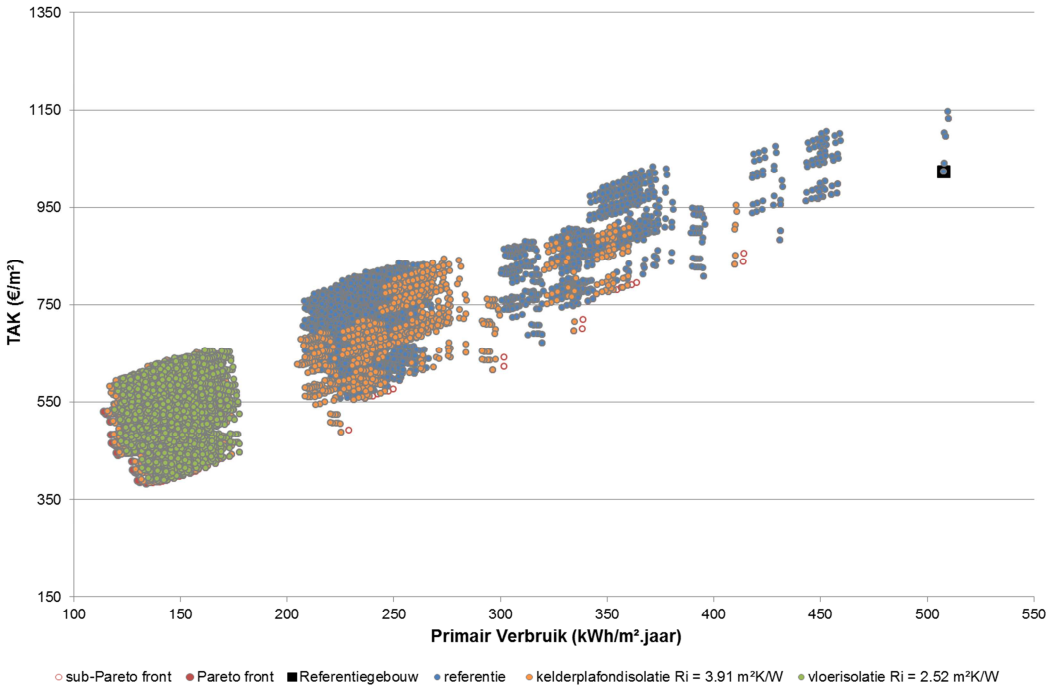
Bij vloerisolatie beschouwen we:

- vloerisolatie bij totaalrenovatie van het gebouw; en
- kelderplafondisolatie die ook toepasbaar is als individuele maatregel

De eerste maatregel wordt enkel in beschouwing genomen bij een totaalrenovatie van het gebouw, waarbij we dezelfde hypothesen als bij het kantoorgebouw

Op basis van de resultaten kunnen we het volgende besluiten (zie ook Figuur 54):

- Het behouden van de bestaande situatie zonder vloer- of kelderplafondisolatie is zeker niet aangewezen.
- Het verschil naar kostenoptimaliteit tussen de verschillende isolatiewaarden is uiterst miniem. Belangrijker dan de isolatiewaarde is dat er effectief wordt geïsoleerd. Een verstrenging van de huidige eis is wel te beargumenteren, maar weinig prioritair.
- Kelderplafond isolatie kan, in tegenstelling tot vloerisolatie, ook als afzonderlijke maatregel worden toegepast (en niet enkel bij een totaalrenovatie). Uit de resultaten blijkt dat de eis anno 2014 meer kostenoptimaal is dan de eis anno 2012. Zoals verwacht is het verschil groter wanneer de maatregel op zich wordt beschouwd dan wanneer deze in combinatie met andere bouwfysische maatregelen wordt beschouwd.
- Naar kostenoptimaliteit bestaat er geen specifieke voorkeur voor de verschillende isolatietoepassingen (vloerisolatie versus kelderplafondisolatie).



Figuur 54: Resultaten enkele vloerisolatievarianten voor het bestaand schoolgebouw

Gevelisolatie

Bij gevelisolatie beschouwen we:

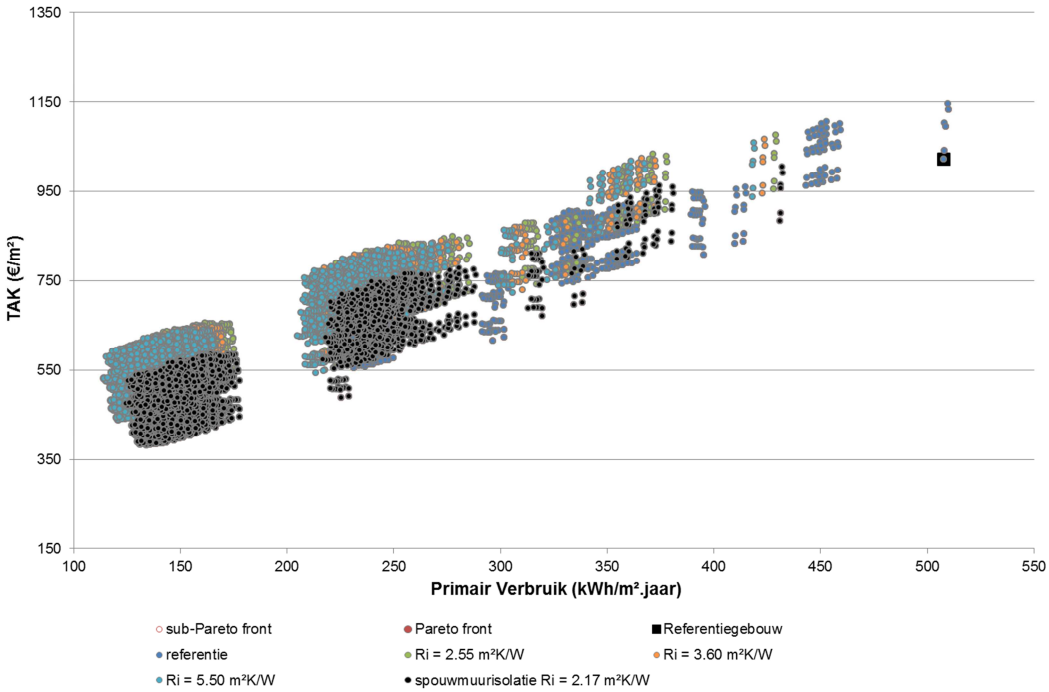
- externe gevelisolatie; en
- spouwmuurisolatie

Op basis van de resultaten kunnen we het volgende besluiten (zie ook Figuur 55):

- Het behouden van de bestaande situatie zonder gevelisolatie is zeker niet aangewezen.
- Door de in vergelijking met de overige gevelisolatievarianten relatief lage investeringskost, scoort spouwmuurisolatie op vlak van totale actuele kost een stuk beter dan die andere varianten. Het optimum en de helft van het eigenlijke Pareto front worden dan ook ingenomen door deze variant. Belangrijke opmerking echter is dat met de veronderstelde spouwdikte (zijnde 5 cm) niet aan de huidige maximale U-waarde eis (U = 0.32 W/m²K) kan worden voldaan. Een differentiatie in U-waarde eis tussen gevelisolatie en spouwmuurisolatie is m.a.w. wenselijk, zeker gezien het dikwijls beperkte investeringsbudget voor schoolgebouwen[32].
- Analoog met de vloerisolatievarianten geldt ook hier dat de varianten met maximale isolatiewaarden dikwijls kostenoptimaal zijn. Ook hier is de afstand tussen de verschillende

[32] Deze conclusie kan echter evenzeer geldig zijn voor niet geïsoleerde kantoorgebouwen met spouwmuur.

isolatiewaarden redelijk klein. Een verstrenging van de eis is m.a.w. wel te beargumenteren, maar misschien weinig prioritair.



Figuur 55: Resultaten enkel gevelisolatievarianten voor het bestaand schoolgebouw

Dakisolatie

Bij dakisolatie beschouwen we:

- Isoleren van het plat dak; en
- Binnenisolatie van een hellend dak variant

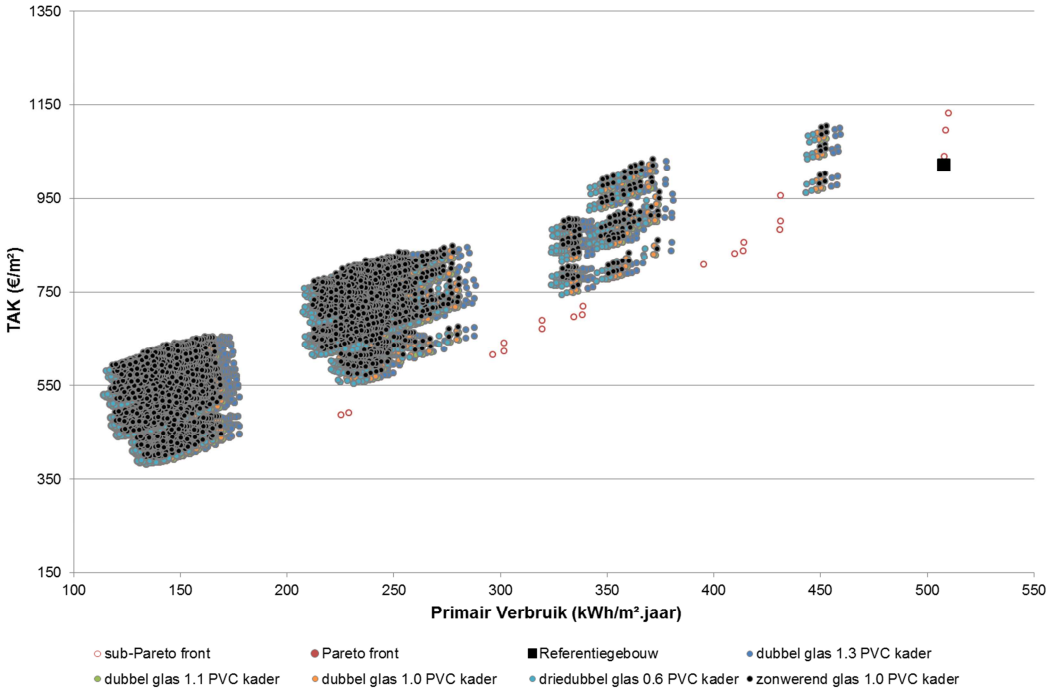
Op basis van de resultaten kunnen we het volgende besluiten (zie ook xxx):

- Het behouden van de bestaande situatie zonder dakisolatie is zeker niet aangewezen.
- Analoog met spouwmuurisolatie bij de gevelisolatievarianten is de variant waarbij we isolatie aan de binnenkant van een hellend dak beschouwen (i.p.v. plat dak bij het referentiegebouw) door zijn lagere investeringskost de meest kostenoptimale oplossing.
- Analoog met vloer- en gevelisolatie geldt ook hier dat de varianten met maximale isolatiewaarden dikwijls kostenoptimaal zijn. Ook hier is de afstand tussen de verschillende isolatiewaarden echter redelijk klein. Een verstrenging van de eis is m.a.w. wel te beargumenteren, maar misschien weinig prioritair.

Ramen

Op basis van de resultaten kunnen we het volgende besluiten (zie ook Figuur 56):

- Het behouden van de bestaande ramen met enkel glas is zeker niet aangewezen.
- De betere prestaties van dubbel glas met U_g-waarde = 1.0 W/m²K kan de hogere investeringskost t.o.v. dubbel glas met U_g-waarde 1.1 W/m²K niet noodzakelijk compenseren en resulteert in een hogere totale actuele kost t.o.v. deze eerste variant.
- Drievoudig glas met U_g-waarde = 0.6 W/m²K geldt als de meest kostenoptimale variant van alle raamvarianten bij een schoolgebouw. Zonwerend glas scoort dan weer een stuk minder goed in vergelijking met kantoorgebouwen (een hoger primair energieverbruik én een hogere totale actuele kost t.o.v. de dubbel glas 1.0 en drievoudig glas 0.6 variant). In tegenstelling tot de situatie bij kantoorgebouwen heeft - binnen de huidige EPB rekenmethodologie - het beperken van de transmissieverliezen voorrang op het verminderen van de zonnewinsten om de koellast te beperken.

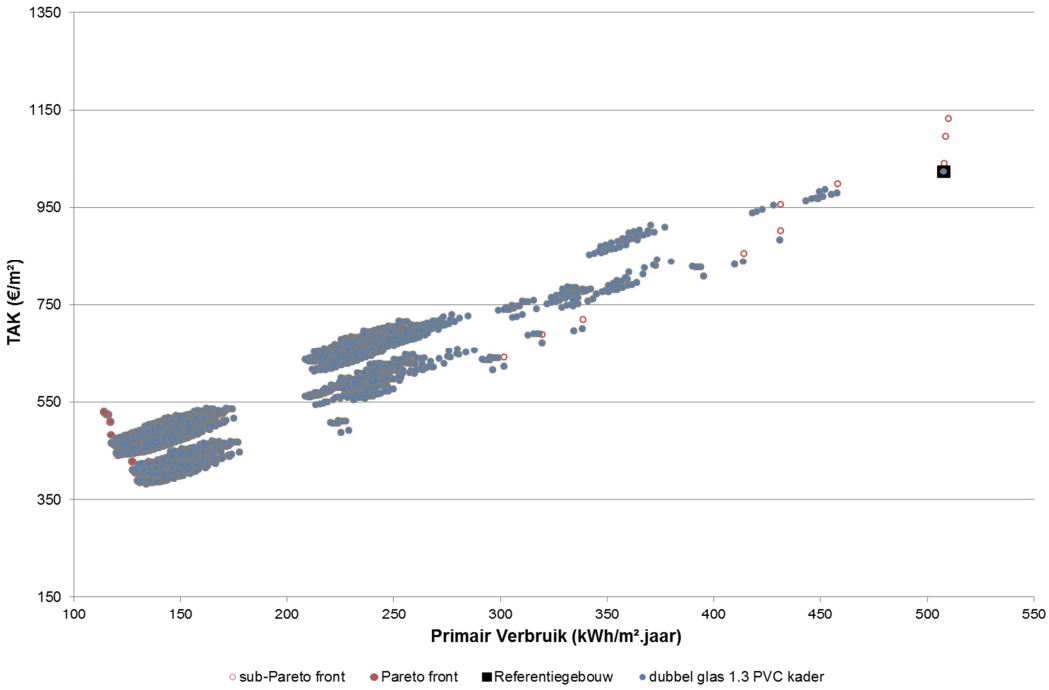


Figuur 56: Resultaten raamvarianten voor het bestaand schoolgebouw

Zonnewering

Zoals uit Figuur 57 blijkt, is - binnen de huidige EPB rekenmethodologie - het beperken van de zonnewinsten bij schoolgebouwen minder belangrijk dan bij kantoorgebouwen. Ook voor het kostenoptimum is geen zonnewering van toepassing.

(Structurele) zonnewering komt wel op het front te liggen bij maximale primaire energiebesparing maar is binnen de beschouwde randvoorwaarden niet kostenoptimaal.



Figuur 57: Resultaten zonder zonnewering voor het bestaand schoolgebouw

7.3.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten

Tabel 25 geeft een oplijsting van de 15 bouwfysische maatregelenpakketten die werden geselecteerd voor combinatie met de verschillende installatietechnische maatregelencombinaties.

De referentie varianten, zoals weergegeven in hoofdstuk 4 zijn:

- VL1: U_{vloer} = 2.99 W/m²K
- M1: U_{muur} = 1.70 W/m²K
- D1: U_{dak} = 3.49 W/m²K
- R1: dubbel glas met U_{raam} = 5.00 W/m²K en g-waarde = 0.85
- Z1: geen zonnewering
- B1: methode B + aantal niet EPB-aanvaarde bouwknopen
- LD1: luchtdichtheid waarde bij ontstentenis (12 m³/h.m²)

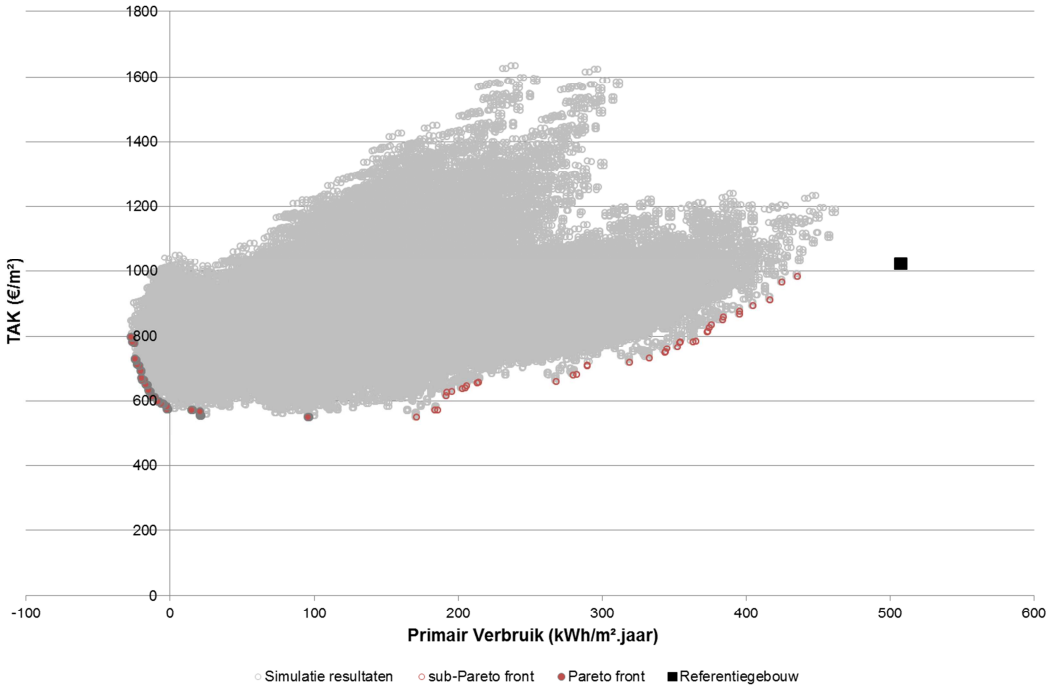
Tabel 25: Selectie bouwfysische maatregelenpakketten bestaand schoolgebouw

Code	Maatregelenpakket
VL1 M1 D1 R3 Z1 B1 LD1	• dubbel glas 1.1 PVC kader
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1	• spouwmuurisolatie U_{muur} = 0.36 W/m²K
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1	• kelderplafondisolatie U_{vloer} = 0.24 W/m²K
VL1 M1 D6 R1 Z1 B1 LD1	• binnenisolatie schuin dak U_{dak} = 0.19 W/m²K
VL5 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1	• kelderplafondisolatie U_{vloer} = 0.35 W/m²K • dubbel glas 1.1 PVC kader • B + meeste bouwknopen EPB conform
VL5 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1	• kelderplafondisolatie U_{vloer} = 0.35 W/m²K • spouwmuurisolatie U_{muur} = 0.36 W/m²K
VL1 M4 D4 R1 Z1 B1 LD1	• gevelisolatie U_{muur} = 0.20 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.20 W/m²K
VL6 M6 D1 R3 Z1 B2 LD1	• kelderplafondisolatie U_{vloer} = 0.24 W/m²K • spouwmuurisolatie U_{muur} = 0.36 W/m²K • dubbel glas 1.1 PVC kader • B + meeste bouwknopen EPB conform
VL1 M6 D6 R2 Z1 B2 LD1	• spouwmuurisolatie U_{muur} = 0.36 W/m²K • binnenisolatie schuin dak U_{dak} = 0.19 W/m²K • dubbel glas 1.3 PVC kader • B + meeste bouwknopen EPB conform
VL6 M6 D6 R1 Z1 B1 LD1	• kelderplafondisolatie U_{vloer} = 0.24 W/m²K • spouwmuurisolatie U_{muur} = 0.36 W/m²K • binnenisolatie schuin dak U_{dak} = 0.19 W/m²K
VL4 M4 D4 R3 Z1 B2 LD3	• vloerisolatie U_{vloer} = 0.18 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.20 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.20 W/m²K

	• dubbel glas 1.1 PVC kader • B + meeste bouwknopen EPB conform • v50 = 3 m³/h.m²
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4	• vloerisolatie U_{vloer} = 0.18 W/m²K • spouwmuurisolatie U_{muur} = 0.36 W/m²K • binnenisolatie schuin dak U_{dak} = 0.19 W/m²K • drievoudig glas 0.6 PVC kader • B + meeste bouwknopen EPB conform • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL4 M5 D6 R5 Z1 B2 LD4	idem voorgaande maar • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K
VL4 M6 D5 R5 Z1 B2 LD4	idem voorgaande maar • spouwmuurisolatie U_{muur} = 0.36 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.16 W/m²K
VL4 M5 D5 R5 Z6 B3 LD5	idem voorgaande maar • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K • structurele zonnewering • B + alle bouwknopen EPB conform • v50 = 1 m³/h.m²

7.3.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten

Figuur 58 toont de resultaten en het Pareto front voor de combinatie van de geselecteerde bouwfysische maatregelenpakketten en de installatietechnische maatregelenpakketten. In totaal betreft het een kleine 170,000 gecombineerde maatregelenpakketten.



Figuur 58: Resultaten gecombineerde maatregelenpakketten voor het bestaand schoolgebouw

Woord vooraf

Bij de analyse van de gecombineerde maatregelenpakketten worden de verschillende installatietechnische maatregel(varianten) met hun specifieke (her)investeringskost, restwaarde en onderhoudskost samen met de referentiesituatie afgebeeld. We gaan er van uit dat bij elk maatregelenpakket (m.a.w. elk punt op de grafiek behalve het referentiepunt) zowel op vlak van verwarming- en koelsysteem, ventilatie als verlichting de huidige installaties dienen te worden vervangen. Dit verklaart onmiddellijk de grote sprong tussen het referentiegebouw en de oplossingen voor de gecombineerde maatregelenpakketten. Alle varianten met het bestaande systeem voor verwarming en koeling, ventilatie of verlichting werden m.a.w. uit de resultaten geweerd (behalve het referentiegebouw).

Voor de referentiesituatie zijn de kosten die gepaard gaan met de investeringen in installaties niet van toepassing en wordt de totale actuele kost enkel bepaald door de verbruikskosten waardoor deze veel lager ligt. Het is dan ook niet correct om de gecombineerde maatregelenpakketten te vergelijken met de referentiesituatie. De bedoeling is daarentegen om de verschillende maatregelenpakketten met elkaar te vergelijken, ervan uitgaande dat bepaalde investeringen zowiezo aan de orde zijn.

Een eerste vaststelling is de vlakke onderkant van de resultatenwolk. Er zijn m.a.w. heel wat oplossingen die op vlak van totale actuele kost gelijkwaardig zijn (ongeveer 550 €/m²) maar die sterk verschillen naar potentiële primaire energiebesparing.

Omwille van praktische redenen wordt in het vervolg van dit hoofdstuk de resultaten voor specifieke maatregelen(combinaties) weergegeven t.o.v. het Pareto front, zonder alle overige resultaatwaarden weer te geven.

Verwarmingssysteem

In totaal worden voor het bestaand kantoorgebouw 74 unieke systemen voor verwarming in beschouwing genomen. Hierbij wordt gevarieerd op vlak van:

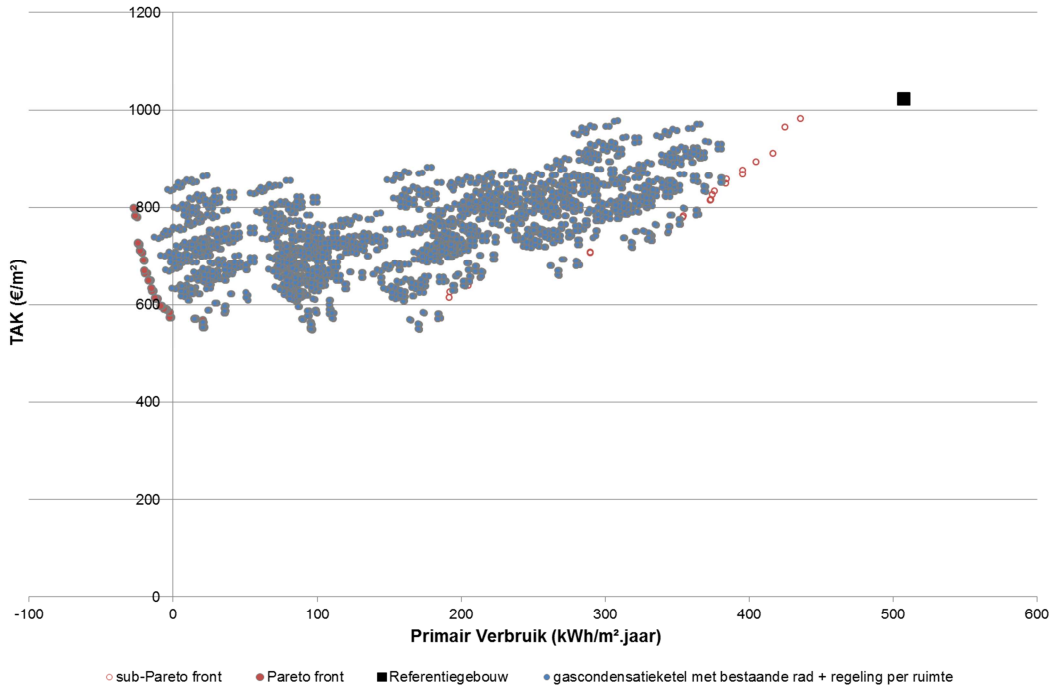
- het type opwekkingstechnologie voor verwarming;
- de aanwezigheid van een (back-up) installatie voor verwarming;
- de performantie van de opwekkingsinstallatie(s) (η, COP);
- het type emissiesysteem voor warmte;
- de aanwezigheid van een regeling voor verwarming per ruimte.

In tegenstelling tot het bestaand kantoorgebouw wordt voor het bestaand schoolgebouw geen actief koelsysteem verondersteld. Dit resulteert in enkele belangrijke verschillen naar conclusie tussen het bestaand kantoor- en schoolgebouw.

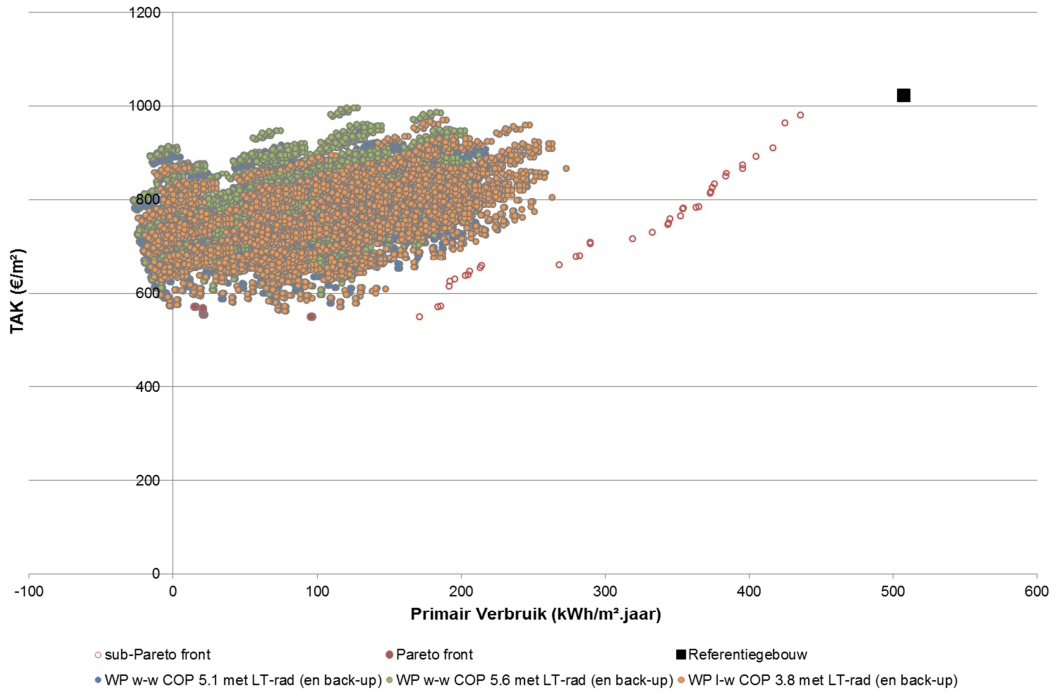
Bij het bestaand kantoorgebouw scoren verschillende warmtepompvarianten stukken beter dan een 'standaard' systeem voor verwarming en koeling bestaande uit een gascondensatieketel in combinatie met een compressiekoelmachine. Dit is voor een groot deel het resultaat van het (veel) groter koelrendement bij de warmtepompvarianten in vergelijking met de compressiekoelmachine. Doordat bij het schoolgebouw geen actieve koeling wordt beschouwd, is het verschil tussen een 'standaard' systeem (zijnde de gascondensatieketel) en de warmtepompvarianten die op het Pareto front voorkomen heel wat kleiner dan bij het bestaand kantoorgebouw. Naast die warmtepompvarianten ligt ook het 'standaard' systeem voor verwarming (zijnde de gascondensatieketel) op het Pareto front; het is tevens het kostenoptimum (zie Figuur 59).

Naast de gascondensatieketel vinden we volgende warmtepompvarianten op het Pareto front terug (Figuur 60):

- de water-water warmtepomp, COP = 5.1 met lage-temperatuur radiatoren, met en zonder back-up gascondensatieketel;
- de water-water warmtepomp, COP = 5.6 met lage-temperatuur radiatoren, met en zonder back-up gascondensatieketel;
- de lucht-water warmtepomp, COP = 3.8 met lage-temperatuur radiatoren, met en zonder back-up gascondensatieketel;



Figuur 59: Resultaten gascondensatieketel met bestaande radiatoren + regeling per ruimte voor het bestaand schoolgebouw



Figuur 60: Resultaten warmtepompvarianten op het Pareto front voor het bestaand schoolgebouw

Uit een gedetailleerde analyse van de resultaten kunnen we het volgend besluiten:

- Het standaard verwarmingssysteem (zijnde de gascondensatieketel) ligt op het Pareto front en is zelfs het kostenoptimum met dank aan het hergebruik van de bestaande radiatoren (en de sterk verlaagde totale investeringskost.
- De lucht-lucht warmtepomp met COP = 2.9 is, hoofdzakelijk omwille van het groter elektriciteitsverbruik (en de hiermee gepaard gaande kosten), niet interessant t.o.v. andere warmtepomp types.
- Regeling van het verwarmingssysteem per ruimte scoort altijd beter dan geen regeling per ruimte.
- Gezien het grote elektriciteitsverbruik bij een warmtepompvariant zal het plaatsen van een fotovoltaïsche installatie de rentabiliteit sterk positief beïnvloeden. Alle warmtepompvarianten op het Pareto front worden dan ook gecombineerd met een fotovoltaïsche installatie.

Analoog met het bestaand kantoorgebouw geldt:

- Lage-temperatuur radiatoren als warmte-emissie systeem komt het vaakst op het Pareto front voor (zie ook 7.2.4 - Verwarming- en koelsysteem). Voor het schoolgebouw is kostenoptimum (zijnde de gascondensatieketel met bestaande radiatoren) hierop een uitzondering (met dank aan de sterk verlaagde investeringskost).
  Bij de simulaties werd steeds rekening gehouden met het feit dat voor bepaalde renovatiepakketten er geen investeringskost voor lage-temperatuur radiatoren van toepassing is indien de bestaande radiatoren volstaan.
- Warmtepompvarianten met back-up gascondensatieketel (voor het opvangen van de pieken in de warmtevraag) hebben een veel lagere totale actuele kost dan diezelfde varianten zonder back-up. Gebruik van een back-up gascondensatieketel laat immers toe een veel kleiner warmtepompvermogen te plaatsen, waardoor de totale investeringskost een stuk lager is.

Ventilatie

Analoog met het bestaand kantoorgebouw beschouwen we bij het bestaand schoolgebouw zowel ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer) en ventilatiesysteem D (mechanische toevoer en afvoer). De conclusies zijn grotendeels dezelfde:

- Door het lager ventilatorverbruik bij ventilatiesysteem C ligt het totaal primair energieverbruik van deze varianten lager dan wanneer een ventilatiesysteem D (weliswaar zonder warmteterugwinning) wordt toegepast. De totale actuele kost ligt als gevolg van de lagere investeringskost ook een stuk lager. Het Pareto front bestaat hoofdzakelijk uit ventilatiesysteem C varianten, met uitzonderlijk van enkele punten op het front die resulteren in een negatief primair energieverbruik.
- Hoewel beide varianten op het Pareto front liggen, krijgt de toepassing van toerenregeling doorgaans de voorkeur. Zeker bij een systeem D is deze duidelijk de meest kostenoptimale keuze.

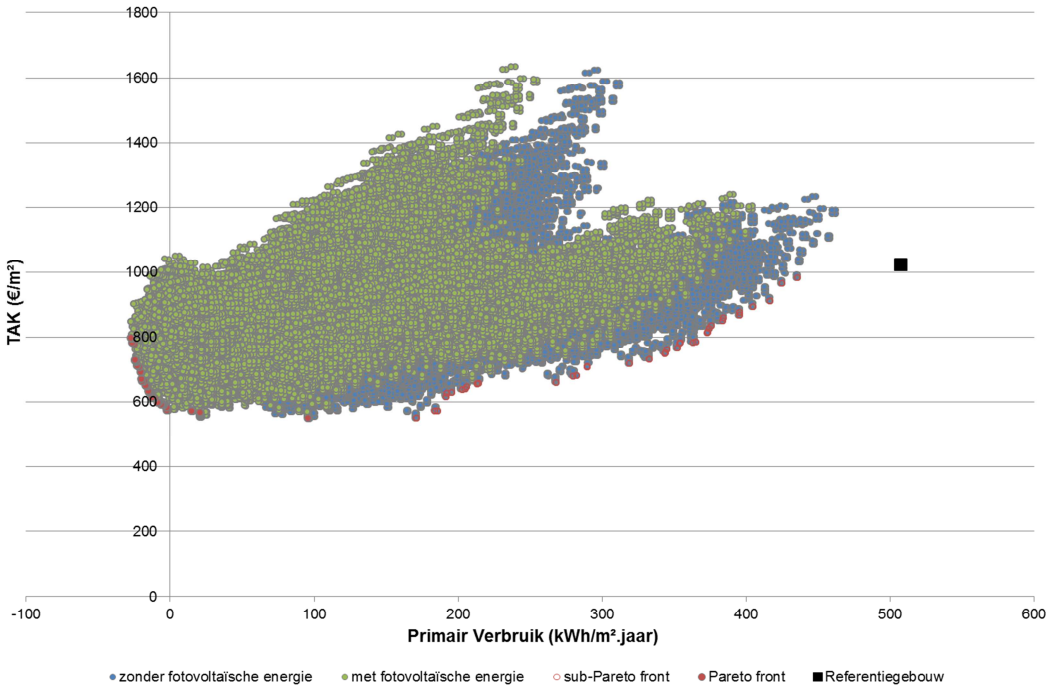
- In vergelijking met de varianten met ventilatiesysteem D zonder warmteterugwinning liggen deze met warmteterugwinning (η = 70%) een stuk dichter bij het Pareto front. Indien er - hetzij uit energetische overwegingen, hetzij uit overwegingen m.b.t. hygiënische ventilatie - beslist wordt om voor een systeem D te kiezen, doet men er m.a.w. goed aan steeds voor een installatie met warmteterugwinning te kiezen.
- Zowel het toepassen van toerenregeling als een (volledige) by-pass resulteert in een lagere totale actuele kost t.o.v. van de situatie waarbij deze opties niet worden toegepast. De meerinvesteringen voor deze opties zijn m.a.w. steeds rendabel. Een combinatie van beide geldt als de meest kostenoptimale keuze. Dit resulteert immers in een lager primair energieverbruik en dit voor een lagere totale actuele kost dan wanneer deze opties niet toegepast worden.
- Als we nu voorgaande resultaten vergelijken met de varianten met een rendement op de warmteterugwinning van 80%, dan zien we dat deze meerinvestering zichzelf terug verdient wanneer beschouwd over de volledige evaluatieperiode. Ook bij deze varianten is de meerinvestering voor toerenregeling rendabel, al wordt het verschil wel kleiner (zowel naar primaire energiebesparing als totale actuele kost). Dit valt makkelijk te verklaren doordat bij een hoger rendement van warmteterugwinning het besparingspotentieel van deze opties kleiner wordt. Hieruit kunnen we concluderen dat toerenregeling des te meer van belang zijn bij een lager rendement van de warmteterugwinning.

Verlichting

Voor de verschillende verlichtingsvarianten gelden dezelfde besluiten als bij het bestaand kantoorgebouw (zie hoofdstuk 7.2.4 - Verlichting).

Fotovoltaïsche energie (PV)

Zoals Figuur 61 toont, blijkt het plaatsen van een fotovoltaïsche installatie nog steeds één van de meest interessante maatregelen om het primair energieverbruik drastisch te verlagen en dit voor een totale actuele kost die nauwelijks toeneemt t.o.v. de referentiesituatie zonder fotovoltaïsche energie. Deze technologie wordt verder besproken bij de conclusies.



Figuur 61: Resultaten met en zonder (referentie) fotovoltaïsche energie voor het bestaand schoolgebouw

7.3.5 Conclusie bestaand schoolgebouw

Conclusies gebouwschil

Bij de referentie voor het bestaand schoolgebouw werd – gezien de vooropgestelde leeftijd van het gebouw – verondersteld dat er nergens isolatie aanwezig is. Deze hypothese leidt tot twee belangrijke conclusies. Ten eerste: quasi alle bouwfysische maatregelen(pakketten) resulteren in een lagere totale actuele kost dan het behouden van een ongewijzigd referentiegebouw en zijn dus interessant. Ten tweede: voor alle isolatiemaatregelen (vloer, gevel, dak) geldt dat het verschil naar kostenoptimaliteit tussen de isolatiediktevarianten relatief klein is[33]. Het isoleren van álle bouwschildelen is m.a.w kostenoptimaler dan het toepassen van de meest optimale isolatiedikte bij renovatie van één bepaald bouwschildeel. De belangrijkste conclusie voor dit type gebouwen (lees: oude gebouwen met weinig of geen isolatie) is dan ook dat totaalrenovatie van het gebouw te verkiezen is boven een (stapsgewijze) renovatie van de verschillende gebouwschildelen. Het verschil wordt voornamelijk gemaakt door de toepassing van vloerisolatie[34] en de mogelijkheid om een sterk verbeterde luchtdichtheid te behalen bij een totaalrenovatie.

Indien één of meerdere gebouwschildelen aan vervanging toe zijn en een renovatie zich sowieso aandient, wordt doorgaans beter voor de meest kostenefficiënte varianten gekozen. Tabel 26 geeft een overzicht van het aangewezen renovatieniveau voor de verschillende gebouwschildelen en vergelijkt deze met de huidge EPB-eisen en de eisen anno 2014.

Tabel 26: Aangewezen renovatieniveau bouwschildelen voor het bestaand schoolgebouw

	Eenheid	Huidige eis (vanaf 2012)	Eis anno 2014	Aangewezen renovatieniveau
U_{gevel}	W/m²K	0.32	0.24	0.24, met uitzondering van spouwmuurisolatie[35]
U_{dak}	W/m²K	0.27	0.24	0.24
U_{vloer}	W/m²K	0.35	0.30	0.30 [36]
U_{raam}	W/m²K	2.2	1.8	drievoudig glas met U_{raam} =

[33] Hierbij is het belangrijk op te merken dat er enkel varianten werden beschouwd die resulteren in een U-waarde die kleiner of gelijk is aan het huidige eisenniveau, met uitzondering van spouwmuurisolatie.

[34] Vloerisolatie wordt enkel beschouwd bij een totaalrenovatie.

[35] Met de veronderstelde spouwmuurbreedte (5 cm) kan niet aan de eis anno 2012 worden voldaan indien enkel spouwmuurisolatie wordt toegepast. Desondanks blijkt deze maatregel heel interessant te zijn.

[36] De U-waarde wordt berekend volgens de gedetailleerde rekenmethode. Vloerisolatie als renovatiemaatregel wordt enkel beschouwd bij totaalrenovatie. Kelderplafondisolatie is steeds aangewezen indien mogelijk.

U_{glas}	W/m²K	1.3	1.1	1.08, U_{glas} = 0.6 en g-waarde = 0.5
Luchtdichtheid	m³/(h/m²)	/	/	≤ 1.5 (enkel van toepassing bij totaalrenovatie)

Conclusies globale energieprestatie-eisen

Figuur 62 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven E-peil en totale actuele kost (€/m²) en dit voor de gecombineerde maatregelenpakketten. Figuur 63 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven primair verbruik (kWh/m².jaar) en totale actuele kost (€/m²) Voor de maatregelenpakketten op het (sub-)Pareto front wordt het corresponderend K- en E-peil afgebeeld.

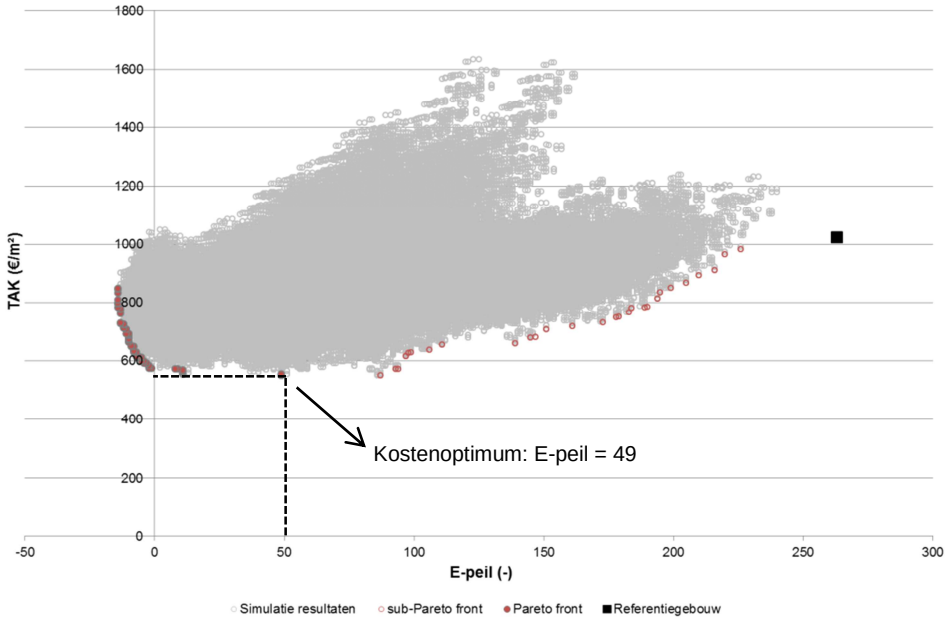
Het kostenoptimum ligt bij een primair verbruik van 97 kWh/m².jaar en een corresponderend K-peil van 25 en een E-peil van 49.

Ook hier blijkt duidelijk dat de toepassing van fotovoltaïsche energie het heel wat gemakkelijker maakt om een meer ambitieus E-peil te bereiken (Figuur 64).

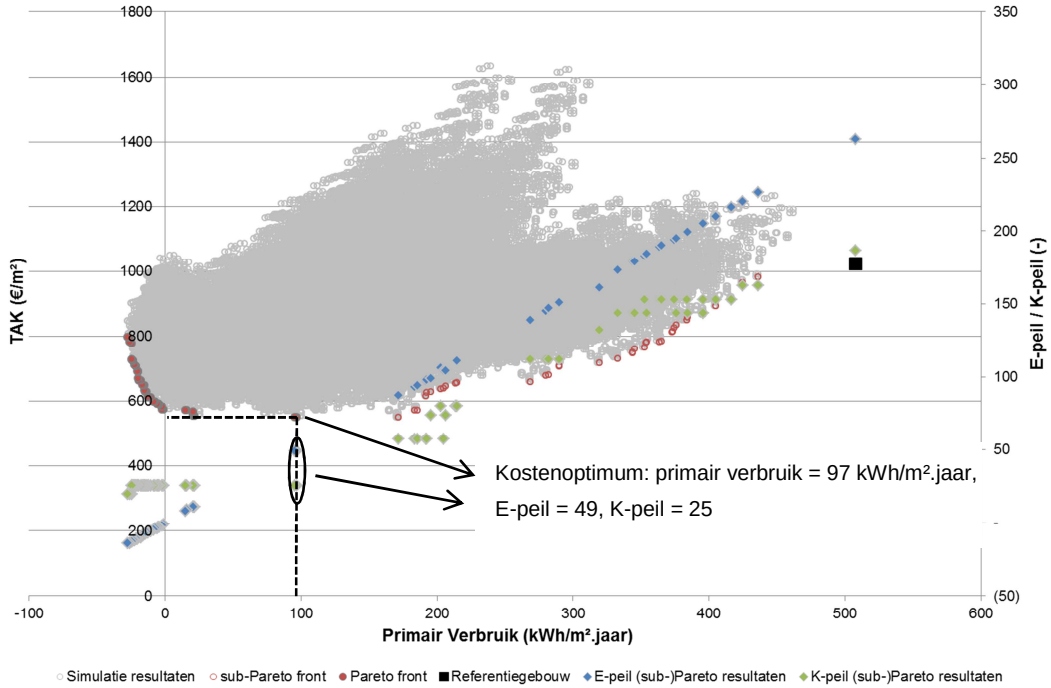
Het eerstvolgende punt op het Pareto front voorbij het kostenoptimum komt overeen met het maatregelenpakket van het kostenoptimum plus toepassing van fotovoltaïsche energie. Dit resulteert in een primair verbruik van 22 kWh/m².jaar en een corresponderend K-peil van 25 en een E-peil van 11.

Opvallend is het vlakke, horizontale (sub-)Pareto front in de zone rond het kostenoptimum. Er zijn m.a.w. heel wat verschillende maatregelencombinaties die een iets lagere of hogere primaire energiebesparing realiseren voor bijna dezelfde totale actuele kost als het kostenoptimum.

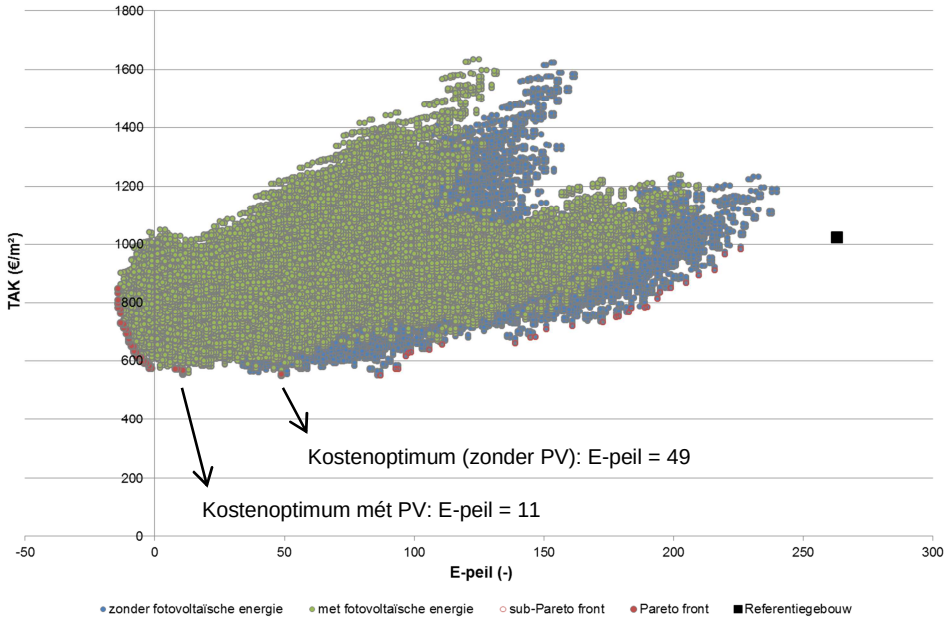
Het kostenoptimale E-peil bij een (ingrijpende) renovatie hangt sterk af van de bestaande toestand van het betreffende gebouw. Een E-peil eis vastleggen voor ingrijpende renovatie die functie is van die bestaande toestand is praktisch moeilijk haalbaar. Een heel conservatieve E-peil eis is een mogelijk alternatief maar is eerder arbitrair. Daarenboven lijkt een E-peil eis voor ingrijpende renovatie na 2015 slechts een beperkte meerwaarde te hebben. Dit omwille van de combinatie van bestaande eisen voor renovatie (eisen naar U- en R-waarde) en de toekomstige energieprestatie-eisen voor nieuw geplaatste installaties in bestaande gebouwen (opgelegd vanaf 1 januari 2015).



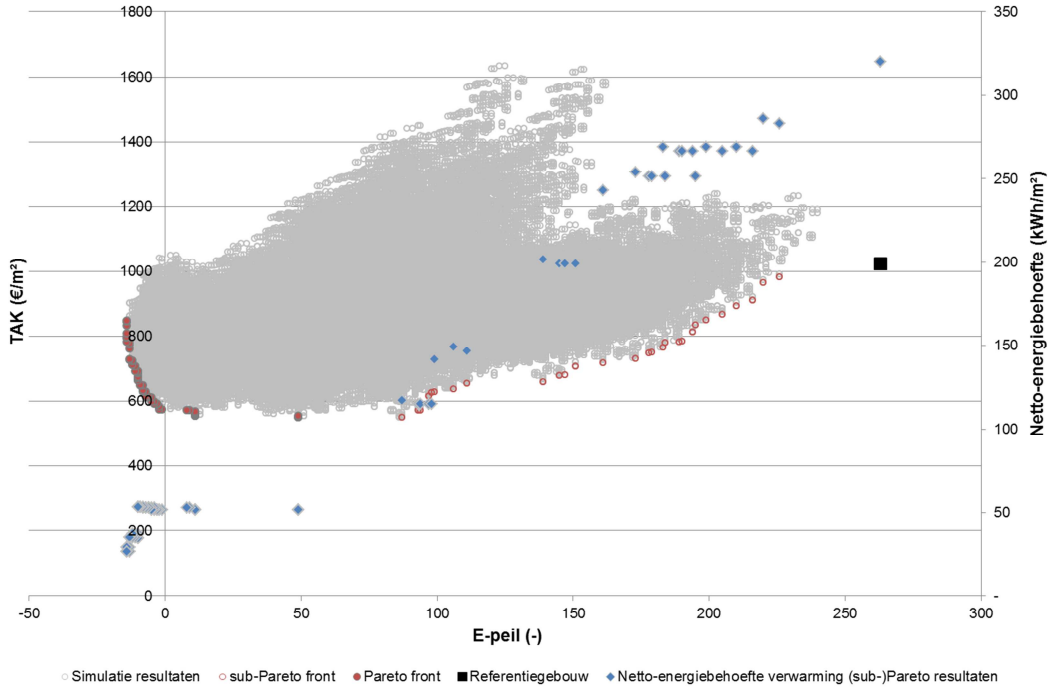
Figuur 62: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand schoolgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost



Figuur 63: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand schoolgebouw voor de objectieven primair energieverbruik en totale actuele kost (linkse y-as) met weergave van K- en E-peil (rechtse y-as)



Figuur 64: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand schoolgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave onderscheid met en zonder fotovoltaïsche energie



Figuur 65: Resultaten Pareto analyse voor het bestaand kantoorgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave van de netto energievraag voor verwarming

7.4 RESULTATEN NIEUW KANTOORGEBOUW

7.4.1 Scenariokeuze

De resultaten zoals hieronder besproken zijn het resultaat van energetische en financiële berekeningen o.b.v. de volgende algemene scenariokeuzes:

- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 20 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen zonder overheidssteun;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 4%

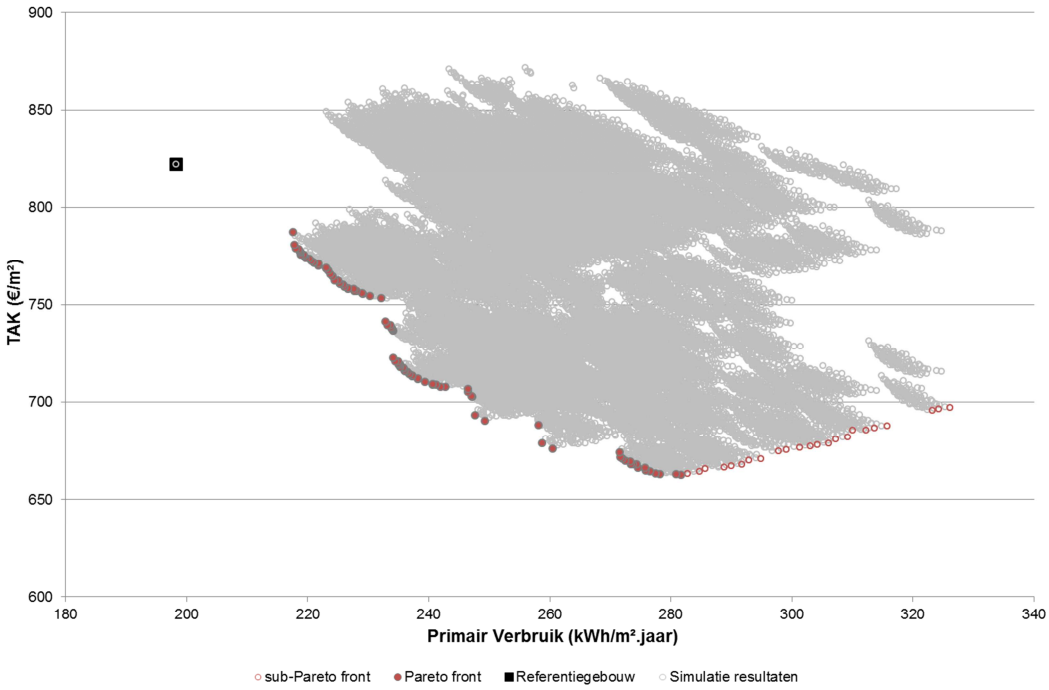
7.4.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten

Figuur 66 toont de resultaten en het (sub-)Pareto front voor de simulaties van alle bouwfysische maatregelencombinaties. In totaal betreft het 48,000 maatregelencombinaties.

De bouwfysische maatregelen worden telkens gecombineerd met dezelfde installatietechnische uitrusting, zijnde:

- een gascondensatieketel (η = 1.07) met LT-radiatoren in combinatie met een compressiekoelmachine (EER = 3.0) met koelpafonds;
- een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C) zonder toerenregeling;
- een globaal vermogen voor verlichting van 2.5 W/m².100 lux zonder aan- of afwezigheidsdetectie of daglichtsturing.

Voor de analyse van de bouwfysische maatregelenpakketten wordt bewust afgeweken van het installatietechnische pakket voor het E70 referentiegebouw. We willen immers nagaan welke bouwfysische maatregelen(pakketten) interessant zijn, los van het installatietechnische pakket. Indien we als basis de installatietechnische uitrusting van het E70 referentiegebouw zouden kiezen (met o.a. een warmteterugwinning op een ventilatiesysteem D), hypothekeren we de facto de 'kansen' van een andere installatietechnische uitrusting (bv een ventilatiesysteem C).



Figuur 66: Resultaten bouwfysische maatregelen(combinaties) voor het nieuw kantoorgebouw

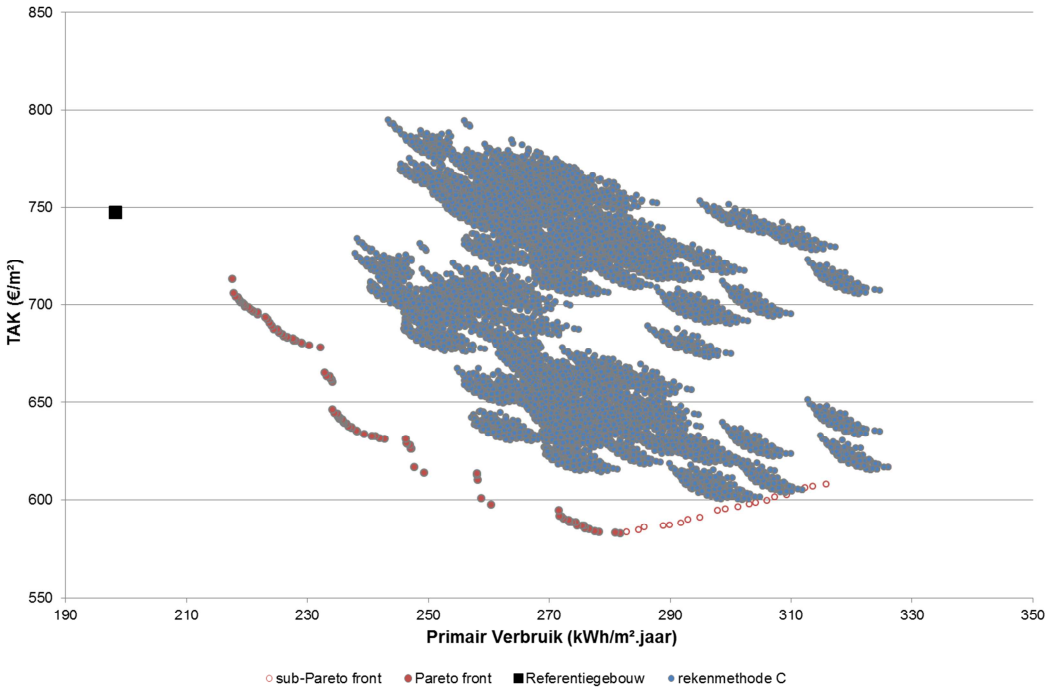
Omwille van praktische redenen worden in onderstaande grafieken de resultaten voor specifieke maatregelen(combinaties) weergegeven t.o.v. het Pareto front en zonder alle overige resultaatwaarden weer te geven.

Bouwknopen

Bij een nieuwbouw mogen we er van uitgaan dat alle bouwknopen in de praktijk opgelost worden. Daarom worden deze echter niet noodzakelijkerwijs ook zo ingegeven in de EPB-software.

Het aantonen dat de bouwknopen EPB conform zijn en/of het gedetailleerd ingeven van deze bouwknopen in de EPB software resulteert in een extra kost.

Uit Figuur 67 blijkt duidelijk dat methode C bij bouwknopen verre van kostenoptimaal is. We kunnen gerust stellen dat deze optie nooit interessant zal zijn in een optiek van kostenoptimale primaire energiebesparing[37].



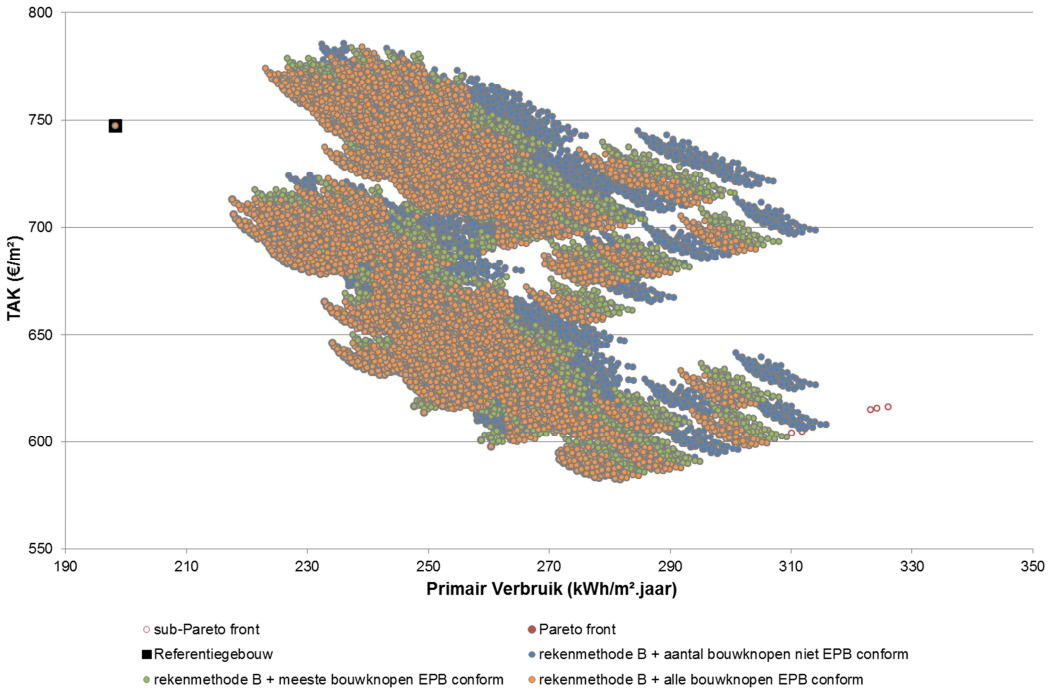
Figuur 67: Resultaten referentie bouwknopen (optie C) voor het nieuw kantoorgebouw

In Figuur 68 worden de overige bouwknoopvarianten weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk dat het EPB conform invoeren van alle bouwknopen de meest interessante optie is; deze variant is het vaakst op het Pareto front terug te vinden[38].

---

[37] Uit praktisch-visuele motieven werd deze variant uit alle toekomstige oplossingenvisualisaties verwijderd.

[38] Uit praktisch-visuele motieven werden enkel de laatste twee varianten weerhouden bij alle toekomstige oplossingenvisualisaties.



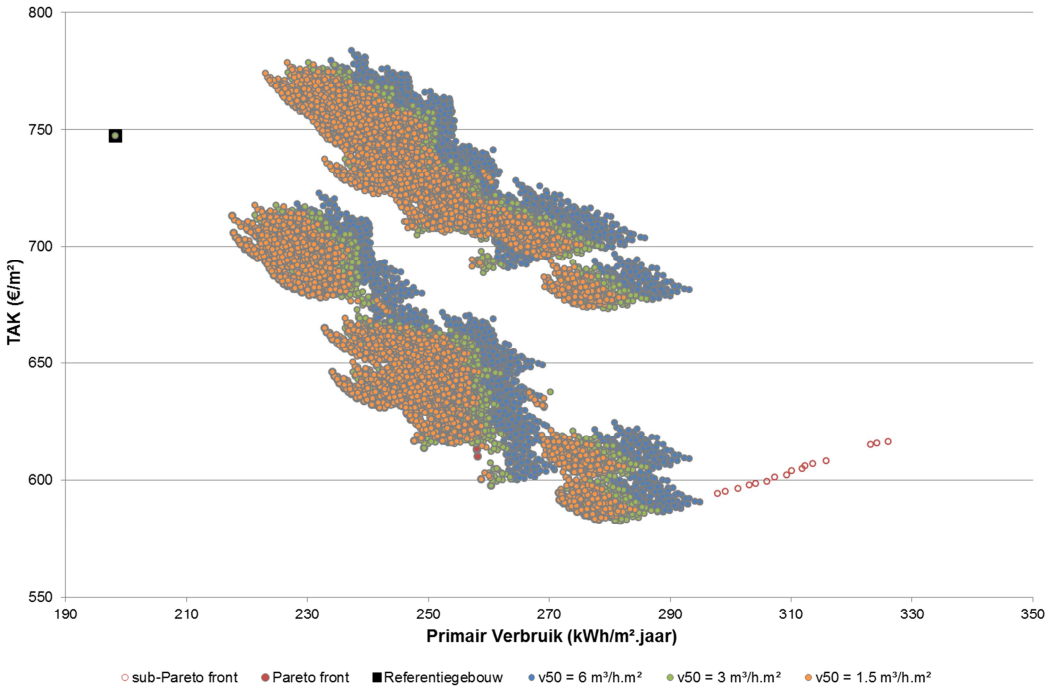
Figuur 68: Resultaten overige bouwknopenvarianten voor het nieuw kantoorgebouw

Luchtdichtheid

De resultaten bij een luchtdichtheid met de waarde bij ontstentenis (v50 = 12 m³/h.m²) blijken verre van kostenoptimaal te zijn.

Daar staat tegenover dat de beperkte meerkost van extra inspanningen naar luchtdichtheid duidelijk lonen (Figuur 69). Een minimale luchtdichtheid van 3 m³/h.m² is bij een standaard nieuw kantoorgebouw makkelijk haalbaar en zou als streefdoel moeten gelden. Deze variant heeft immers een lagere totale actuele kost dan de luchtdichtheidsvariant van 6 m³/h.m²[39]. Bij het referentie nieuw kantoorgebouw is het zelfs hoofdzakelijk de variant met 1.5 m³/h.m² die als meest optimale keuze geldt.

[39] Uit praktisch-visuele motieven werd de luchtdichtheidvariant van 6 m³/h.m² uit alle toekomstige oplossingenvisualisaties verwijderd.

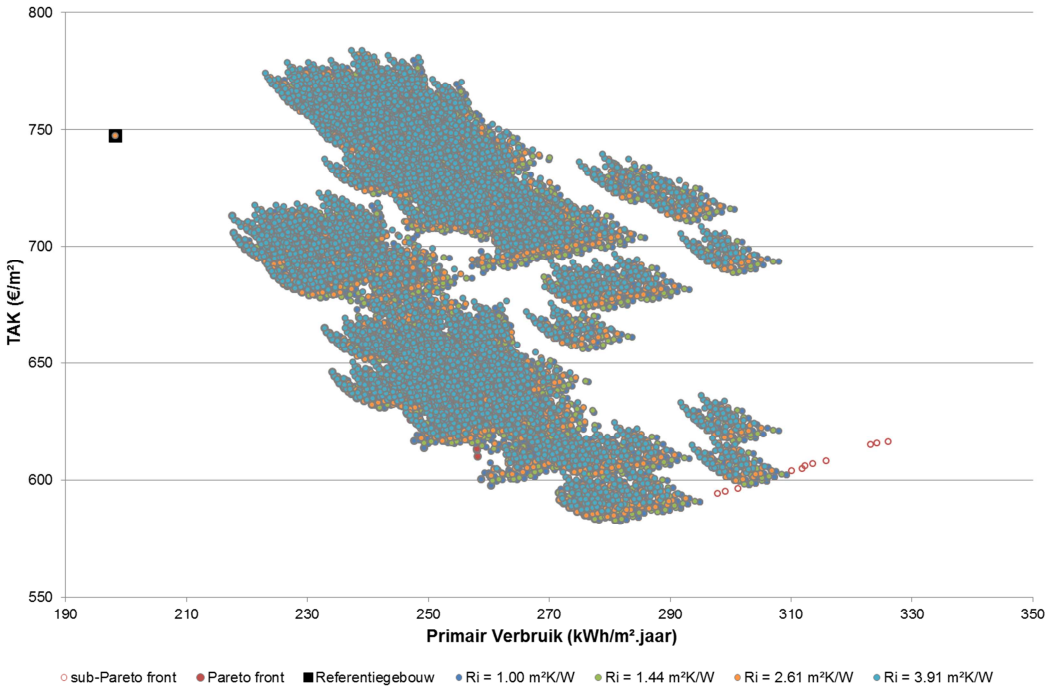


Figuur 69: Resultaten luchtdichtheidsvarianten voor het nieuw kantoorgebouw

Vloerisolatie

Figuur 70 toont de resultaten voor de verschillende vloerisolatievarianten. Zoals uit de figuur valt af te leiden liggen de resultaten voor de verschillende varianten betrekkelijk dicht op elkaar. Bestuderen we het Pareto front echter in detail, dan zien we dat het isolatiepakket waarmee aan de huidige eis wordt voldaan (Ri = 1.00 m²K/W, resulterend in een maximale U-waarde van 0.35 W/m²K mits de gedetailleerde rekenmethode gebruikt wordt) amper op het Pareto front voorkomt. Doorgaans kan al aan de norm anno 2014 worden voldaan (Ri = 1.44 m²K/W, resulterend in een maximale U-waarde van 0.30 W/m²K mits de gedetailleerde rekenmethode gebruikt wordt) voor een totale kost die net onder of boven die van huidige eis ligt. Het front zelf wordt hoofdzakelijk ingenomen door de nog ambitieuzere varianten[40]. Essentieel bij dit alles is dat hier steeds werd uitgegaan van de gedetailleerde rekenmethode voor het bepalen van de transmissieverliezen via de grond.

[40] Wat op zich ook een argument is voor een versnelde verstrenging van de eisen.



Figuur 70: Resultaten vloerisolatievarianten voor het nieuw kantoorgebouw

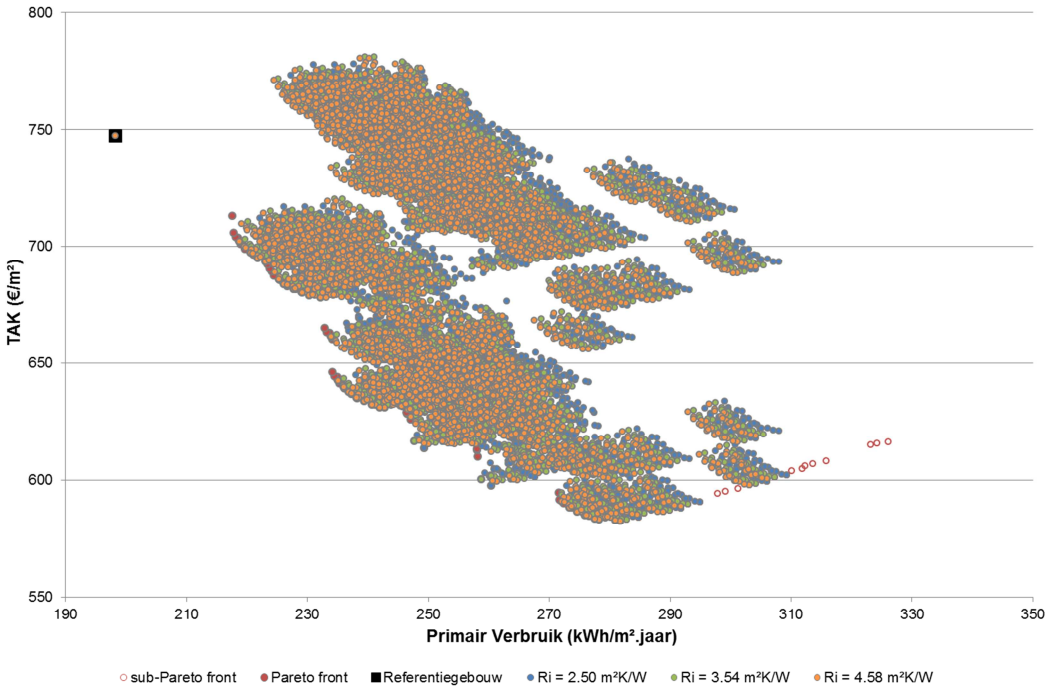
Gevelisolatie

Figuur 71 toont de resultaten voor de gevelisolatievarianten met:

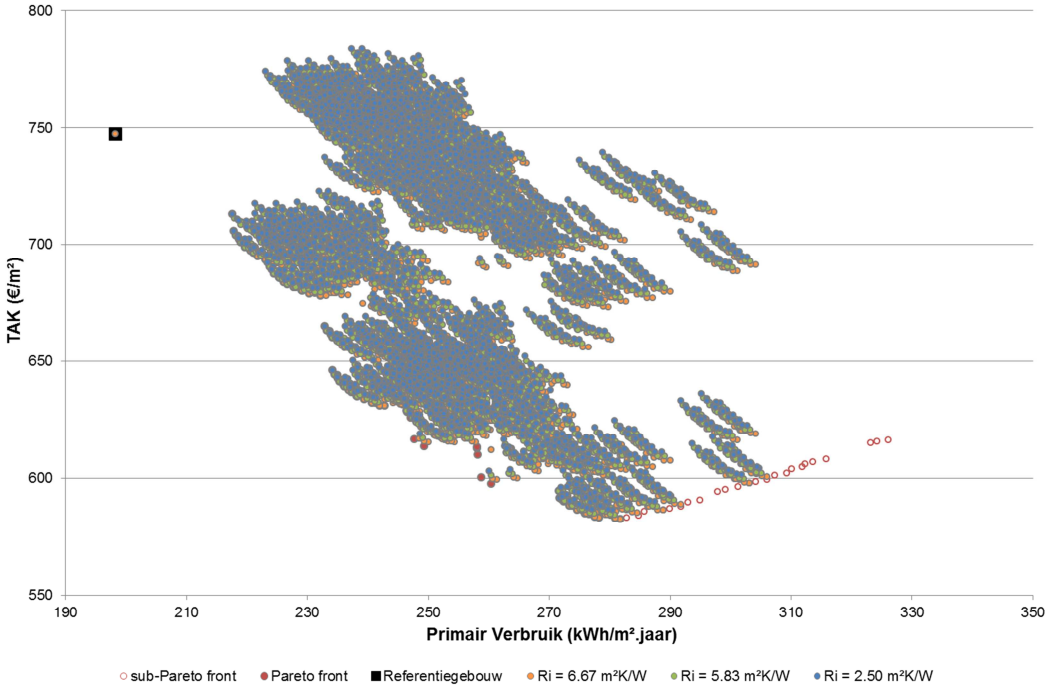
- een Ri-waarde = 2.50 m²K/W (wat overeenkomt met een U-waarde van 0.32 W/m²K, tevens de huidige maximale U-waarde eis);
- een Ri-waarde = 3.54 m²K/W (wat overeenkomt met een U-waarde van 0.24 W/m²K, tevens de maximale U-waarde eis anno 2014);
- een Ri-waarde = 4.58 m²K/W (wat overeenkomt met een U-waarde van 0.19 W/m²K).

Uit de figuur kunnen we afleiden dat de totale actuele kost in feite daalt met deze stapsgewijze stijging in Ri-waarde. Bekijken we gevelisolatie als maatregel op zich, dan ligt het kostenoptimum niet bij de huidige eis (of de eis anno 2014) maar bij een U-waarde van rond de 0.19 W/m²K. Dit kostenoptimum vormt dan het omslagpunt waarna bijkomende isolatie weliswaar resulteert in een lager primair energieverbruik, maar voor een totale actuele kost die hoger ligt dan het kostenoptimum (Figuur 72).

Bestuderen we het Pareto front meer in detail, dan zien we dat dit vnl. ingenomen wordt door de kostenoptimale variant en de eerstvolgende volgende variant (Ri = 5.83 m²K/W).



Figuur 71: Resultaten met gevelisolatievarianten met dalende totale actuele kost voor het nieuw kantoorgebouw

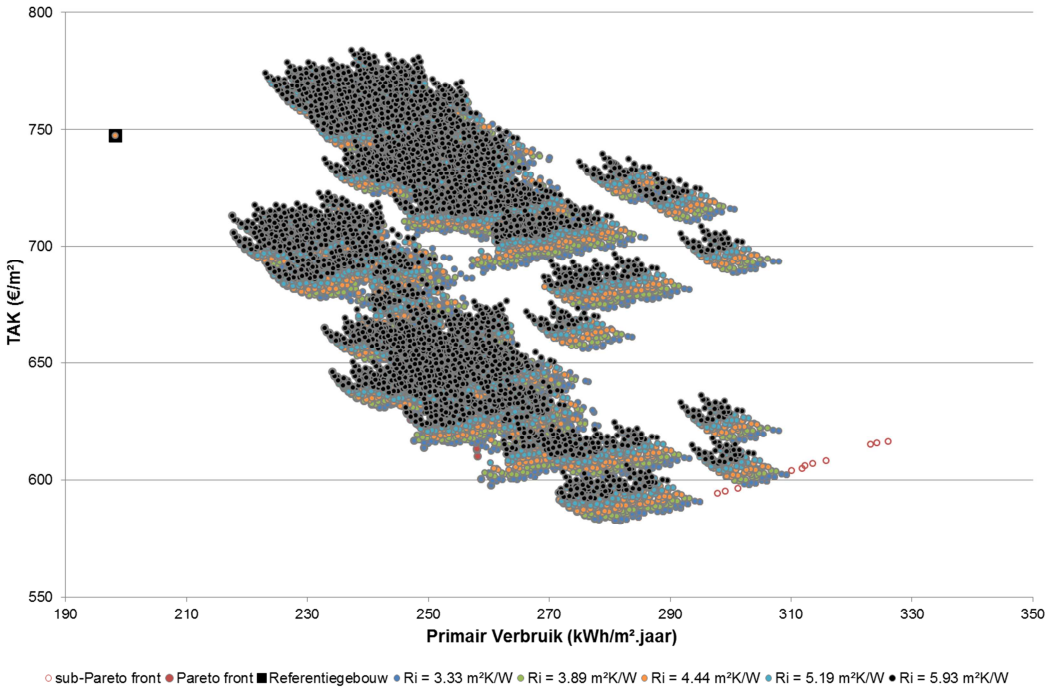


Figuur 72: Resultaten overige gevelisolatievarianten voor het nieuw kantoorgebouw

Dakisolatie

Uit Figuur 73 blijkt dat de situatie bij dakisolatie enigszins afwijkt van deze bij gevelisolatie. De kostenoptimale variant is hier de variant met R-waarde = 3.33 m²K/W wat overeenkomt met de huidige eis (U-waarde = 0.27 W/m²K). Dit kan worden verklaard door de huidige strengere eis bij dakisolatie in vergelijking met de eis voor gevelisolatie.

Daar staat tegenover dat bij een stapsgewijze verbetering van het dakisolatieniveau de stijging in totale actuele kost relatief beperkt is t.o.v. de extra primaire energiebesparing. Op het Pareto front vinden we opvallend genoeg alle verschillende varianten terug. De keuze voor een bepaalde dakisolatievariant dient m.a.w. steeds te worden bekeken in het totale maatregelenpakket. Een algemene regel is hier moeilijk af te leiden.



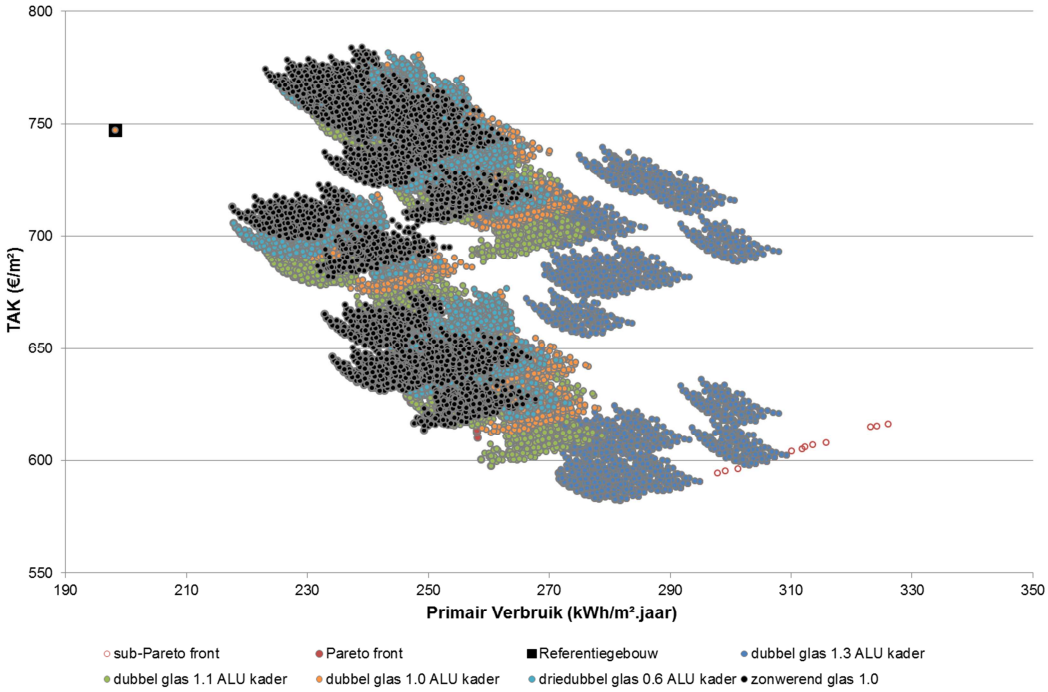
Figuur 73: Resultaten met dakisolatievarianten voor het nieuw kantoorgebouw

Ramen

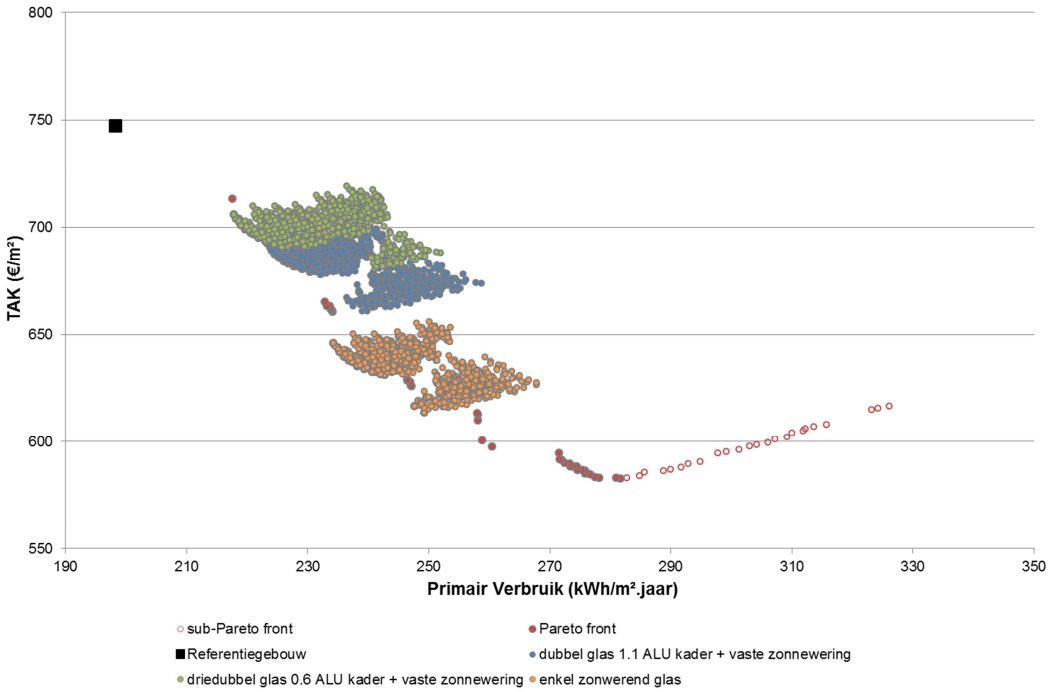
Figuur 74 toont de verschillende raamvarianten voor het nieuw kantoorgebouw. Uit deze resultaten kunnen we het volgende besluiten:

- De variant met dubbel glas met U_g-waarde = 1.3 W/m²K is dankzij zijn relatief lage investeringskost t.o.v. de andere varianten ook terug te vinden op het Pareto front en de meest kostenoptimale oplossing. Vanuit het objectief van primaire energiebesparing is deze variant echter weinig interessant en wordt hij snel verdrongen door de overige varianten.

- De betere prestaties van dubbel glas met U_g-waarde = 1.0 W/m²K kan de hogere investeringskost t.o.v. dubbel glas met U_g-waarde 1.1 W/m²K niet noodzakelijk compenseren. Deze variant ligt voor ons referentiegebouw nergens op het Pareto front.
- Ondanks de hogere investeringskost van zonwerend glas t.o.v. drievoudig glas en een hogere U_g-waarde (1.0 W/m²K t.o.v. 0.6 W/m²K) resulteert zonwerend glas in een grotere primaire energiebesparing voor quasi dezelfde totale actuele kost. Dit is het gevolg van de lagere koellasten die volgen uit de lagere g-waarde bij zonwerend glas (0.38 t.o.v. 0.5). Het beperken van de zonnewinsten is voor ons kantoorgebouw m.a.w. belangrijker dan het verminderen van de transmissieverliezen.
- In combinatie met (vaste) zonnewering duwt het dubbel glas met U_g-waarde = 1.1 W/m²K en/of het drievoudig glas met U_g-waarde = 0.6 W/m²K het zonwerend glas van het Pareto front als dominante maatregel. Deze combinaties resulteren in een maximale primaire energiebesparing waarbij de totale actuele kost echter een stuk hoger ligt dan het kostenoptimum (Figuur 75).



Figuur 74: Resultaten raamvarianten voor het nieuw kantoorgebouw



Figuur 75: Resultaten dubbel glas 1.1 en drievoudig glas 0.6 in combinatie met vaste zonnewering vs. zonwerend glas

Zonnewering

Naarmate de isolatiegraad van het gerenoveerde gebouw toeneemt, worden de koellasten belangrijker dan de warmteverliezen en stijgt ook het belang van een afdoende zonnewering. Dit verklaart deels waarom de meeste zonneweringvarianten pas vanaf een bepaalde primaire energiebesparing (het gevolg van bepaalde gebouwschilmaatregelen) op het Pareto front komen te liggen. Voor de verschillende zonneweringvarianten gelden dezelfde besluiten en opmerkingen als bij het bestaand kantoorgebouw (hoofdstuk 7.2.2).

K-peil bouwfysische maatregelenpakketten

Figuur 76 toont het resulterend K-peil en E-peil voor de verschillende bouwfysische maatregelenpakketten op het (sub-)Pareto front. Zoals hierboven aangegeven (zie 7.4.2) worden de bouwfysische maatregelen telkens gecombineerd met dezelfde (weinig performante) installatietechnische uitrusting waarbij bewust afgeweken wordt van het installatietechnische pakket voor het E70 referentiegebouw.

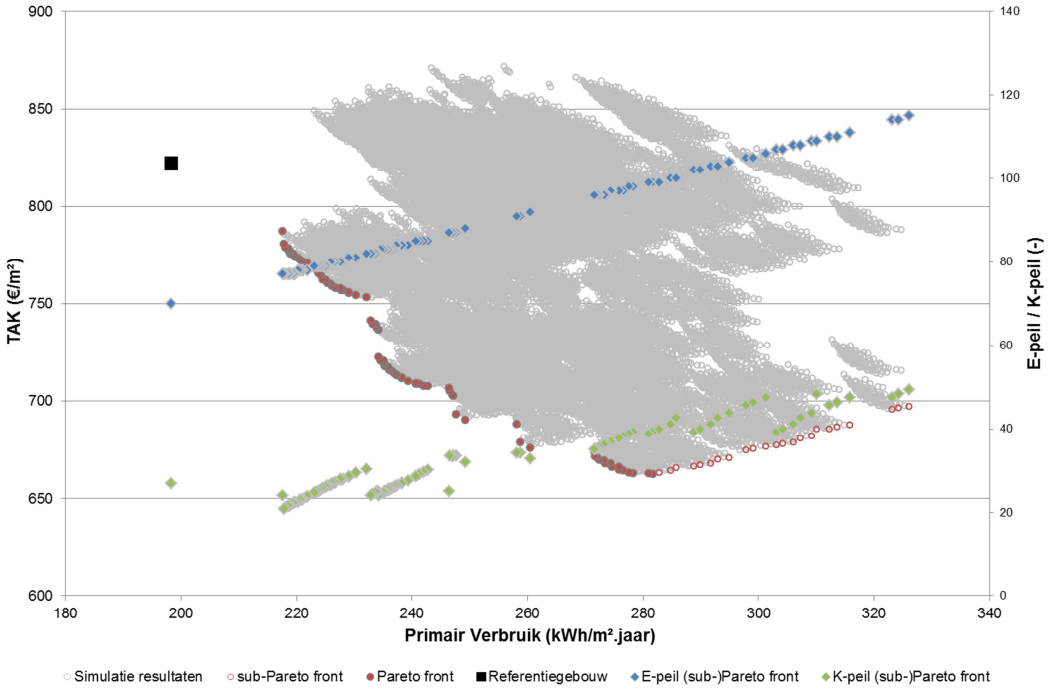
Hieruit blijkt dat met de beschouwde bouwfysische maatregelen(pakketten) voor dit referentiegebouw een K-peil van rond de 20 kan worden bereikt. Het kostenoptimum ligt bij een K-peil van 39, wat ongeveer overeen komt met de huidig geldende eis voor nieuwbouw.

Bovenstaande geldt voor de Pareto analyse met de objectieven primair verbruik en totale actuele kost. Als we nu een Pareto analyse maken met de objectieven K-peil en totale actuele kost (zie Figuur 77), dan komen soms andere maatregelenpakketten op het Pareto front te liggen.

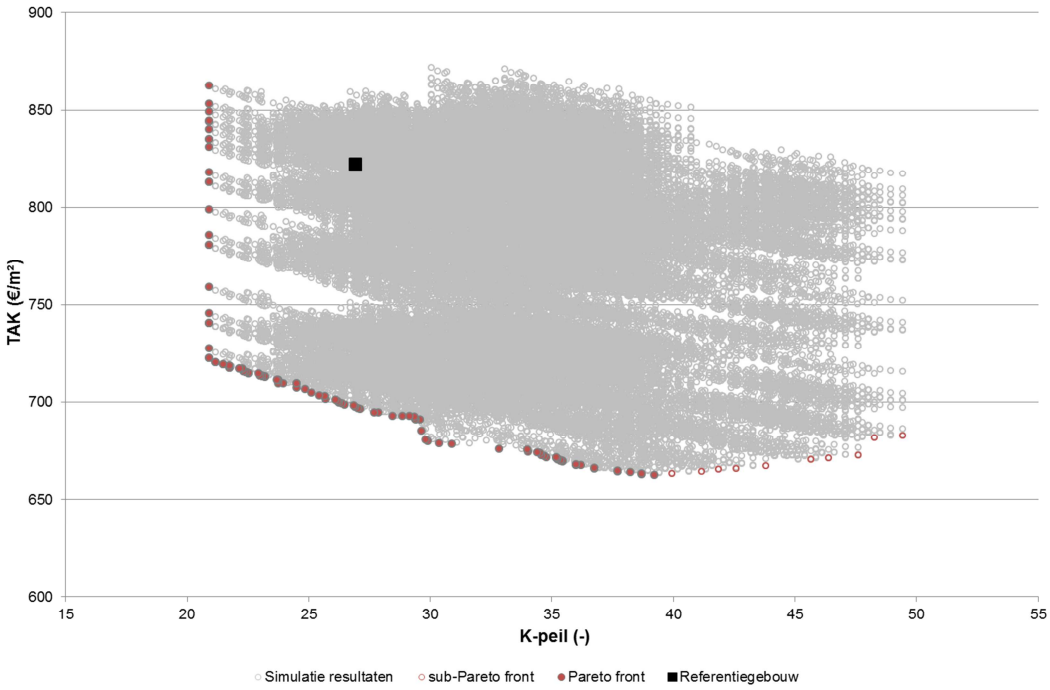
Hieruit kunnen we afleiden dat een lager K-peil niet noodzakelijkerwijs een lager primair energieverbruik betekent (en omgekeerd). De relatie tussen K-peil en primair verbruik is m.a.w. geen 1 op 1 relatie.

Zoals verwacht daalt het E-peil gestaag bij een lager primair verbruik. Hier is er wel een 1 op 1 relatie tussen beide parameters.

Een vergelijking naar totale actuele kost van de resultaten op het (sub-)Pareto front met het referentiegebouw gaat niet op aangezien het referentiegebouw uitgerust is met een veel performanter (en dus duurdere) installatietechnische uitrusting als die toegepast voor de doorrekening van de verschillende installatietechnische maatregelen(pakketten).



Figuur 76: Resultaten Pareto analyse voor de bouwfysische maatregelenpakketten voor het nieuw kantoorgebouw voor de objectieven primair verbruik (linkse y-as) en totale actuele kost met weergave van K- en E-peil (rechtse y-as)



Figuur 77: Resultaten Pareto analyse voor de objectieven K-peil en totale actuele kost voor de bouwfysische maatregelenpakketten voor het nieuw kantoorgebouw

7.4.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten

Voor de selectie van de bouwfysische maatregelencombinaties die we willen combineren met de installatietechnische maatregelen beschouwen we enkel die maatregelen die op het Pareto front zelf liggen (zie Figuur 66). De geselecteerde bouwfysische maatregelencombinaties worden opgelijst in Tabel 27.

De standaard maatregelvarianten zijn:

- VL1: vloerisolatie Ri = 1.00 m²K/W → U_{vloer} = 0.35 W/m²K
- M1: muurisolatie Ri = 2.50 m²K/W → U_{muur} = 0.32 W/m²K
- D1: dakisolatie Ri = 3.33 m²K/W → U_{dak} = 0.27 W/m²K
- R1: dubbel glas 1.3 ALU kader
- Z1: geen zonnewering
- B1: bouwknopen rekenmethode C
- LD1: luchtdichtheid waarde bij ontstentenis (12 m³/h.m²)

Tabel 27: Selectie bouwfysische maatregelenpakketten nieuw kantoorgebouw

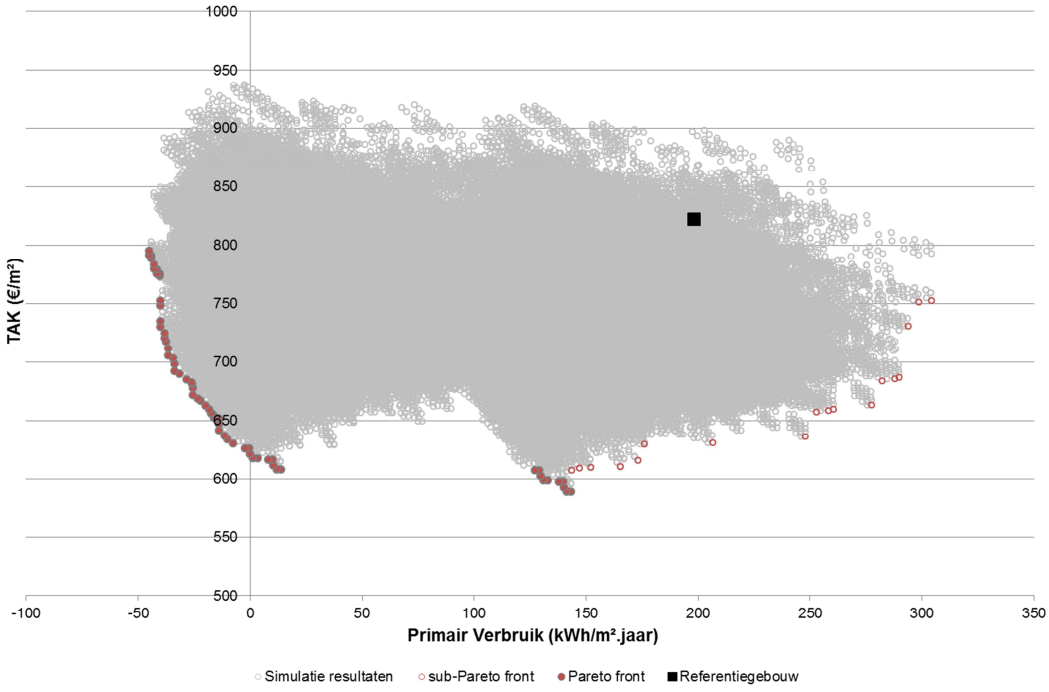
Code	Maatregelenpakket
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3	• gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K • B + alle bouwknopen conform

	• v50 = 3 m³/h.m²
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.23 W/m²K • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.18 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.18 W/m²K
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3	• dubbel glas 1.1 ALU kader • B + alle bouwknopen conform • v50 = 3 m³/h.m²
VL1 M1 D1 R5 Z1 B4 LD3	idem voorgaande maar • zonwerend glas 1.0
VL3 M3 D3 R5 Z1 B2 LD4	• vloerisolatie U_{vloer} = 0.18 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.21 W/m²K • zonwerend glas 1.0 • B + aantal bouwknopen niet EPB conform • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL2 M3 D1 R5 Z1 B4 LD4	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.23 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.27 W/m²K • B + alle bouwknopen conform • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL2 M3 D2 R5 Z1 B4 LD4	idem voorgaande maar • dakisolatie: U_{dak} = 0.24 W/m²K
VL3 M4 D3 R5 Z1 B4 LD4	• vloerisolatie U_{vloer} = 0.18 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.21 W/m²K • zonwerend glas 1.0 • B + alle bouwknopen conform • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL4 M5 D5 R5 Z1 B4 LD4	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.14 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.14 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.16 W/m²K
VL4 M4 D5 R5 Z2 B4 LD4	idem voorgaande maar • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K • binnenzonnewering - manuele bediening - geen sturing
VL3 M4 D3 R2 Z6 B4 LD4	• vloerisolatie U_{vloer} = 0.18 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.21 W/m²K • dubbel glas 1.1 ALU kader

	• vaste zonnewering • B + alle bouwknopen conform • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL2 M3 D3 R4 Z6 B4 LD4	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.23 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K • driedubbel glas 0.6 ALU kader
VL3 M3 D4 R4 Z6 B4 LD4	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.18 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.18 W/m²K
VL4 M4 D4 R4 Z6 B4 LD4	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.14 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K

7.4.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten

Figuur 78 toont de resultaten en het Pareto front voor de combinatie van de geselecteerde bouwfysische maatregelenpakketten en de installatietechnische maatregelenpakketten. In totaal betreft het ruim 143,000 gecombineerde maatregelenpakketten.



Figuur 78: Resultaten gecombineerde maatregelenpakketten voor het nieuw kantoorgebouw

Omwille van praktische redenen wordt in het vervolg van dit hoofdstuk de resultaten voor specifieke maatregelen(combinaties) weergegeven t.o.v. het Pareto front, zonder alle overige resultaatwaarden weer te geven.

Verwarming- en koelsysteem

In totaal worden voor het bestaand kantoorgebouw 63 unieke systemen voor verwarming en koeling in beschouwing genomen. Hierbij wordt gevarieerd op vlak van:

- het type opwekkingstechnologie voor verwarming en koeling;
- de aanwezigheid van een (back-up) installatie voor verwarming en/of koeling;
- de performantie van de opwekkingsinstallatie(s) (η, COP, EER);
- het type emissiesysteem voor warmte en koude.

Zonder hierbij alle grafieken af te beelden, werden volgende maatregelenpakketten voor verwarming en koeling niet langer weerhouden wegens weinig interessant:

- de lucht-water warmtepomp, COP = 3.1 en 3.8, in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0, met en zonder back-up gascondensatieketel;
- de WKK met gascondensatieketel, in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0;
- de pelletketel in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0, met en zonder back-up gascondensatieketel;
- koppeling aan een warmtenet[41], in combinatie met een compressiekoelmachine EER = 3.0.

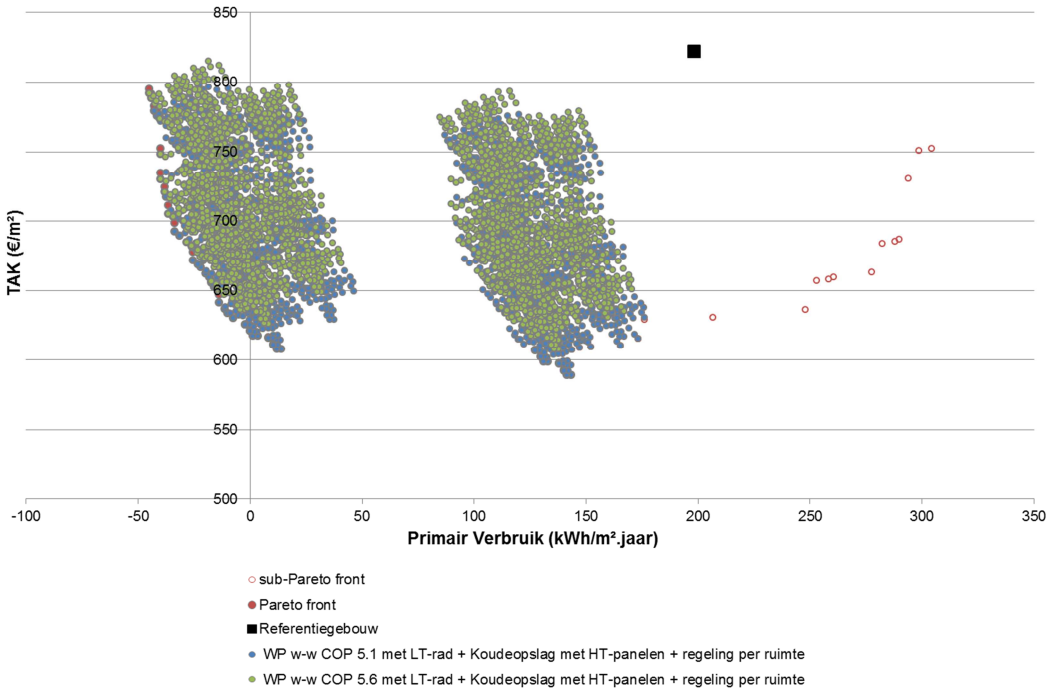
Analyseren we het Pareto front, dan vinden we hierop slechts een beperkt aantal systemen voor verwarming en koeling terug, zijnde (zie Figuur 79 en Figuur 80):

- de warmtepomp water-water COP 5.1 met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds [42] + regeling per ruimte (tevens het systeem voor verwarming en koeling bij het kostenoptimum);
- de warmtepomp water-water COP 5.1 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte;
- de warmtepomp water-water COP 5.6met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
- de warmtepomp water-water COP 5.6 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte;

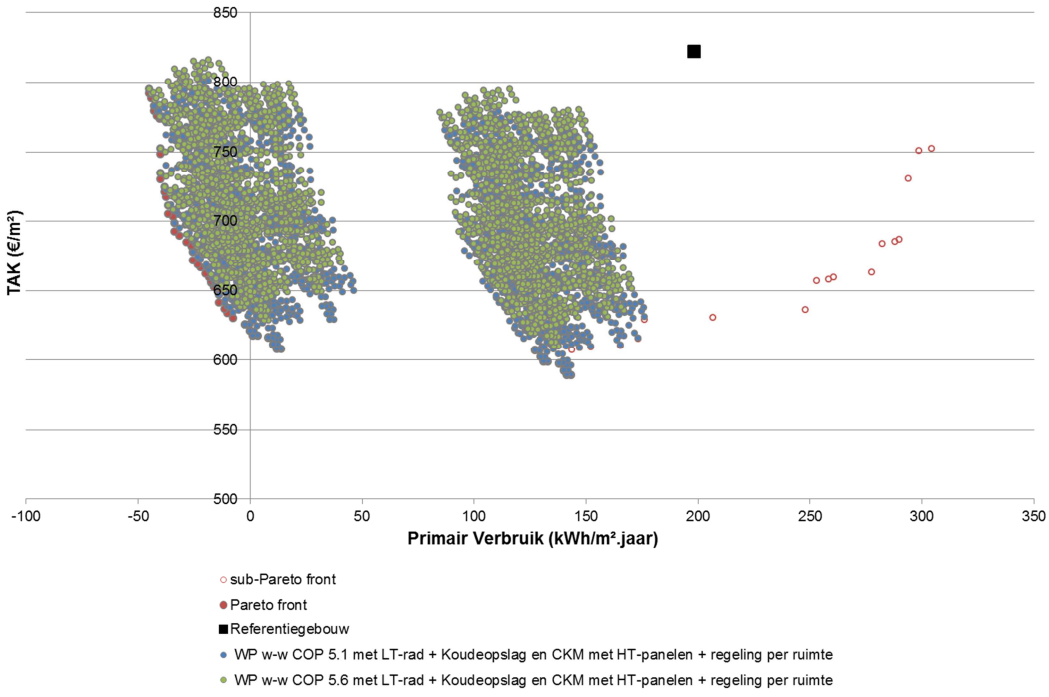
Op het sub-Pareto front (dus voor een primair energieverbruik groter dan het kostenoptimum) vinden we voornamelijk een combinatie van 'standaard' systemen voor verwarming en koeling terug, zijnde de gascondensatieketel in combinatie met een compressiekoelmachine.

[41] Hierbij werd uitgegaan van het NMDA (Niet Meer Dan Anders) principe met als gevolg dat de kosten parallel lopen met een standaard vernieuwing van het systeem voor verwarming en koeling (zijnde een gascondensatieketel en een compressiekoelmachine)

[42] Koelplafonds worden aangeduid als “HT-panelen” in de verschillende grafieken.



Figuur 79: Resultaten varianten water-water warmtepomp met koudeopslag op het Pareto front voor het nieuw kantoorgebouw



Figuur 80: Resultaten varianten water-water warmtepomp met koudeopslag en compressiekoelmachine op het Pareto front voor het nieuw kantoorgebouw

Uit een gedetailleerde analyse kunnen we het volgend besluiten:

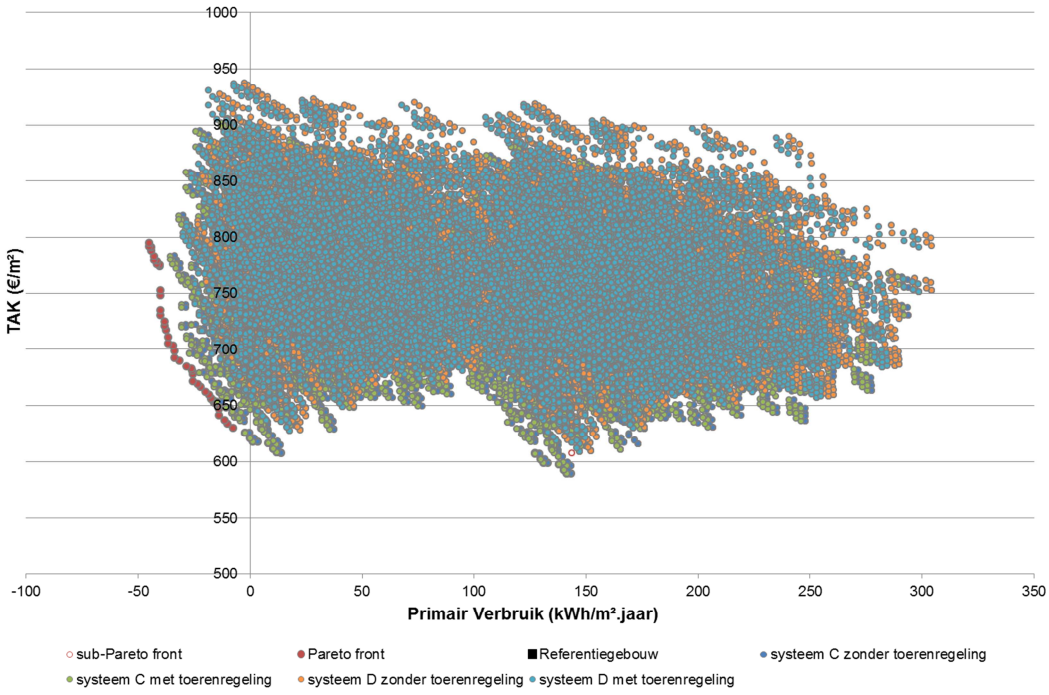
- Lage temperatuur radiatoren komen doorgaans als meest kostenoptimale optie voor warmte-emissie naar voor. Het verschil met vloerverwarming en verwarming via ventilatielucht is vooral groot bij een standaard warmte-opwekkingsinstallatie (cfr. de gascondensatieketel). Bij opwekkingstechnologieën die beter geschikt zijn voor een lager temperatuurregime (zoals de warmtepompen op het Pareto front) is het verschil tussen lage temperatuur radiatoren en vloerverwarming veel kleiner tot minimaal. Dit geldt des te meer naarmate het gebouw een meer performante gebouwschil (en dus lager benodigd verwarmingsvermogen) heeft.
- Gebruik van een back-up gascondensatieketel laat doorgaans toe een kleiner warmtepomp vermogen te plaatsen, waardoor de totale investeringskosten lager uitkomen. Dit is echter niet van toepassing voor o.a. het kostenoptimum waar omwille van de koudevraag een bepaald warmtepompvermogen noodzakelijk is.

Ventilatie

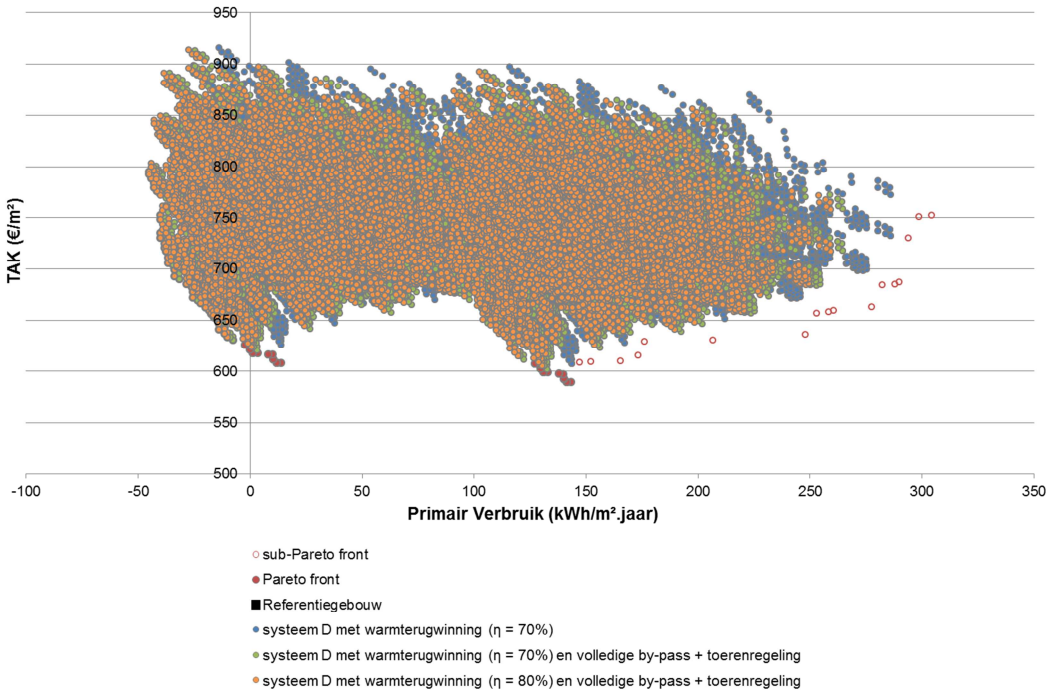
Uit de resultaten kunnen we het volgende besluiten:

- Toepassing van toerenregeling dient zeker de voorkeur te krijgen. Het is een maatregel die resulteert in een primaire energiebesparing quasi dezelfde totale actuele kost.
- Een ventilatiesysteem C scoort naar kostenoptimaliteit - als gevolg van de lagere investeringskosten én met dank aan het lager hulpenergieverbruik - niet noodzakelijk slechter dan een systeem D, wel integendeel. Om met een systeem D naar kostenoptimaliteit beter te scoren dan een systeem C is warmteterugwinning in combinatie met toerenregeling en/of by-pass noodzakelijk.
- De combinatie van toerenregeling en volledige by-pass resulteert in een significante primaire energie besparing en bijgevolg ook in een daling van de totale actuele kost t.o.v. de varianten zonder deze optimalisatie combinatie. Los van het rendement op de warmteterugwinning is de combinatie van beide dus zeker aan te raden.
- Een warmteterugwinning met een 80% rendement (niet weergegeven in de figuren) resulteert uiteraard in een primaire energie besparing in vgl. met de equivalente oplossing met een warmteterugwinning met een 70% rendement, zij het voor een (weliswaar beperkte) hogere totale actuele kost. Daardoor komen deze oplossingen ook op het Pareto front te liggen.

We kunnen concluderen dat toerenregeling en by-pass (bij warmteterugwinning) uitdrukkelijk aan te raden zijn bij ventilatie.



Figuur 81: Resultaten ventilatiesysteem C en systeem D zonder warmteterugwinning voor het nieuw kantoorgebouw



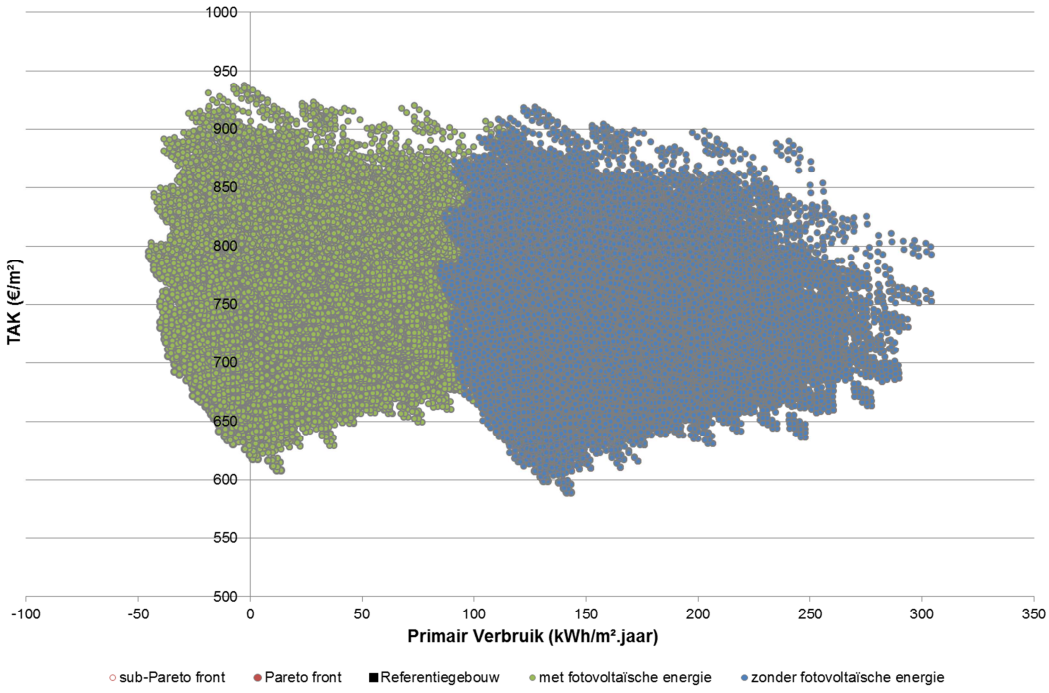
Figuur 82: Overige ventilatievarianten op het Pareto front voor het nieuw kantoorgebouw [43]

Verlichting

Voor de verschillende verlichtingsvarianten gelden dezelfde besluiten als bij het bestaand kantoorgebouw (zie hoofdstuk 7.2.4 - Verlichting).

Fotovoltaïsche energie (PV)

Zoals Figuur 83 aantoont, blijkt het plaatsen van een fotovoltaïsche installatie nog steeds één van de meest interessante maatregelen om het primair energieverbruik drastisch te verlagen en dit voor een totale actuele kost die nauwelijks toeneemt t.o.v. de referentiesituatie zonder PV. Belangrijk hierbij op te merken is dat de potentiële primaire energiebesparing bij toepassing van fotovoltaïsche energie stabiel blijft, ook bij doorgedreven renovatie richting een laag-energie gebouw. Dit is een belangrijk verschil met de meeste andere maatregelen (zowel bouwfysisch als installatietechnisch) waarvan het energiebesparingspotentieel daalt naarmate andere maatregelen al werden toegepast. Dit omdat fotovoltaïsche energie als quasi enige maatregel niet inspeelt op de warmte- en/of koudevraag van het gebouw.



[43] Voor het systeem D met warmtewiel (rendement 80%) gebeurt de “volledige by-pass” zoals aangegeven in de legende bij de grafiek d.m.v. het stilzetten van het warmtewiel. Dit veronderstelt m.a.w. geen extra investering.

Figuur 83: Resultaten met en zonder (referentie) fotovoltaïsche energie voor het nieuw kantoorgebouw

7.4.5 Conclusie nieuw kantoorgebouw

Conclusies gebouwschil

Bij nieuwbouw zijn de kostenoptimale varianten niet noodzakelijk deze die dominant op het Pareto front liggen. Er zijn m.a.w. energetisch interessantere varianten tegen een beperkte meerkost. Bekeken vanuit een energiebesparingsobjectief is het m.a.w. te verantwoorden om af te wijken van het kostenoptimum indien die beperkte meerkost in een significante reductie in energieverbruik resulteert. Bij de hieronder voorgestelde waarden werd rekening gehouden met deze belangrijke nuance.

Tabel 28 geeft een overzicht van het aangewezen eisenniveau voor de verschillende gebouwschildelen en vergelijkt deze met het kostenoptimum en de huidge EPB-eisen en de eisen anno 2014.

Tabel 28: Aangewezen eisenniveau bouwschildelen voor het nieuw kantoorgebouw

	Eenheid	Huidige eis (vanaf 2012)	Eis anno 2014	Kosten-optimum	Aangewezen eisenniveau
U_{gevel}	W/m²K	0.32	0.24	0.19	0.24
U_{dak}	W/m²K	0.27	0.24	0.27	0.24 [44]
U_{vloer}	W/m²K	0.35	0.30	0.23	0.30 [45]
U_{raam}	W/m²K	2.2	1.8	2.14	dubbel glas met U_{raam} = 1.43, U_{glas} = 1.1 en g-waarde = 0.63 in combinatie met zonnewering; of zonwerend glas met U_{raam} = 1.36, U_{glas} = 1.0 en g-waarde = 0.38
U_{glas}	W/m²K	1.3	1.1	1.3	
Lucht-dichtheid	m³/(h/m²)	/	/	1.5	≤ 3

Conclusies globale energieprestatie-eisen

Figuur 84 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven E-peil en totale actuele kost (€/m²) en dit voor de gecombineerde maatregelenpakketten. Figuur 85 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven primair verbruik (kWh/m².jaar) en totale actuele kost (€/m²). Voor de maatregelenpakketten op het (sub-)Pareto front wordt het corresponderend K- en E-peil afgebeeld.

Het kostenoptimum ligt bij een primair verbruik van 144 kWh/m².jaar en een corresponderend K-peil van 39 en een E-peil van 51.

---

[44] Wanneer dakisolatie als individuele maatregel wordt toegepast gaat de voorkeur duidelijk uit naar een U-waarde van 0.24 W/m²K.

[45] De U-waarde wordt berekend volgens de gedetailleerde rekenmethode. Vloerisolatie als renovatiemaatregel wordt enkel beschouwd bij totaalrenovatie.

Uit Figuur 86 blijkt duidelijk dat de toepassing van fotovoltaïsche energie het heel wat gemakkelijker maakt om een meer ambitieus E-peil te bereiken. Voor een totale actuele kost die nauwelijks boven het kostenoptimum ligt kan bij ons referentiegebouw dankzij fotovoltaïsche energie een aanzienlijke primaire energiebesparing en E-peil punten daling worden bereikt.

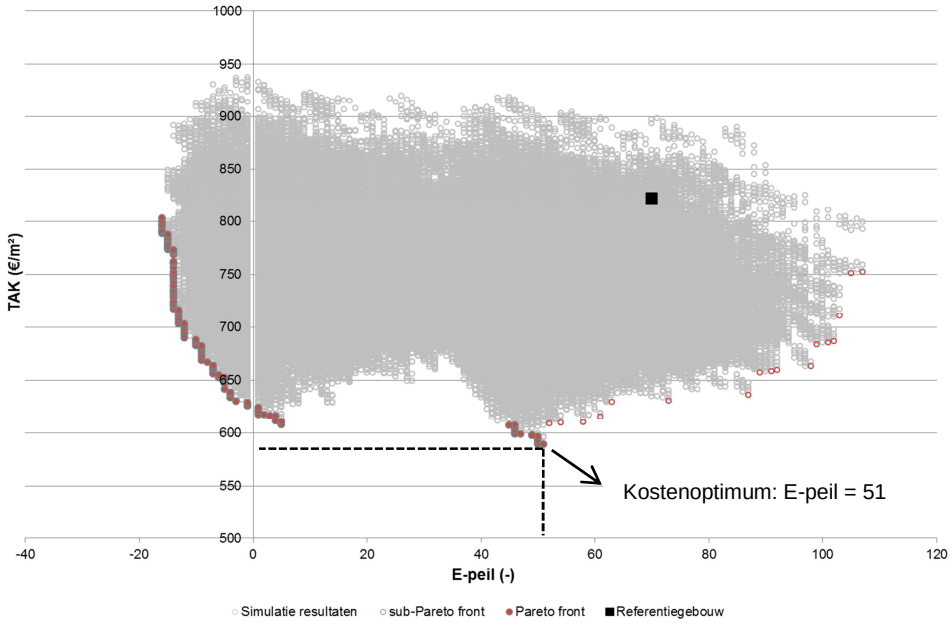
Beschouwen we enkel de situatie met fotovoltaïsche energie, dan ligt het kostenoptimum bij een E-peil van 5. Het K-peil blijft ongewijzigd (zijnde 39) want onafhankelijk van de toepassing van fotovoltaïsche energie. Analoog met de situatie zonder fotovoltaïsche energie zal voorbij het kostenoptimum de totale actuele kost exponentieel toenemen. Het E-peil kan voorbij het kostenoptimum zelfs negatief worden.

De E-peil punten daling die kan worden bereikt, is vanzelfsprekend afhankelijk van het specifiek installatiepotentieel voor fotovoltaïsche energie bij het betreffende gebouw. Het plaatsen van een fotovoltaïsche installatie is echter niet altijd mogelijk en/of aangewezen omwille van installatietechnische redenen zoals schaduw en dakbelasting.

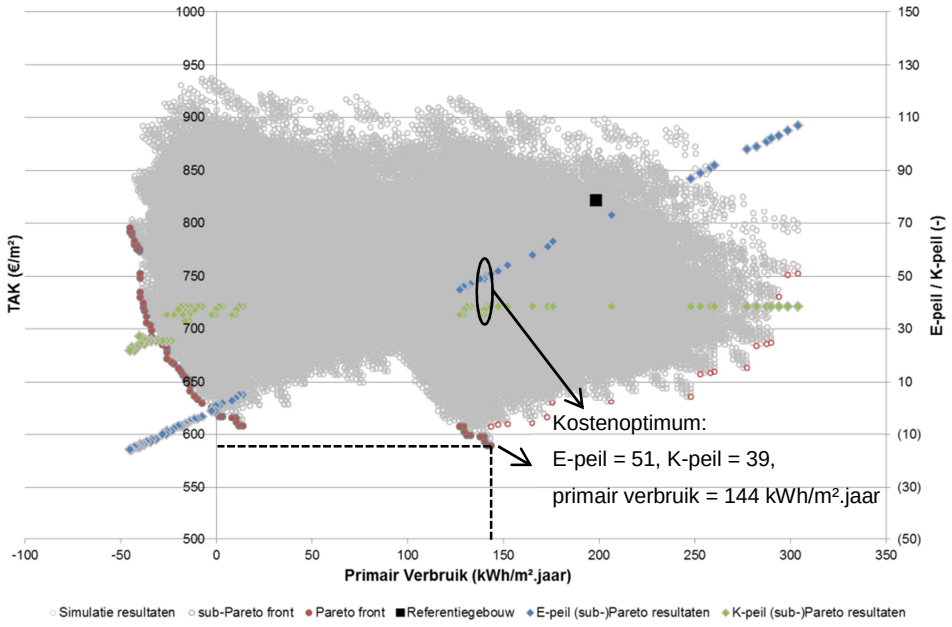
Indien de investeringskost voor fotovoltaïsche energie in de toekomst nog daalt, is het mogelijk dat het eigenlijke kostenoptimum bij een volgende berekening het 'kostenoptimum met PV' wordt zoals aangegeven Figuur 86. Aangezien er weinig maatregelen zijn die een zo grote potentiële impact hebben op het totaal primair verbruik en het E-peil, lijkt het ons echter niet aangewezen een toekomstige globale energieprestatie-eis te baseren op het kostenoptimum mét fotovoltaïsche energie.

De grote impact van fotovoltaïsche energie op het E-peil van een gebouw houdt echter een zeker risico in. Bij een niet-gedifferentieerde E-peil eis (waarbij m.a.w. geen rekening gehouden wordt met het al dan niet toepassen van fotovoltaïsche energie, zoals vandaag de dag van toepassing) kan de bouwheer kiezen voor een weinig kostenoptimaal maatregelenpakket waarna fotovoltaïsche energie toegepast wordt om aan de E-peil eis te voldoen. Op bouwfysisch vlak wordt dit risico opgevangen door de bestaande eisen voor thermische isolatie (K-peil, U- en R-waarden). Dit kan eventueel worden uitgebreid met een eis naar netto-energiebehoefte (naar analogie met residentiële gebouwen) om luchtdichtheid mee in rekening te nemen. Echter, bij gebrek aan energieprestatie-eisen voor installaties bij nieuwbouw, kan het plaatsen van fotovoltaïsche energie mogelijks gebruikt worden om goedkopere, minderwaardige installaties te plaatsen en alsnog aan de E-peil eis te voldoen.

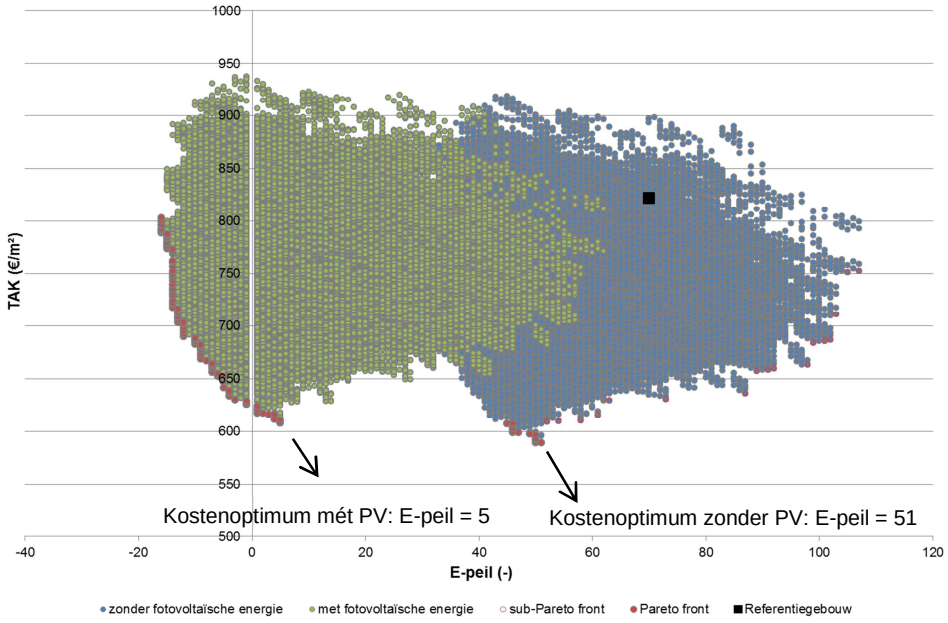
Figuur 87 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave van het netto energievraag voor verwarming en koeling. Het kostenoptimum resulteert in een netto energievraag voor verwarming van 98 kWh/m².jaar en een netto energievraag voor koeling van 68 kWh/m².jaar.



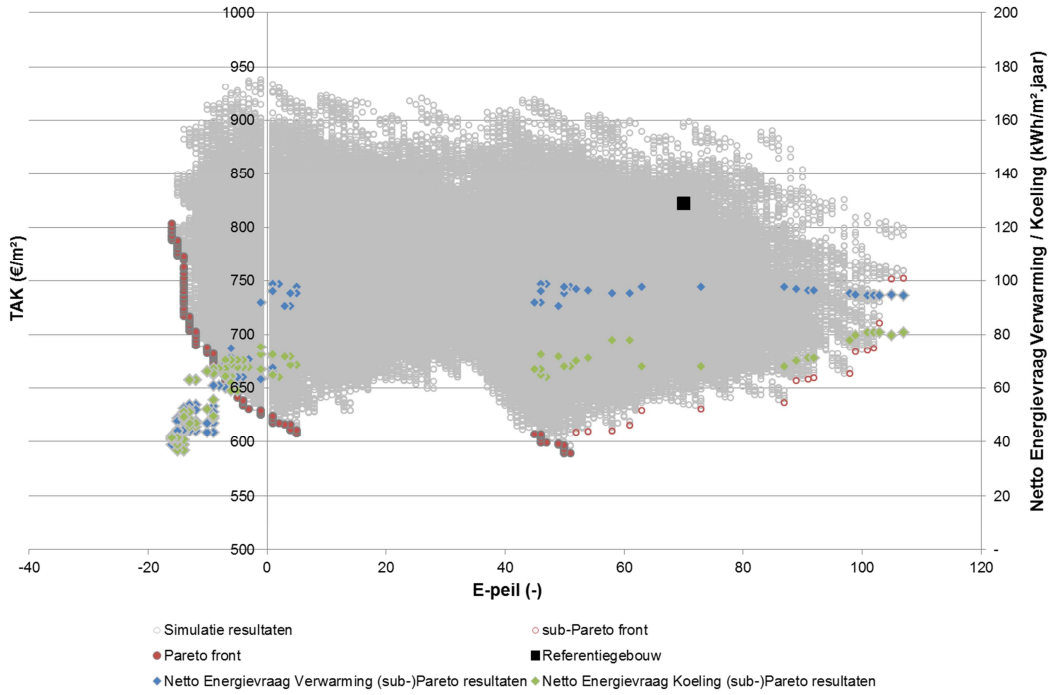
Figuur 84: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw kantoorgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost



Figuur 85: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw kantoorgebouw voor de objectieven primair energieverbruik en totale actuele kost (linkse y-as) met weergave van K- en E-peil (rechtse y-as)



Figuur 86: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw kantoorgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave onderscheid met en zonder fotovoltaïsche energie

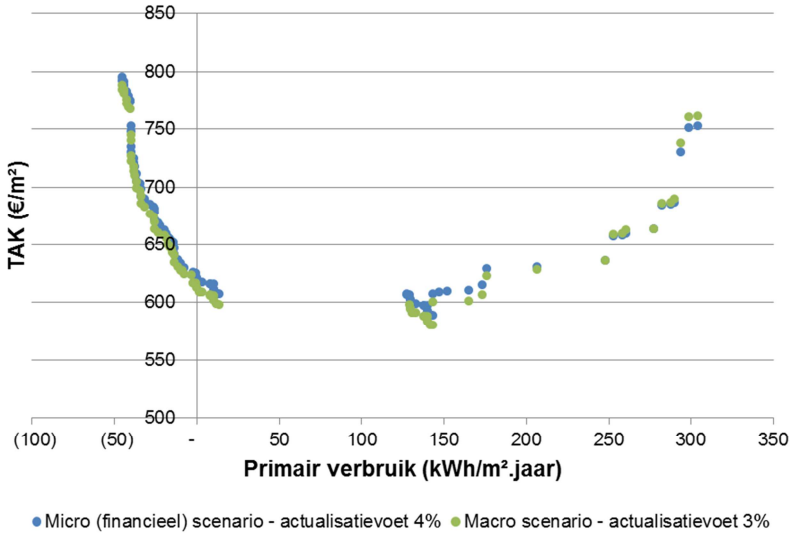


Figuur 87: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw kantoorgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave van de netto energievraag voor verwarming en koeling

7.4.6 Sensitiviteitsanalyses

Macro-economische berekening

In lijn met de eisen uit de Verordening [1] wordt ook een macro-economische berekening uitgevoerd voor een actualisatievoet van 3%. Zoals uit Figuur 88 kan worden afgeleid zijn er nauwelijks verschillen met de micro-economische berekeningen met een actualisatievoet van 4%.

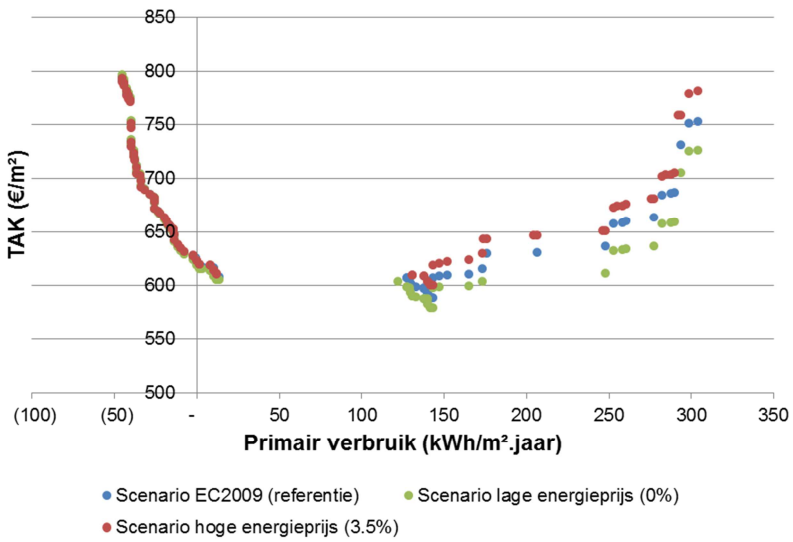


Figuur 88: (sub-)Pareto front voor het micro (financieel) scenario met actualisatievoet 4% (referentie) en het macro scenario met actualisatievoet 3% voor het nieuw kantoorgebouw

Energieprijsscenario

Figuur 89 toont de impact van een 'laag' en 'hoog' energieprijsscenario op het (sub-)Pareto front voor het nieuw kantoorgebouw. Lagere energieprijzen resulteren in een lagere totale actuele kost, zeker wanneer de vooropgestelde primaire energiebesparing eerder beperkt is. Hoe hoger het ambitieniveau en dus hoe lager het beoogde primaire energieverbruik, hoe kleiner de afstand tussen de verschillende energieprijsscenarios. De keuze voor een laag-energie gebouw zorgt er m.a.w. voor dat de gebruiker veel minder gevoelig is voor prijsfluctuaties op de energiemarkt.

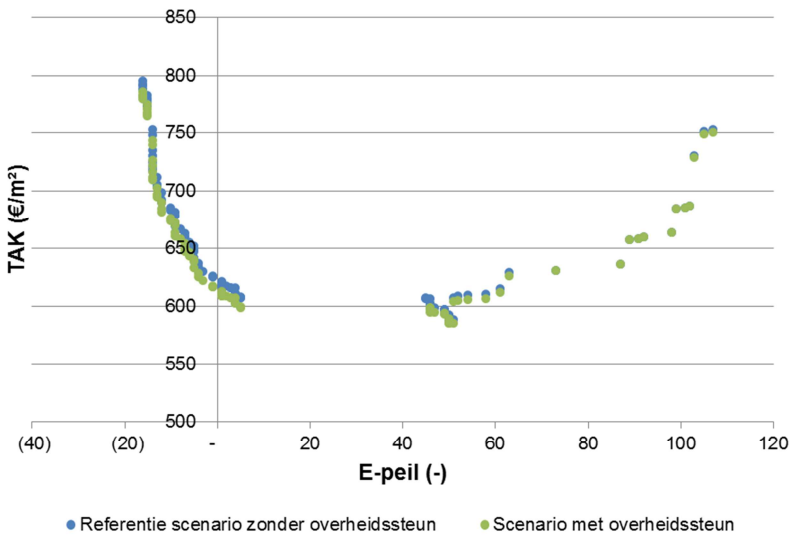
Uit een gedetailleerde analyse van de maatregelencombinaties op het front blijkt dat het doorgaans om dezelfde maatregelen gaat. Bij een lager energieprijsscenario kunnen echter ook maatregelcombinaties met een iets minder performante variant van een specifieke maatregel op het Pareto front komen te liggen.



Figuur 89: (sub-)Pareto front voor het referentie energieprijsscenario (EC2009) en een laag (0%) en hoog (3.5%) energieprijsscenario voor het nieuw kantoorgebouw

Overheidssteun

In hoofdstuk 3.11 wordt besproken welke vormen van overheidssteun van toepassing zijn voor het nieuw kantoorgebouw. Zoals we uit Figuur 90 kunnen afleiden is de impact van overheidssteun op het (sub-)Pareto front beperkt tot een verlaging van de totale actuele kost van bepaalde maatregelenpakketten. Het kostenoptimum blijft ongewijzigd, de specifieke volgorde van de maatregelenpakketten evengoed. De daling in totale actuele kost is het grootst bij maatregelenpakketten die resulteren in een laag E-peil; dit als gevolg van de resulterende korting op de onroerende voorheffing (zie hoofdstuk 3.11). Als stimulans voor het bouwen van een laag-energie gebouw heeft deze maatregel dus zeker een invloed.



Figuur 90: (sub-)Pareto front voor het scenario zonder overheidssteun (referentie) en mét overheidssteun voor het nieuw kantoorgebouw

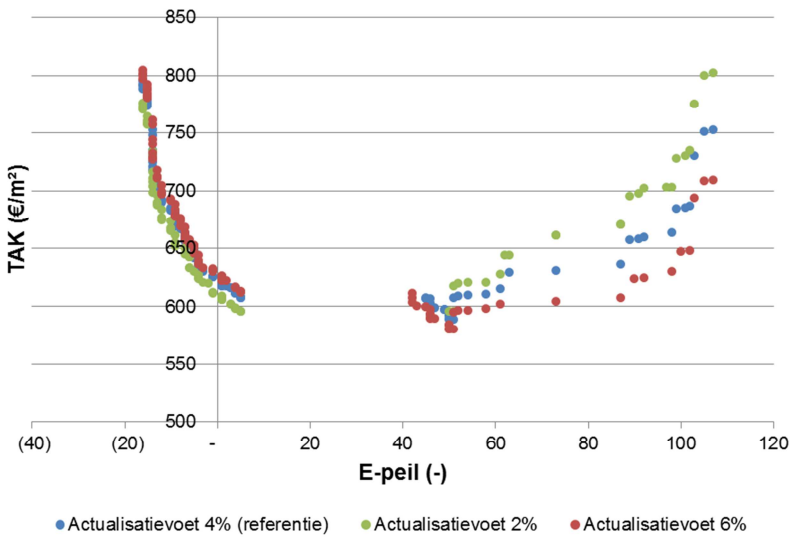
Actualisatievoet

Figuur 91 toont de impact op het (sub-)Pareto front van een lagere (2%) en hogere (6%) actualisatievoet voor de berekeningen bij het nieuw kantoorgebouw.

De actualisatievoet is een weerspiegeling van hoe de bouwheer/investeerder de toekomst inschat. Bij onzekerheid wordt meer waarde gehecht aan korte termijn inkomsten en minder aan lange termijn rendementen. Hoe groter de onzekerheid, hoe hoger de actualisatievoet. In het kader van deze studie zal een hogere actualisatievoet zich vertalen in een hoger vereist rendement op de investering, een hogere rentevoet op vreemd vermogen, etc.

We constateren een duidelijke impact op de totale actuele kost onder de vorm van een opwaartse of neerwaartse verschuiving van het front. Uit een gedetailleerde analyse van de resultaten blijkt dat het grotendeels om dezelfde maatregelenpakketten op het front gaat. Het kostenoptimum blijft echter rond de E50 liggen.

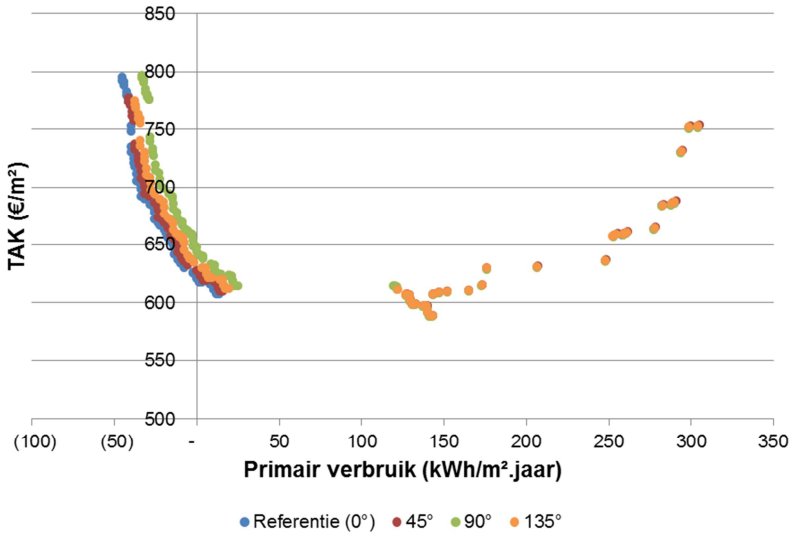
De impact van de actualisatievoet op de resultaten (en het (sub-)Pareto front) is voornamelijk afhankelijk van het jaarlijks primair energieverbruik. Bij een groter primair energieverbruik (hier > E40/E50) resulteert een hogere actualisatievoet in lagere totale actuele kosten. De impact van de actualisatievoet op de energiekosten primeert hier. Bij een laag primair energieverbruik (hier <= E5) zijn de energiekosten veel kleiner. De invloed van de actualisatievoet is hier het grootst op de investeringskosten (die ook groter zijn vanwege vnl. de fotovoltaïsche installatie).



Figuur 91: (sub-)Pareto front voor de referentie actualisatievoet (4%) en een lagere (2%) en hogere (6%) actualisatievoet voor het nieuw kantoorgebouw

Gebouworiëntatie

Figuur 92 toont de impact op het (sub-)Pareto front voor verschillende oriëntaties van het nieuw kantoorgebouw. Om de grafiek leesbaar te houden werden slechts vier oriëntaties afgebeeld. Deze sensitiviteitsanalyse werd echter uitgevoerd op de gecombineerde maatregelenpakketten voor in totaal acht oriëntaties: 0° (de referentie), 45°, 90°, 135°, 180°, -135°, -90°, -45°. In tegenstelling tot het bestaand kantoorgebouw resulteert een andere oriëntatie bij het nieuw kantoorgebouw slechts in een licht afwijkend Pareto front. . Het kostenoptimum (en het E-peil van 51 die hiermee overeen komt) blijft ongewijzigd.



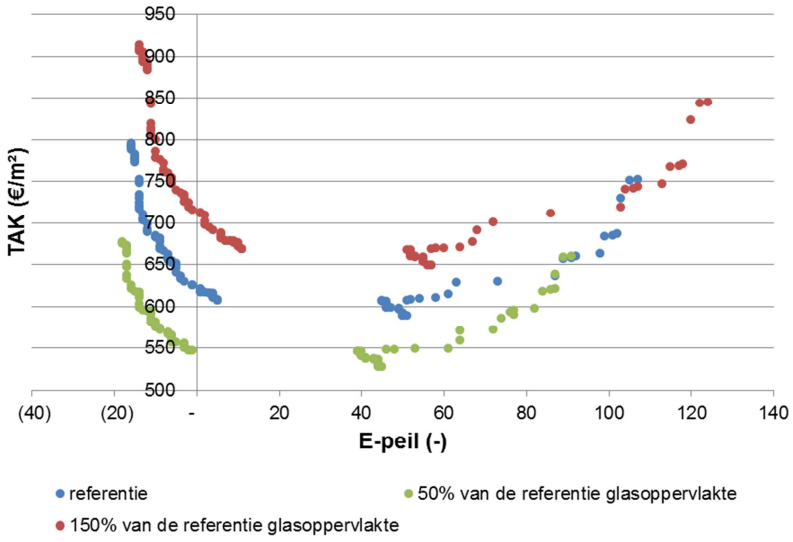
Figuur 92: (sub-)Pareto front voor verschillende oriëntaties van het nieuw kantoorgebouw

Glasoppervlakte gevel

Figuur 93 toont de impact op het (sub-)Pareto front van een kleiner en groter ratio glasoppervlak/geveloppervlak voor het nieuw kantoorgebouw. Zoals verwacht zal een kleiner glaspercentage resulteren in een lager primair energieverbruik (en dus E-peil) en een lagere totale actuele kost. Dit valt eenvoudig te verklaren door het grote belang van de koellasten op het totaal verbruik bij een kantoorgebouw. Een kleiner glaspercentage resulteert in minder zonnewinsten en zodoende ook in een lager koelverbruik. De precieze keuze voor een bepaald glaspercentage zal steeds functie zijn van de geometrie van het gebouw en de gewenste daglichttoetreding. Zonnewering kan hier als alternatief optreden voor het verder verlagen van het glaspercentage.

Een kleiner of groter glasoppervlakte heeft quasi geen invloed op welke maatregelen(pakketten) op het Pareto front liggen, noch op hun volgorde.

Het kostenoptimum lag voor de referentiecase bij een E-peil van 51. Bij een glasoppervlakte die maar de helft bedraagt van dat van de referentiecase zal het maatregelenpakket die correspondeert met het kostenoptimum resulteren in een E-peil van 44. Bij een glasoppervlakte die de helft groter is dan dat van de referentiecase zal het maatregelenpakket die correspondeert met het kostenoptimum resulteren in een E-peil van 57. Het mag duidelijk zijn dat het glaspercentage een significante invloed heeft op het primair energieverbruik (en E-peil) dat resulteert uit een bepaald maatregelenpakket.



Figuur 93: (sub-)Pareto front voor de referentie en een kleiner (50% t.o.v. de referentie) en groter (150% t.o.v. de referentie) glasoppervlak voor het nieuw kantoorgebouw

7.5 RESULTATEN NIEUW SCHOOLGEBOUW

7.5.1 Scenariokeuze

De resultaten zoals hieronder besproken zijn het resultaat van energetische en financiële berekeningen o.b.v. de volgende algemene scenariokeuzes:

- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 30 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen zonder overheidssteun;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 3%

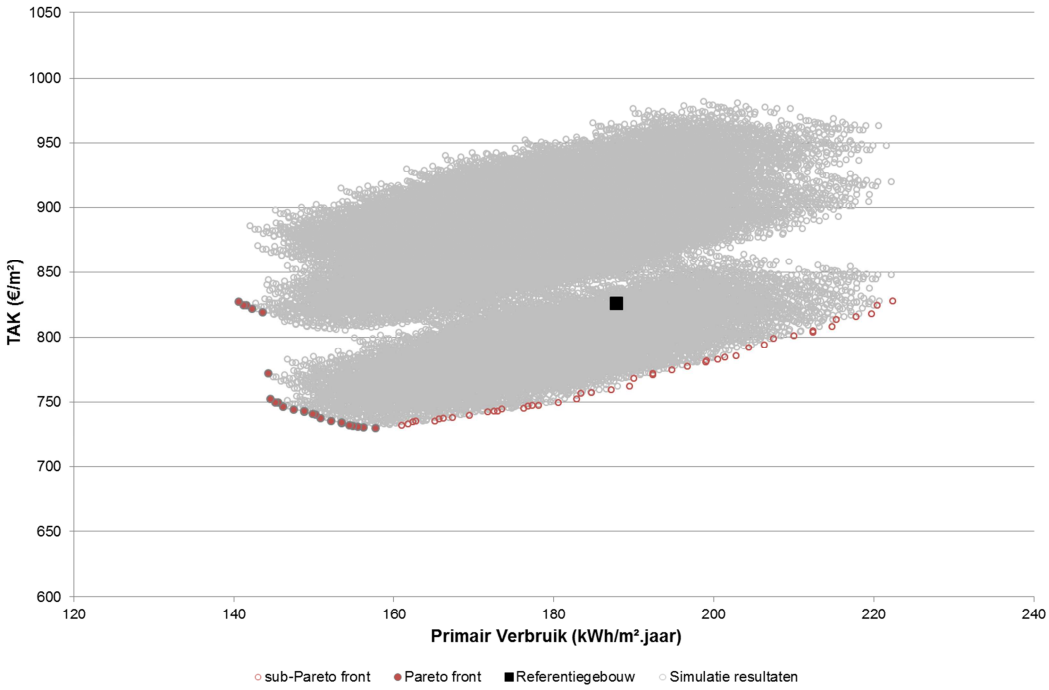
7.5.2 Analyse bouwfysische maatregelenpakketten

Figuur 94 toont de resultaten en het (sub-)Pareto front voor de simulaties van alle bouwfysische maatregelencombinaties. In totaal betreft het 48,000 maatregelencombinaties.

De bouwfysische maatregelen worden telkens gecombineerd met dezelfde installatietechnische uitrusting, zijnde:

- een gascondensatieketel (η = 1.07) met LT-radiatoren en regeling per ruimte;
- een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C) zonder toerenregeling;
- een globaal vermogen voor verlichting van 2.5 W/m².100 lux zonder aan- of afwezigheidsdetectie of daglichtsturing.

Voor de analyse van de bouwfysische maatregelenpakketten wordt bewust afgeweken van het installatietechnische pakket voor het E67 referentiegebouw. We willen immers nagaan welke bouwfysische maatregelen(pakketten) interessant zijn, los van het installatietechnische pakket. Indien we als basis de installatietechnische uitrusting van het E67 referentiegebouw zouden kiezen (met o.a. een warmteterugwinning op een ventilatiesysteem D), hypothekeren we de facto de 'kansen' van een andere installatietechnische uitrusting (bv een ventilatiesysteem C).



Figuur 94: Resultaten bouwfysische maatregelen(combinaties) voor het nieuw kantoorgebouw

Omwille van praktische redenen worden in onderstaande grafieken de resultaten voor specifieke maatregelen(combinaties) weergegeven t.o.v. het Pareto front en zonder alle overige resultaatwaarden weer te geven.

Bouwknopen

Voor bouwknopen gelden voor het nieuw schoolgebouw dezelfde conclusies als voor het nieuw kantoorgebouw. Methode C bij bouwknopen is verre van kostenoptimaal. Het EPB conform invoeren van alle bouwknopen is duidelijk de meest interessante optie. Deze variant is het vaakst op het Pareto front (en zelfs het sub-Pareto front).

Luchtdichtheid

Ook voor luchtdichtheid gelden voor het nieuw schoolgebouw dezelfde conclusies als voor het nieuw kantoorgebouw. Gebruik van de waarde bij ontstentenis (v50 = 12 $m^3/h.m^2$) blijkt verre van kostenoptimaal. Een minimale luchtdichtheid van 3 $m^3/h.m^2$ is bij een nieuw schoolgebouw haalbaar en zou als streefdoel moeten gelden. De eigenlijke kostenoptimale keuze ligt bij een luchtdichtheid van 1.5 $m^3/h.m^2$.

Vloerisolatie

Het isolatiepakket waarmee respectievelijk aan de huidige eis en de eis anno 2014 wordt voldaan (Ri = 0.87 m^2K/W, resulterend in een maximale U-waarde van 0.35 W/m^2K en Ri = 1.30 m^2K/W, resulterend in een maximale U-waarde van 0.30 W/m^2K mits in beide gevallen de gedetailleerde rekenmethode gebruikt wordt) komt vnl. op het sub-Pareto front voor. Het kostenoptimum krijgen we bij een Ri = 2.61 m^2K/W. Het Pareto front zelf wordt grotendeels ingenomen door een aantal nog ambitieuzere varianten met Ri = 3.91 m^2K/W. Essentieel bij dit alles is dat hier steeds werd uitgegaan van de gedetailleerde rekenmethode voor het bepalen van de transmissieverliezen via de grond.

Gevelisolatie

Voor gevelisolatie gelden voor het nieuw schoolgebouw dezelfde conclusies als voor het nieuw kantoorgebouw. De totale actuele kost met de stapsgewijze stijging in Ri-waarde. Het kostenoptimum ligt niet bij de huidige eis (of de eis anno 2014) maar bij een U-waarde van rond de 0.19 W/m^2K. Dit kostenoptimum vormt dan het omslagpunt waarna bijkomende isolatie weliswaar resulteert in een lager primair energieverbruik, maar voor een totale actuele kost die hoger ligt dan het kostenoptimum.

Het Pareto front wordt vnl. ingenomen wordt door de kostenoptimale variant en de eerstvolgende volgende variant (Ri = 5.83 m^2K/W).

Dakisolatie

Ook voor dakisolatie gelden voor het nieuw schoolgebouw dezelfde conclusies als voor het nieuw kantoorgebouw. De kostenoptimale variant is de variant die overeenkomt met de huidige eis (U-waarde = 0.27 W/m^2K). Dit kan worden verklaard door de huidige strengere eis bij dakisolatie in vergelijking met de eis voor gevelisolatie.

Daar staat tegenover dat bij een stapsgewijze verbetering van het dakisolatieniveau de stijging in totale actuele kost relatief beperkt is t.o.v. de extra primaire energiebesparing. De keuze voor een bepaalde

dakisolatievariant dient m.a.w. steeds te worden bekeken in het totale maatregelenpakket. Een algemene regel is hier moeilijk af te leiden.

Ramen

Voor ramen geldt voor het nieuw schoolgebouw heel andere conclusies dan voor het nieuw kantoorgebouw. Bij het schoolgebouw wordt geen actieve koeling toegepast. In tegenstelling tot het kantoorgebouw primeert bij het schoolgebouw het beperken van de transmissieverliezen boven het beperken van de zonnewinsten in de zomer.

- De variant met dubbel glas met U_g-waarde = 1.3 W/m²K vinden we enkel terug op het sub-Pareto front. Het is m.a.w. niet de kostenoptimale oplossing.
- Het kostenoptimum wordt gevormd door dubbel glas met U_g-waarde = 1.1 W/m²K. Deze variant vinden we ook op het eerste deel van het Pareto front terug.
- De betere prestaties van dubbel glas met U_g-waarde = 1.0 W/m²K kan de hogere investeringskost t.o.v. dubbel glas met U_g-waarde 1.1 W/m²K niet noodzakelijk compenseren. Deze variant ligt voor ons referentiegebouw nergens op het Pareto front.
- Verder op het Pareto front vinden we drievoudig glas. Deze variant scoort in tegenstelling tot bij het kantoorgebouw beter dan zonwerend glas. Het beperken van de zonnewinsten is voor ons schoolgebouw m.a.w. minder belangrijker dan het verminderen van de transmissieverliezen.

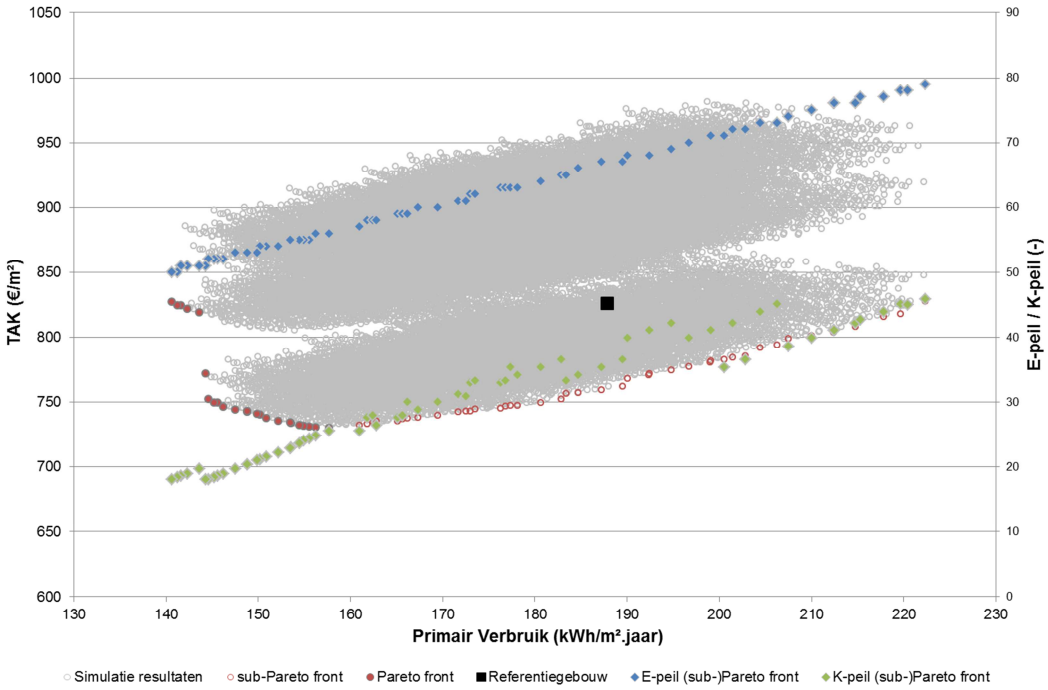
Zonnewering

Bij het schoolgebouw wordt geen actieve koeling geplaatst. Zonneweringvarianten resulteren bijgevolg in een veel beperktere primaire energiebesparing t.o.v. diezelfde varianten bij het nieuw kantoorgebouw. Het kostenoptimum en het grootste deel van het Pareto front wordt gevormd door maatregelencombinaties zonder zonnewering.

K-peil bouwfysische maatregelenpakketten

Figuur 95 toont het resulterend K-peil en E-peil voor de verschillende bouwfysische maatregelenpakketten op het (sub-)Pareto front. Zoals hierboven aangegeven (zie 7.5.2) worden de bouwfysische maatregelen telkens gecombineerd met dezelfde (weinig performante) installatietechnische uitrusting waarbij bewust afgeweken wordt van het installatietechnische pakket voor het E67 referentiegebouw.

Hieruit blijkt dat met de beschouwde bouwfysische maatregelen(pakketten) voor dit referentiegebouw een K-peil van 18 kan worden bereikt. Het kostenoptimum ligt bij een K-peil van 26 dat een stuk beter is dan de huidig geldende eis voor nieuwbouw (en resulteert met de basis installatietechnische uitrusting al in een E-peil van 56).



Figuur 95: Resultaten Pareto analyse voor de bouwfysische maatregelenpakketten voor het nieuw schoolgebouw voor de objectieven primair verbruik (linkse y-as) en totale actuele kost met weergave van K- en E-peil (rechtse y-as)

7.5.3 Selectie bouwfysische maatregelenpakketten

Voor de selectie van de bouwfysische maatregelencombinaties die we willen combineren met de installatietechnische maatregelen beschouwen we zowel maatregelen op het Pareto front als op het sub-Pareto front. De geselecteerde bouwfysische maatregelencombinaties worden opgelijst inTabel 29.

De standaard maatregelvarianten zijn:

- VL1: vloerisolatie Ri = 0.87 m²K/W → U_{vloer} = 0.35 W/m²K
- M1: muurisolatie Ri = 2.54 m²K/W → U_{muur} = 0.32 W/m²K
- D1: dakisolatie Ri = 3.41 m²K/W → U_{dak} = 0.27 W/m²K
- R1: dubbel glas 1.3 PVC kader
- Z1: geen zonnewering
- B1: bouwknopen rekenmethode C
- LD1: luchtdichtheid waarde bij ontstentenis (12 m³/h.m²)

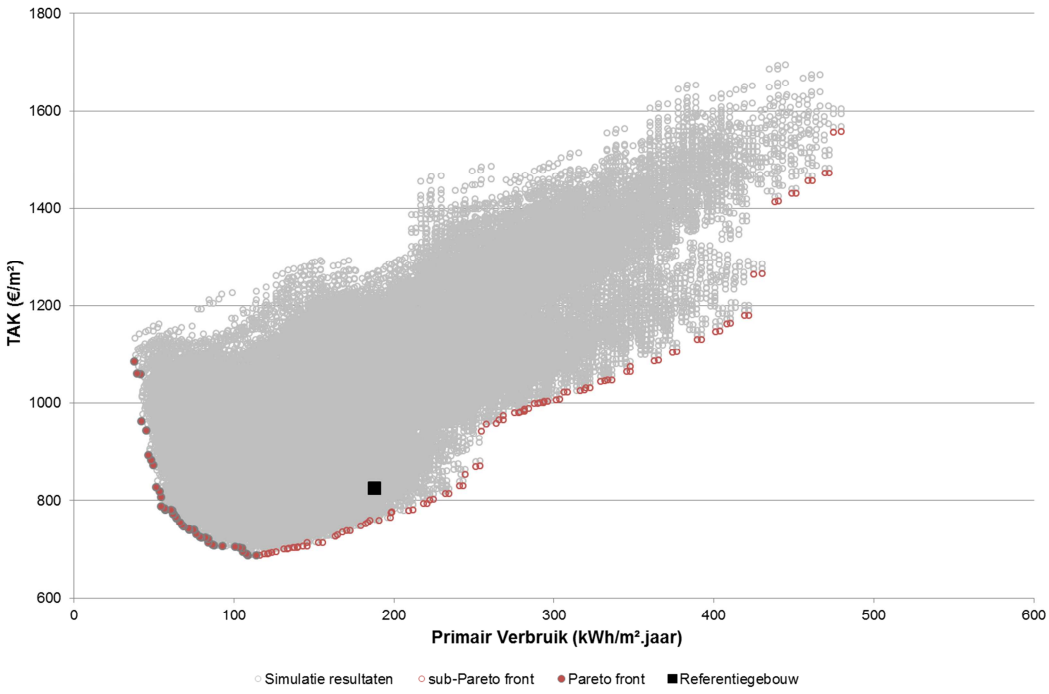
Tabel 29: Selectie bouwfysische maatregelenpakketten nieuw schoolgebouw

Code	Maatregelenpakket

VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1	• gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K • B + meeste bouwknopen EPB conform
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1	• vloerisolatie U_{vloer} = 0.30 W/m²K • B + alle bouwknopen EPB conform
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2	• B + alle bouwknopen EPB conform • v50 = 6 m³/h.m²
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3	idem voorgaande maar • gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K • v50 = 3 m³/h.m²
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3	idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.21 W/m²K
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3	• dubbel glas 1.1 PVC kader • B + alle bouwknopen EPB conform • v50 = 3 m³/h.m²
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3	Idem voorgaande plus • vloerisolatie U_{vloer} = 0.30 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4	• vloerisolatie U_{vloer} = 0.21 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.24 W/m²K • dubbel glas 1.1 PVC kader • B + alle bouwknopen EPB conform • v50 = 1.5 m³/h.m²
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4	Idem voorgaande maar • dakisolatie U_{dak} = 0.21 W/m²K
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4	Idem voorgaande maar • vloerisolatie U_{vloer} = 0.16 W/m²K • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4	Idem voorgaande maar • gevelisolatie U_{muur} = 0.19 W/m²K • drievoudig glas 0.6 PVC kader
VL4 M4 D5 R4 Z1 B4 LD4	Idem voorgaande maar • gevelisolatie U_{muur} = 0.16 W/m²K • dakisolatie U_{dak} = 0.16 W/m²K
VL4 M4 D5 R4 Z6 B4 LD4	Idem voorgaande plus • vaste zonnewering

7.5.4 Analyse gecombineerde maatregelenpakketten

Figuur 96 toont de resultaten en het Pareto front voor de combinatie van de geselecteerde bouwfysische maatregelenpakketten en de installatietechnische maatregelenpakketten. In totaal betreft het ruim 136,000 gecombineerde maatregelenpakketten.



Figuur 96: Resultaten gecombineerde maatregelenpakketten voor het nieuw schoolgebouw

Omwille van praktische redenen wordt in het vervolg van dit hoofdstuk de resultaten voor specifieke maatregelen(combinaties) weergegeven t.o.v. het Pareto front, zonder alle overige resultaatwaarden weer te geven.

Verwarmingssysteem

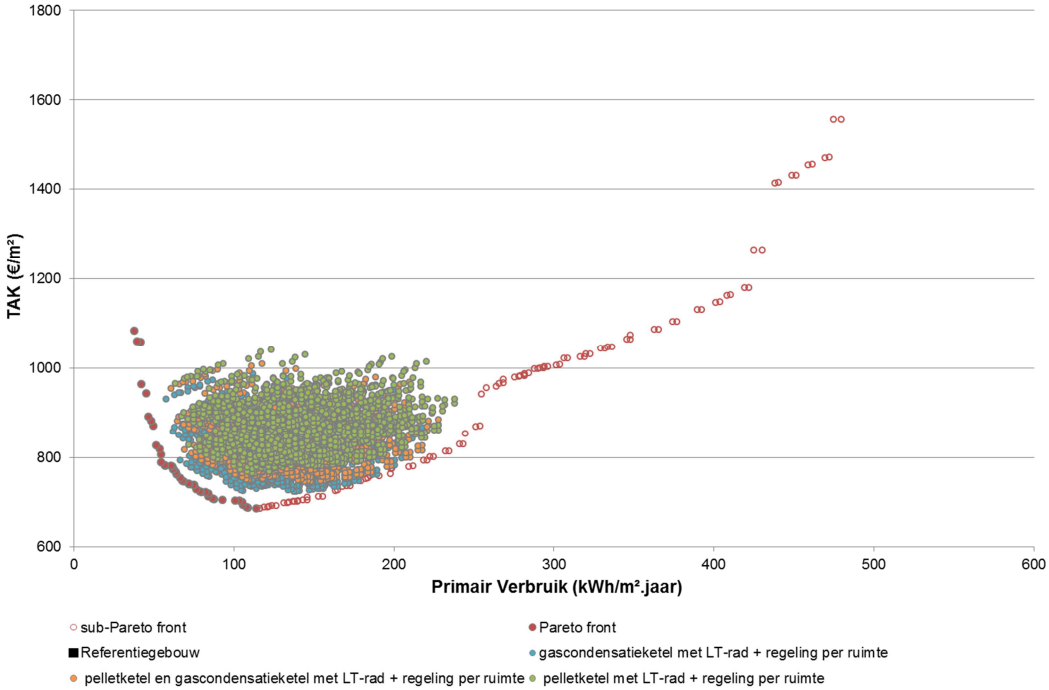
In totaal worden voor het bestaand kantoorgebouw 69 unieke systemen voor verwarming en koeling in beschouwing genomen. Hierbij wordt gevarieerd op vlak van:

- het type opwekkingstechnologie voor verwarming;
- de aanwezigheid van een (back-up) installatie voor verwarming;
- de performantie van de opwekkingsinstallatie(s) (η, COP, EER);
- het type emissiesysteem voor warmte;
- de aanwezigheid van een regeling voor verwarming per ruimte.

Zoals besproken in de inleiding op dit hoofdstuk geldt dat de varianten die zich op het sub-Pareto front bevinden niet de meest kostenoptimale varianten zijn om een beoogd primair energieobjectief te

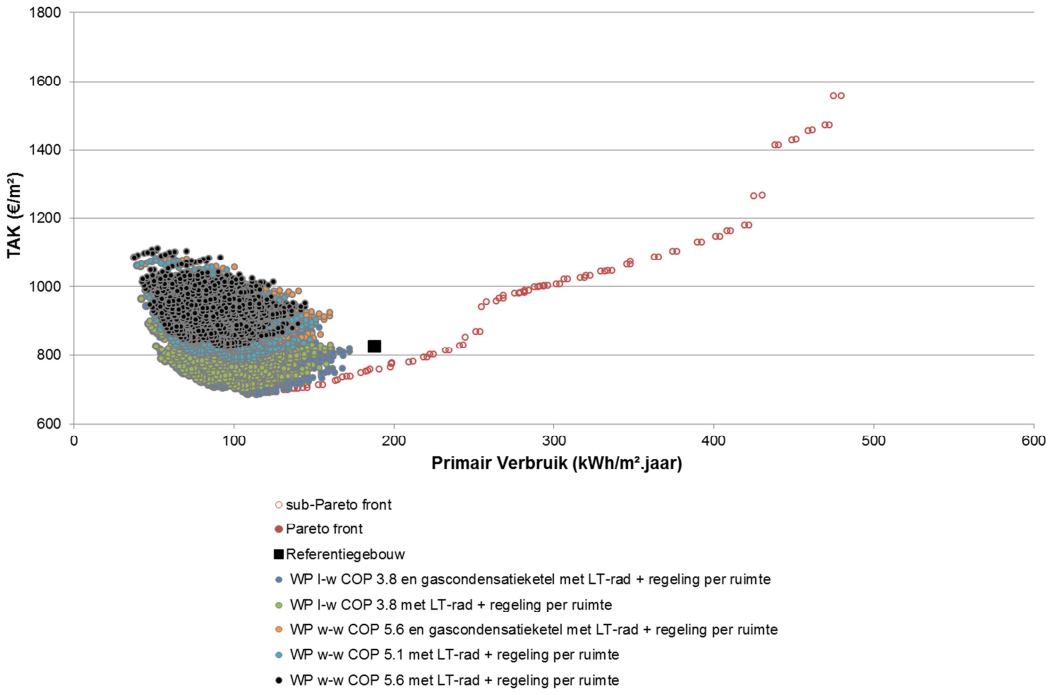
behalen. Zo bevindt de gascondensatieketel met vloerverwarming zich op het sub-Pareto front terwijl voor eenzelfde totale actuele kost een veel lager primair energieverbruik kan worden bereikt d.m.v. een gascondensatieketel in combinatie met lage-temperatuurradiatoren. Deze variant bevindt zich echter niet op het sub-Pareto front omdat een andere technologie met een hoger rendement deze plaats inneemt. Indien echter om specifieke redenen voor een gascondensatieketel als warmteopwekkingstechnologie wordt gekozen, dan gaat de voorkeur (omwille van de lagere totale actuele kost) naar een combinatie met lage-temperatuur radiatoren. Figuur 97 toont de belangrijkste technologievarianten die weliswaar niet op het Pareto front liggen maar duidelijk interessant kunnen zijn gezien het kleine verschil tussen de resultaten voor deze varianten en het kostenoptimum/Pareto front.

In tegenstelling tot het nieuw kantoorgebouw wordt voor het nieuw schoolgebouw geen actief koelsysteem verondersteld. Dit resulteert in enkele belangrijke verschillen in conclusies tussen het nieuw kantoorgebouw en het nieuw schoolgebouw. Bij het nieuw kantoorgebouw scoren verschillende warmtepompvarianten stukken beter dan een 'standaard' systeem voor verwarming en koeling bestaande uit een gascondensatieketel in combinatie met een compressiekoelmachine. Dit is voor een groot deel het resultaat van het (veel) groter koelrendement bij de warmtepompvarianten in vergelijking met de compressiekoelmachine. Doordat bij het schoolgebouw geen actieve koeling wordt beschouwd, is het verschil tussen varianten met een 'standaard' verwarmingssysteem (de gascondensatieketel) of een pelletketel enerzijds en de warmtepompvarianten die op het Pareto front voorkomen anderzijds heel wat kleiner dan bij het kantoorgebouw. Deze eerste zijn m.a.w. zeker interessant indien een warmtepomp niet mogelijk/wenselijk is.



Figuur 97: Resultaten interessante varianten voor het verwarmingssysteem voor het nieuw schoolgebouw die weliswaar niet op het Pareto front liggen

Het kostenoptimum krijgen we bij toepassing van een lucht-water warmtepomp met back-up gascondensatieketel in combinatie met lage temperatuur radiatoren en regeling per ruimte (Figuur 98). Omdat het schoolgebouw niet actief gekoeld wordt kunnen de bodem-water en water-water warmtepomp varianten niet profiteren van de hoge koelrendementen in EPB voor deze technologievarianten. Hierdoor wordt voor het schoolgebouw minder primaire energie bespaard door deze varianten in vergelijking met het kantoorgebouw. Het primair energieverbruik ligt weliswaar nog steeds lager dan bij de lucht-water warmtepomp varianten, maar het verschil is klein en door de hogere totale actuele kosten vinden we deze varianten pas verder op het Pareto front terug. De bodem-water en water-water warmtepomp varianten zijn m.a.w. niet de meest kostenoptimale optie.



Figuur 98: Resultaten varianten voor het verwarmingssysteem op het Pareto front voor het nieuw schoolgebouw

Daarnaast kunnen we het volgende besluiten:

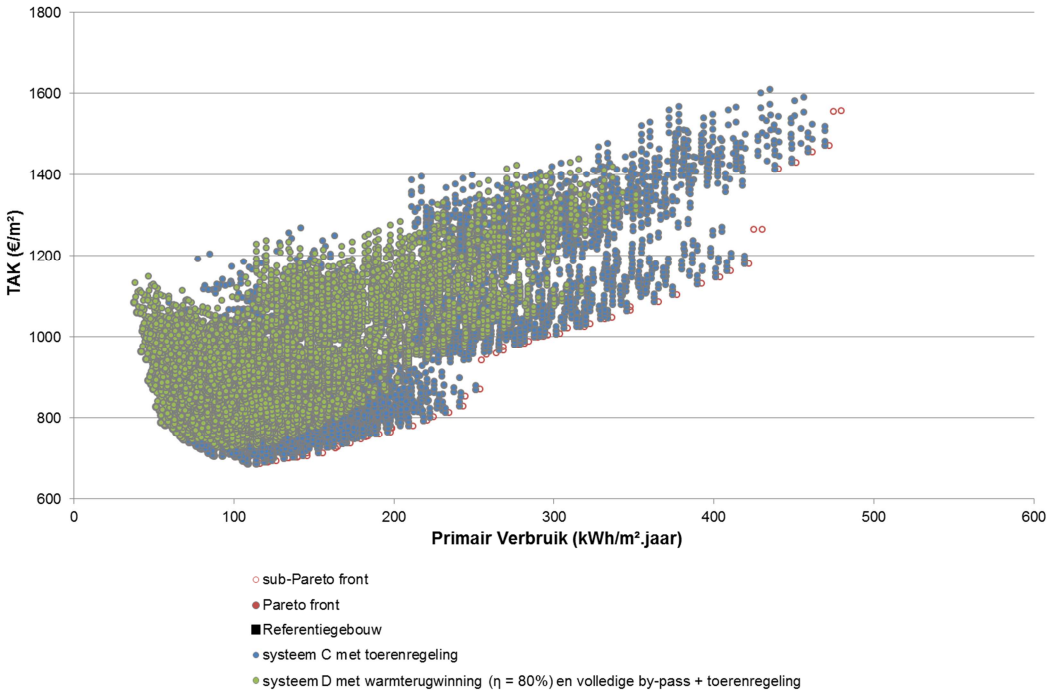
- Regeling per ruimte impliceert een hogere investeringskost en dus een hogere totale actuele kost. Maar deze extra investering resulteert duidelijk in een extra primaire energiebesparing. Het absoluut verschil in primair energieverbruik tussen geen regeling en wel een regeling zal uiteraard een stuk kleiner zijn bij een 'laag-energie' gebouw met al een ambitieus primair energie objectief.
- De lagere investeringskost voor lage-temperatuur radiatoren maakt deze doorgaans een stuk interessanter dan vloerverwarming. Het iets lager primair energieverbruik bij vloerverwarming kan de hogere investeringskost niet compenseren. De totale actuele kost voor vloerverwarming ligt bijgevolg een stuk hoger dan voor lage-temperatuurradiatoren.

- Gebruik van een back-up gascondensatieketel laat doorgaans toe een kleiner warmtepomp vermogen te plaatsen, waardoor de totale investeringskosten lager uitkomen. Dit is echter niet van toepassing voor o.a. het kostenoptimum waar omwille van de koudevraag een bepaald warmtepompvermogen noodzakelijk is.

Ventilatie

Uit de resultaten kunnen we het volgende besluiten:

- Het kostenoptimum krijgen we bij een ventilatiesysteem C met toerenregeling. De in vergelijking met een systeem D sterk lagere investeringskost én lager hulpenergieverbruik maakt dat deze optie een stuk interessanter is dan een ventilatiesysteem D. Vanaf een primair energieverbruik van 114 kWh/m².jaar (E-peil van 41) komt het ventilatiesysteem D op het Pareto front te liggen. Belangrijk is dan het dan onmiddellijk om de meest performante variant gaat – in dit geval een warmtewiel - met een rendement op de warmteterugwinning van 80% en toerenregeling (Figuur 99).
- Toepassing van toerenregeling dient zeker de voorkeur te krijgen. Het is een maatregel die resulteert in een primaire energiebesparing voor minstens dezelfde en meestal een lagere totale actuele kost.



Figuur 99: Resultaten ventilatie varianten op het Pareto front voor het nieuw schoolgebouw[46]

Verlichting

Voor de verschillende verlichtingsvarianten gelden dezelfde besluiten als bij het bestaand kantoorgebouw (zie hoofdstuk 7.2.4 - Verlichting).

Fotovoltaïsche energie (PV)

Voor fotovoltaïsche energie verwijzen we naar de algemene conclusies bij dit hoofdstuk (7.5.5)

[46] Voor het systeem D met warmtewiel (rendement 80%) gebeurt de “volledige by-pass” zoals aangegeven in de legende bij de grafiek d.m.v. het stilzetten van het warmtewiel. Dit veronderstelt m.a.w. geen extra investering.

7.5.5 Conclusie nieuw schoolgebouw

Conclusies gebouwschil

Bij nieuwbouw zijn de kostenoptimale varianten niet noodzakelijk deze die dominant op het Pareto front liggen. Er zijn m.a.w. energetisch interessantere varianten tegen een beperkte meerkost. Bekeken vanuit een energiebesparingsobjectief is het m.a.w. te verantwoorden om af te wijken van het kostenoptimum indien die beperkte meerkost in een significante reductie in energieverbruik resulteert. Bij de hieronder voorgestelde waarden werd rekening gehouden met deze belangrijke nuance.

Tabel 30 geeft een overzicht van het aangewezen eisenniveau voor de verschillende gebouwschildelen en vergelijkt deze met het kostenoptimum en de huidge EPB-eisen en de eisen anno 2014.

Tabel 30: Aangewezen eisenniveau bouwschildelen voor het nieuw schoolgebouw

	Eenheid	Huidige eis (vanaf 2012)	Eis anno 2014	Kosten-optimum	Aangewezen eisenniveau
U_{gevel}	W/m²K	0.32	0.24	0.19	0.19
U_{dak}	W/m²K	0.27	0.24	0.27	0.24 [47]
U_{vloer}	W/m²K	0.35	0.30	0.30	0.30 [48]
U_{raam}	W/m²K	2.2	1.8	1.4	drievoudig glas met U_{raam} = 1.1, U_{glas} = 0.8 en g-waarde = 0.5
U_{glas}	W/m²K	1.3	1.1	1.1	
Lucht-dichtheid	m³/(h/m²)	/	/	3	≤ 3

Conclusies globale energieprestatie-eisen

Figuur 100 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven E-peil en totale actuele kost (€/m²) en dit voor de gecombineerde maatregelenpakketten. Figuur 101 toont de resultaten van de Pareto analyse voor de objectieven primair verbruik (kWh/m².jaar) en totale actuele kost (€/m²). Voor de maatregelenpakketten op het (sub-)Pareto front wordt het corresponderend K- en E-peil afgebeeld.

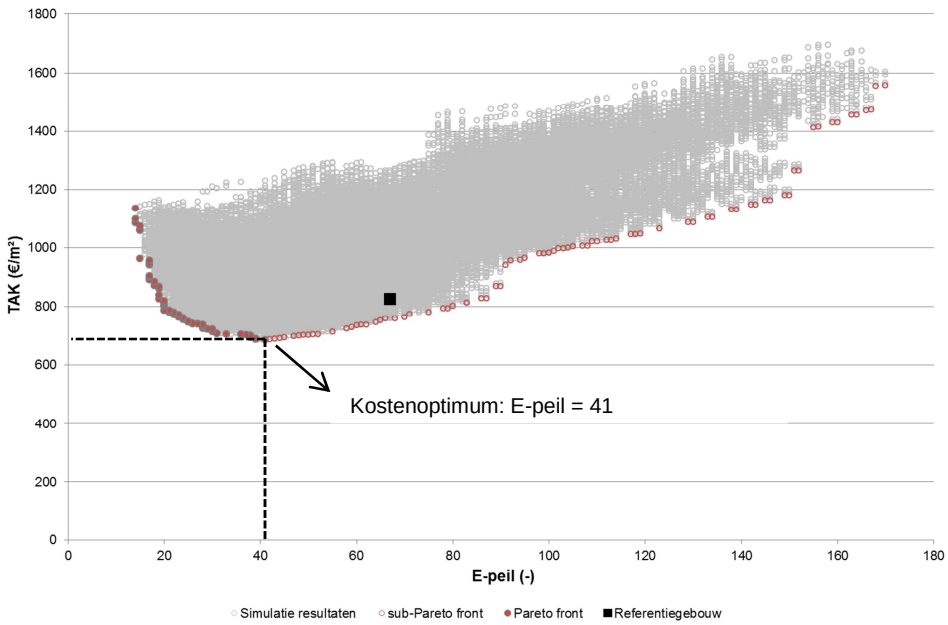
Het kostenoptimum ligt bij een primair verbruik van 114 kWh/m².jaar en een corresponderend K-peil van 28 en een E-peil van 41.

Uit Figuur 102 blijkt dat, in vergelijking met de overige referentiegebouwen, de impact van fotovoltaïsche energie op de resultaten een stuk kleiner is bij ons referentie nieuw schoolgebouw. Dit is het gevolg van het uitgangspunt waarbij de installatie omwille van rentabiliteitsredenen hetzij beperkt is

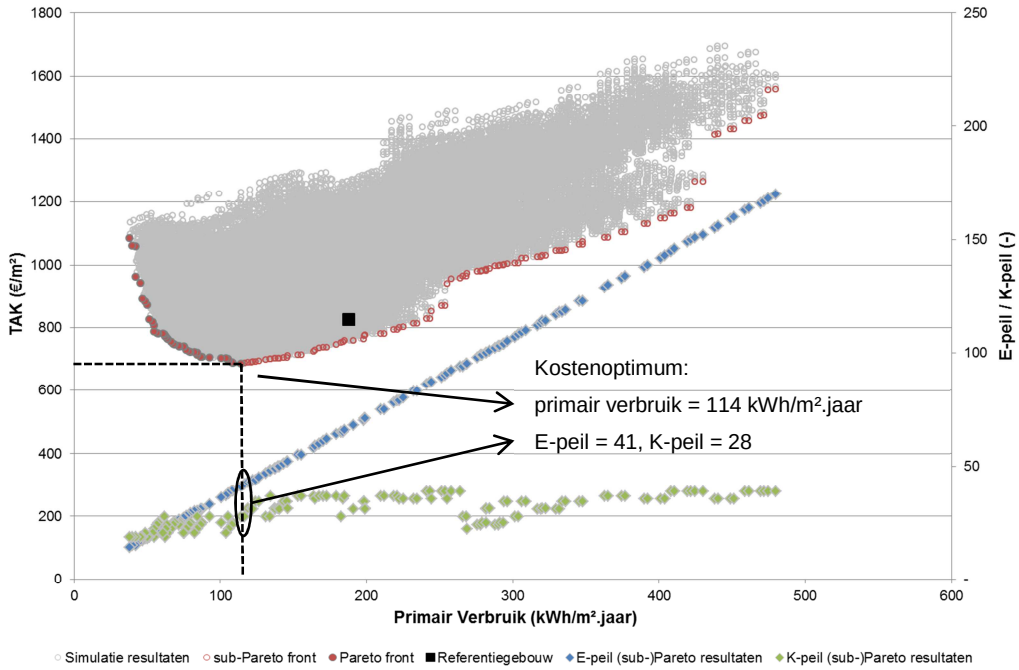
[47] Wanneer dakisolatie als individuele maatregel wordt toegepast gaat de voorkeur duidelijk uit naar een U-waarde van 0.24 W/m²K.

[48] De U-waarde wordt berekend volgens de gedetailleerde rekenmethode. Vloerisolatie als renovatiemaatregel wordt enkel beschouwd bij totaalrenovatie.

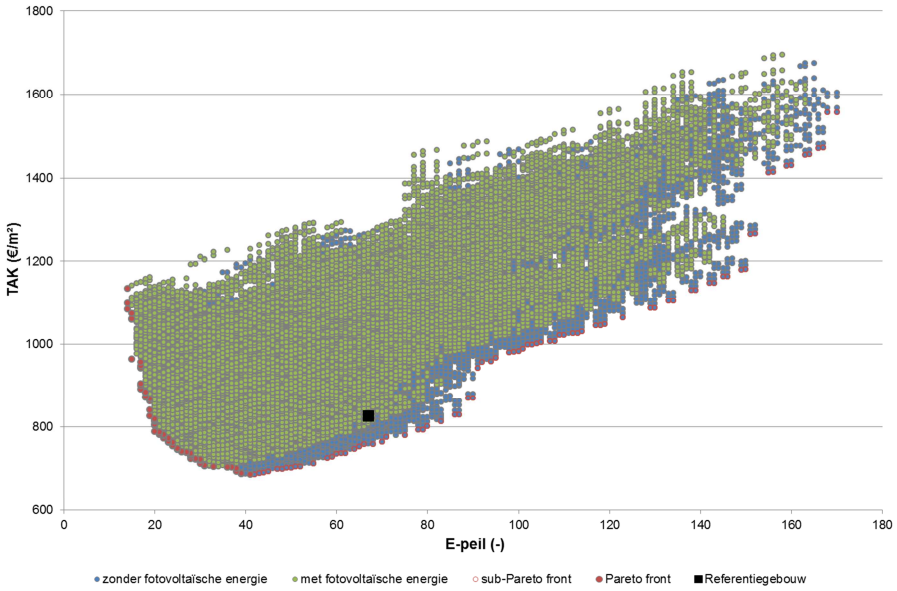
tot 10 kW, hetzij groter dan 50 kW. Voor het (relatief klein) nieuw schoolgebouw geldt de facto de beperking tot 10 kW. Hierdoor is de verschuiving van de resultatenwolk tussen de varianten met en zonder fotovoltaïsche energie een stuk kleiner dan bij de overige referentiegebouwen.



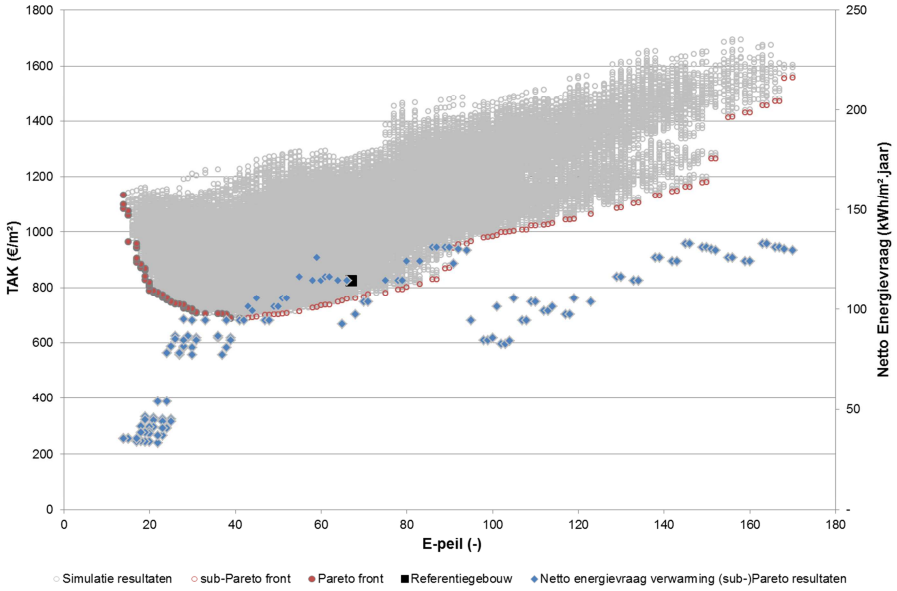
Figuur 100: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw schoolgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost



Figuur 101: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw schoolgebouw voor de objectieven primair energieverbruik en totale actuele kost (linkse y-as) met weergave van K- en E-peil (rechtse y-as)



Figuur 102: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw schoolgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave onderscheid met en zonder fotovoltaïsche energie



Figuur 103: Resultaten Pareto analyse voor het nieuw schoolgebouw voor de objectieven E-peil en totale actuele kost met weergave van de netto energievraag voor verwarming

8 REFERENTIES

[1]	Europese Commissie, „Gedelegeerde Verordening (EU) Nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement en de Raad," 2012.
[2]	Europese Commissie, „Richtsnoeren bij Gedelegeerde Verordening (EU) nr. 244/2012 van de Commissie van 16 januari 2012 tot aanvulling van Richtlijn 2010/31/EU van het Europees Parlement (2012/C 115/01)," 2012.
[3]	Federale Overheidsdienst Financiën, „Fisconetplus," [Online]. Available: http://ccff02.minfin.fgov.be/KMWeb/document.do?method=view&id=a19fc8c5-a4f8-486e-80dc-b045d316cd70#findHighlighted. [Geopend 13 11 2012].
[4]	European Commission, „Eurostat," 2012. [Online]. Available: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables. [Geopend 13 11 2012].
[5]	Federale Overheidsdienst Economie, „be.STAT," [Online]. Available: http://economie.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/energie/prijzen/gemid_24/. [Geopend 14 11 2012].
[6]	European Commission - Directorate-General for Energy in collaboration with Climate Action DG and Mobility and Transport DG, „EU Energy Trends to 2030 - Update 2009," 2010.
[7]	VREG, „Marktmonitor 2011," 2012.
[8]	VREG, „Marktrapport 2010," 2011.
[9]	K. M. e. E. Federale Overheidsdienst Economie, „Energieobservatorium België - Kerncijfers 2010," 2010.
[10]	Eandis, „Eandis," [Online]. Available: http://www.eandis.be/eandis/faq.htm?dataId=7780536. [Geopend 15 01 2013].
[11]	Agentschap Ondernemen, [Online]. Available: http://www.agentschapondernemen.be/maatregel/vermindering-onroerende-voorheffing-voor-gebouwen-met-laag-e-peil. [Geopend 20 01 2013].
[12]	AGIOn, [Online]. Available: http://www.agion.be/subsidiëring.aspx. [Geopend 01 02 2013].
[13]	Federale Overheidsdienst Economie, „be.STAT," [Online]. Available: http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/webinterface/beSTAT_home/. [Geopend 14 11 2012].
[14]	Intelligent Energy Project TABULA, „TABULA Webtool," [Online]. Available: http://webtool.building-typology.eu/webtool/tabula.html. [Geopend 14 11 2012].
[15]	Ulg-Lapt, KULeuven, „Project EPIcool - WP1 - R02 Definitie en simulatie van referentiegebouwen," 2009.
[16]	Vlaamse Overheid, „Vlaanderen.be," [Online]. Available: http://www.vlaanderen.be/nl/bouwen-wonen-en-energie/energie/zelf-energie-produceren/netvergoeding-voor-zonnepanelen. [Geopend 01 02 2013].
[17]	E. E. Exchange, „www.eex.com," [Online]. Available: http://www.eex.com/en/Market%20Data/Trading%20Data/Emission%20Rights. [Geopend 14 01 2013].

[18] Federale Overheidsdienst Financiën, „fiscus.fgov.be," [Online]. Available: http://fiscus.fgov.be/interfakredNL/Vragen/kadaster/Cad5.htm. [Geopend 01 02 2013].

BIJLAGE A FEEDBACK STAKEHOLDERS

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de feedback ontvangen van de verschillende stakeholders naar aanleiding van het stakeholderoverleg op 24/10/2012.

Verschillende stakeholders hadden vragen/opmerkingen m.b.t. de huidige EPU-rekenmethodologie. Deze werd in het kader van deze studie echter niet geëvalueerd. Enkel de vragen en opmerkingen die betrekking hebben op de scope van deze studie werden weerhouden.

De feedback van de stakeholders wordt als volgt weergegeven:

- Opmerking stakeholder
  → Besluit/actiepunt 3E-Ingenium

AGIOn

- Referentie nieuw schoolgebouw weinig representatief op vlak van:
  - compactheid, isolatie, oriëntatie
  - grootte niet van toepassing voor veel secundaire scholen

  → Er werd een standaard nieuwbouw isolatiepakket geselecteerd.

  → De kwestie van de beperkte grootte van het nieuw referentie schoolgebouw wordt gedeeltelijk ondervangen door het veel grotere bestaand referentie schoolgebouw.

  → Qua oriëntatie gebeurt een sensitiviteitsstudie op alle maatregelencombinaties én op het referentiegebouw.
- Vraag om een tweede referentie bestaand schoolgebouw te beschouwen met bouwperiode 1970-1989 (25%)
  → Niet mogelijk binnen het huidig bestek
- 30% met bouwperiode < 1949 → vraag om deze (dikwijls grote) gebouwen in beschouwing te nemen
  → grote schoolgebouwen < 1949 worden meegenomen d.m.v. de referentie bestaand schoolgebouw
- Vraag om (na)-isoleren van hellende dakvlakken te beschouwen zowel bij nieuwbouw als renovatie
  → Er wordt voor het bestaand schoolgebouw een dakisolatievariant met hellend dak i.p.v. plat dak toegevoegd.
- Vraag naar motivatie om bij bestaand schoolgebouw de stookolieketel als referentie te nemen.
  → Deze referentie is een eenmalig startpunt en heeft geen impact op de resultaten voor de verschillende maatregelenpakketten.
- Geen onderscheid in prijs spouwmuurisolatie voor 5-10 cm?
  → Er wordt slecht één spouwmuurbreedte beschouwd. Hiervoor wordt een specifieke prijs opgesteld.
- AGIOn nodigt 3E uit hun prijzen af te toetsen met prijzen o.b.v. recente prijsoffertes ingediend bij AGIOn.
  → 3E is ingegaan op dit aanbod en heeft zijn prijzen getoetst aan concrete AGIOn dossiers.

Agoria

- Kritiek op U-waarde ramen van onze referenties bestaande gebouwen.
  → Deze waarden zijn gebaseerd op de TABULA Webtool.
- Toepassing LT-afgiftesysteem enkel in geval van een voldoende kwalitatieve (renovatie van de) gebouwschil.
  → Het rekenmodel werd aangepast. Bij een scenario met voldoende kwalitatieve renovatie van de gebouwschil kunnen enkel bestaande radiatoren volstaan. Zoniet is er een meerkost voor bijkomende LT-radiatoren.
- Vraag naar andere vermogensverhoudingen warmtepomp/back-up ketel dan de vooropgestelde 20/80 regel.
  → Er werden 3 scenario's bekeken: op 100% van warmtevraag; op 100% van koudevraag en om de investeringskost te drukken ook eens op 25% van de warmtevraag. Gezien in de EPU-rekenmethode een variatie in warmtepompvermogen tussen 20% en 30% van het totaalvermogen steeds in eenzelfde aandeel resulteert, geven kleine variaties rond de 20 à 30% een vertekend beeld. Werken met een vast aandeel in het midden van deze marge geeft voor deze studie een eenduidig beeld.
- De prijs voor een gasketel vermindert niet zo snel met toenemend vermogen.
  → De prijs voor gascondensatieketels werd bijgesteld.

Belgische Baksteenfederatie

- Aantal maatregelen renovatie gevels/wanden is te beperkt, zie mogelijke onderstaande maatregelen:
- Vraag om het na-isoleren van spouwen (STS 71-1) mee te nemen
  Spouwisolatie wordt meegenomen bij renovatie van het bestaand schoolgebouw.
- Opmerkingen m.b.t. isolatie en afwerkingsmateriaal
  → idem reactie op vragen Isover

Bio-energie platform

- Uitdrukkelijke vraag om pelletketels mee te nemen in de oefening.
  → Deze werden in beschouwing genomen bij elk referentiegebouw.
- Bio-energieplatform is voorstander van het NMDA principe voor warmtenetten.
  → Het warmtenet werd ook op die manier meegenomen in de berekeningen.

BVS

- Vragen bij representativiteit referentie bestaand kantoorgebouw.
  - Voorgestelde middelgroot kantoor procentueel misschien niet de grootste groep
    → Bestek voorziet in slechts 1 bestaand kantoorgebouw. Dit gebouw kan onmogelijk de heel gedifferentieerde markt afdekken.

    - Compactheid niet noodzakelijk representatief.
      → Hiervoor is geen data beschikbaar. Er kan enkel een goede inschatting gemaakt worden.
    - Weinig koudebruggen t.o.v. gebouwen uit jaren '60 en '70 met dikwijls uitwendige draagstructuren.
      → Idem voorgaande.
    - PVC raamprofielen zijn voor kantoren geen marktgetrouwe keuze.
      → Voor de kantoorgebouwen werden uiteindelijk aluminium profielen beschouwd.
- Vragen bij kostprijs luchtdichtheidsmaatregelen.
  → Uiteindelijk werd zowel een automatische luchtdichtheidsverbetering bij renovatie van gebouwschildelen beschouwd (zonder extra investeringskost) als specifieke maatregelen om tot sterk verbeterde luchtdichtheidswaarden te komen (met specifieke investeringskost).
- Kloof tussen voor en na renovatie bij bestaand kantoorgebouw is in realiteit belangrijker doordat dikwijls een koel- en/of ventilatiesysteem ontbreekt in een bestaand kantoorgebouw.
  → Het bestaand kantoorgebouw dient enkel als referentiepunt en heeft geen invloed op de resultaten en conclusies. Deze laatste zijn gebaseerd op een onderlinge vergelijking tussen de verschillende maatregelenpakketten (en niet op een vergelijking met het referentiegebouw).
- Vragen bij de prijsimpact van de raamoppervlakte.
  → Bij de vermogensberekening voor verlichting wordt daglichttoetreding steeds mee in rekening genomen. Er wordt bovendien een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd op het aandeel glasoppervlak t.o.v. het totaal geveloppervlak.

Cedicol

- Stelt vragen bij de bronnen (Eurostat) voor gas.
- Heeft kritiek op de prijzen voor stookolie en geeft zelf bronnen aan (Federale Overheidsdienst Economie
  → 3E geeft een gedetailleerd overzicht van de prijzen (per verbruikscategorie) in dit rapport en de gebruikte brondata. Er was tevens overleg met KCE om dezelfde bronnen te gebruiken voor de residentiële sector.

CIR - Isolatieraad

- Vraag onderbouwing bouwkundige en installatietechnische referenties niet-residentiële gebouwen
  → De onderbouwing werd opgenomen in dit rapport in hoofdstuk 4.
- Afstemming tussen uitvoerders residentieel en niet-residentieel studiegedeelte m.b.t.bronnen qua levensduur en onderhoudskostpercentages.
  → Er is afstemming geweest tussen 3E en KCE hiervoor.

Groen Licht Vlaanderen

Vraag om de prijzen aan te passen. Hiervoor werden enkele praktijkvoorbeelden gegeven.

→ De prijzen werden enigszins aangepast, zij het niet zo ver als aangegeven in de voorbeelden van Groen Licht Vlaanderen; dit omwille van volgende redenen:

- De praktijkvoorbeelden zijn telkens voor lokalen met een relatief hoge lichtvraag, terwijl onze voorgestelde prijzen gebouwgemiddelden zijn. Deze gebouwgemiddelden liggen terecht lager dan de prijs van lokalen met een hogere lichtvraag. Zeker wanneer men daglichtsturing gaat plaatsen, is het verschil uitgesproken groter. Men gaat immers niet in ieder lokaal daglichtsturing plaatsen, denk maar aan ruimten zonder ramen, zonder regelmatige bezetting, etc.
- De praktijkvoorbeelden zijn telkens van een beperkte omvang. De door ons bepaalde prijzen zijn voor projecten van een grotere omvang.

Isover

- Opmerkingen m.b.t. de prijzen voor gevelbekleding.
  → Bij isolatiemaatregelen resulteert het combineren van verschillende types isolatiemateriaal (minerale wol, PUR, EPS, XPS, cellulose, etc.), verschillende diktes en diverse types afwerking in enorm veel combinatiemogelijkheden. Om het totaal aantal te simuleren bouwfysische maatregelencombinaties (en dus de simulatietijd per 'run') werkbaar te houden, bleek het onmogelijk om al deze combinatiemogelijkheden voor isolatie door te rekenen. Een vereenvoudigde aanpak bleek hier noodzakelijk. Deze vereenvoudiging werd bereikt door bij de meeste isolatiemaatregelen abstractie te maken van het type isolatiemateriaal en het type afwerking.

NAV

- Vraag om HT-radiatoren mee te nemen.
  → HT-radiatoren worden meegenomen in de referentiecase en bij sommige renovatieconcepten bij het bestaand schoolgebouw. Het temperatuurregime wordt hierbij aangepast in functie van het benodigde vermogen afhankelijk van het totale maatregelenpakket.
- Wat met de ventilo-convectoren die om budgettaire redenen nog veelvuldig geplaatst worden.
  → Finaal werd geconcludeerd dat de huidige manier van doorrekenen van ventilo-convectoren in de EPU-methode, vastgelegd in bijlage VI van het Energiebesluit, niet voldoende strookt met de realiteit om een correcte vergelijking te kunnen maken met andere technieken. Hierom werd geopteerd om deze techniek niet meer te beschouwen in de verdere studie.

Rockwool

- Vraag om MW ook mee te nemen bij vloer- gevel en dakisolatie. Dit voor zowel nieuwbouw als renovatie en voor verschillende diktes.
  → zie antwoord bij opmerking Isover

Scheldimmo

- Vraag om ook passieve koelmogelijkheid bij geothermische warmtepompen mee te nemen.
  → Dit werd zo meegenomen voor alle kantoorgebouwen

Verbond Glasindustrie

- Vraag om zonwerende beglazing mee te nemen als vervanging van zonnewering.
  → Zonwerende beglazing werd meegenomen voor alle referentiegebouwen.
- Vraag om de juiste keuze van beglazing te maken.
  → Dit wordt gedekt door het feit dat duizenden simulaties worden uitgevoerd waarin alle maatregelen met elkaar gecombineerd worden.
- Is er een link tussen type beglazing (lichttransmissie) en benodigde verlichting?
  → Bij de vermogensberekening voor verlichting wordt daglichttoetreding steeds mee in rekening genomen.
- Vraag om sensitiviteitanalyse bij beglazing.
  → Er worden sensitiviteitsanalyses gedaan naar oriëntatie en percentage glasoppervlak t.o.v. totaal geveloppervlak.

Verozo

- Vraag om ook manueel bediende zonnewering mee te nemen bij schoolgebouwen.
  → Deze variant werd meegenomen bij zowel kantoor- als schoolgebouwen.
- Gedetailleerde g-waarden voor de verschillende zonneweringvarianten
  → Voor alle zonneweringvarianten worden de standaard reductiefactoren uit de EPU-rekenmethodologie gebruikt

Warmtepomp Platform

- Vragen bij de verhouding warmtepomp - condensatieketel van 25/75
  → Het gaat hier om een vermogensverhouding. Daarnaast wordt voor alle warmtepompvarianten ook een optie zonder back-up gascondensatieketel meegenomen.
- Passieve koeling bij grond gekoppelde systemen moet zeker meegenomen worden.
  → Dit werd zo meegenomen voor kantoorgebouwen.

BIJLAGE B BOUWFYSISCHE MAATREGELEN

Samenvattende tabellen vloerisolatie

Tabel 31: Overzicht varianten vloerisolatie bestaand kantoorgebouw

VLOERISOLATIE Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs (€/m^2)
Referentie	VL1	0.44	0.28	-
Isoleren vloerplaat (enkel bij grondige renovatie)	VL2	1.30	0.22	28
Isoleren vloerplaat (enkel bij grondige renovatie)	VL3	2.61	0.17	37
Isoleren vloerplaat (enkel bij grondige renovatie)	VL4	3.91	0.14	46

Tabel 32: Overzicht varianten vloerisolatie bestaand schoolgebouw

VLOERISOLATIE Bestaand Schoolgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs (€/m^2)
Referentie	VL1	-	2.99	-
Isoleren vloerplaat (enkel bij grondige renovatie)	VL2	2.52	0.35	37
Isoleren vloerplaat (enkel bij grondige renovatie)	VL3	3.91	0.24	46
Isoleren vloerplaat (enkel bij grondige renovatie)	VL4	5.22	0.18	54
Isolatie kelderplafond	VL5	2.52	0.35	36
Isolatie kelderplafond	VL6	3.91	0.24	48

Tabel 33: Overzicht varianten vloerisolatie nieuw kantoorgebouw

VLOERISOLATIE Nieuw Kantoorgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs (€/m^2)
Isoleren vloerplaat	VL1	1.00	0.26	26
Isoleren vloerplaat	VL2	1.44	0.23	29
Isoleren vloerplaat	VL3	2.61	0.18	37
Isoleren vloerplaat	VL4	3.91	0.14	46

Tabel 34: Overzicht varianten vloerisolatie nieuw schoolgebouw

VLOERISOLATIE Nieuw Schoolgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs (€/m^2)
Isoleren vloerplaat	VL1	0.87	0.35	25
Isoleren vloerplaat	VL2	1.30	0.30	28
Isoleren vloerplaat	VL3	2.61	0.21	37
Isoleren vloerplaat	VL4	3.91	0.16	46

Samenvattende tabellen gevelisolatie

Tabel 35: Overzicht varianten gevelisolatie bestaand kantoorgebouw

GEVELISOLATIE Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie (€/m^2)	Aanpassing dakrand
Referentie	M1	0.44	0.95		
Na-isoleren gevel (U-waarde eis 2012)	M2	2.52	0.32	108	100
Na-isoleren gevel (U-waarde eis 2014)	M3	3.57	0.24	110	100
Na-isoleren gevel	M4	4.94	0.18	112	100
Na-isoleren gevel	M5	5.44	0.17	116	100

Tabel 36: Overzicht varianten gevelisolatie bestaand schoolgebouw

GEVELISOLATIE Bestaand Schoolgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie (€/m^2)	Aanpassing dakrand
Referentie	M1	-	1.7		
Na-isoleren gevel (U-waarde eis 2012)	M2	2.55	0.32	109	100
Na-isoleren gevel (U-waarde eis 2014)	M3	3.60	0.24	111	100
Na-isoleren gevel	M4	4.50	0.20	113	100
Na-isoleren gevel	M5	5.50	0.16	115	100
Spouwmuurisolatie	M6	2.17	0.36	25	

Tabel 37: Overzicht varianten gevelisolatie nieuw kantoorgebouw

GEVELISOLATIE Nieuw Kantoorgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie (€/m^2)
Isolatie gevel (U-waarde eis 2012)	M1	2.50	0.32	33
Isolatie gevel (U-waarde eis 2014)	M2	3.54	0.24	35
Isolatie gevel	M3	4.58	0.19	37
Isolatie gevel	M4	5.83	0.16	44
Isolatie gevel	M5	6.67	0.14	50

Tabel 38: Overzicht varianten gevelisolatie nieuw schoolgebouw

GEVELISOLATIE Nieuw Schoolgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie (€/m^2)
Isolatie gevel (U-waarde eis 2012)	M1	2.54	0.32	29
Isolatie gevel (U-waarde eis 2014)	M2	3.54	0.24	35
Isolatie gevel	M3	4.58	0.19	37
Isolatie gevel	M4	5.83	0.16	44
Isolatie gevel	M5	6.67	0.14	50

Samenvattende tabellen dakisolatie

Tabel 39: Overzicht varianten dakisolatie bestaand kantoorgebouw

DAKISOLATIE Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie ($€/m^2$)	Aanpassing dakrand
Referentie	D1	0.89	0.81	-	-
Na-isoleren dak (U-waarde eis 2012)	D2	3.37	0.27	84	100
Na-isoleren dak (U-waarde eis 2014)	D3	3.85	0.27	87	100
Na-isoleren dak	D4	4.96	0.19	96	100
Na-isoleren dak	D5	6.07	0.16	105	100

Tabel 40: Overzicht varianten dakisolatie bestaand schoolgebouw

DAKISOLATIE Bestaand Schoolgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie ($€/m^2$)	Aanpassing dakrand
Referentie	D1	-	3.49	-	-
Na-isoleren dak (U-waarde eis 2012)	D2	3.41	0.27	91	100
Na-isoleren dak (U-waarde eis 2014)	D3	3.89	0.24	95	100
Na-isoleren dak	D4	4.82	0.20	102	100
Na-isoleren dak	D5	5.93	0.16	111	100
Binnenisolatie hellend dak variant	D6	4.86	0.19	37	-

Tabel 41: Overzicht varianten dakisolatie nieuw kantoorgebouw

DAKISOLATIE Nieuw Kantoorgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie (€/m^2)
Isolatie dak (U-waarde eis 2012)	D1	3.33	0.27	31
Isolatie dak (U-waarde eis 2014)	D2	3.89	0.24	36
Isolatie dak	D3	4.44	0.21	40
Isolatie dak	D4	5.19	0.18	46
Isolatie dak	D5	5.93	0.16	52

Tabel 42: Overzicht varianten dakisolatie nieuw schoolgebouw

DAKISOLATIE Nieuw Schoolgebouw	Simulatiecode	R-waarde isolatie (m^2K/W)	Totale U-waarde (W/m^2K)	Totaalprijs isolatie (€/m^2)
Isolatie dak (U-waarde eis 2012)	D1	3.41	0.27	32
Isolatie dak (U-waarde eis 2014)	D2	4.89	0.24	36
Isolatie dak	D3	4.44	0.21	40
Isolatie dak	D4	5.19	0.18	46
Isolatie dak	D5	5.93	0.16	52

Samenvattende tabellen ramen

Tabel 43: Overzicht varianten ramen bestaand kantoorgebouw

RAMEN Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	U-waarde glas (W/m²K)	U-waarde profiel (W/m²K)	Psi-waarde (W/mK)	U-waarde raam (W/m²K)	g-waarde raam	Totaalprijs raam (€/m²)
Referentie	R1	3.30	6.12	0.02	4.21	0.75	-
Dubbel glas 1.3 - aluminium kader	R2	1.30	3.00	0.05	1.96	0.63	320
Dubbel glas 1.1 - aluminium kader	R3	1.10	1.40	0.08	1.43	0.50	450
Dubbel glas 1.0 - aluminium kader	R4	1.00	1.40	0.08	1.36	0.50	500
Drievoudig glas 0.6 - aluminium kader	R5	0.60	1.40	0.08	1.08	0.50	525
Zonwerend glas 1.0 - aluminium kader	R6	1.00	1.40	0.08	1.36	0.38	545

Tabel 44: Overzicht varianten ramen bestaand schoolgebouw

RAMEN Bestaand Schoolgebouw	Simulatiecode	U-waarde glas (W/m²K)	U-waarde profiel (W/m²K)	Psi-waarde (W/mK)	U-waarde raam (W/m²K)	g-waarde raam	Totaalprijs raam (€/m²)
Referentie	R1	4.00	7.12	0.02	5.00	0.85	-
Dubbel glas 1.3 - PVC kader	R2	1.30	3.00	0.05	1.96	0.63	321
Dubbel glas 1.1 - PVC kader	R3	1.10	1.40	0.08	1.43	0.50	346
Dubbel glas 1.0 - PVC kader	R4	1.00	1.40	0.08	1.36	0.50	371
Drievoudig glas 0.6 - PVC kader	R5	0.60	1.40	0.08	1.08	0.50	386
Zonwerend glas 1.0 - PVC kader	R6	1.00	1.40	0.08	1.36	0.38	415

Tabel 45: Overzicht varianten ramen nieuw kantoorgebouw

RAMEN Nieuw Kantoorgebouw	Simulatiecode	U-waarde glas (W/m²K)	U-waarde profiel (W/m²K)	Psi-waarde (W/mK)	U-waarde raam (W/m²K)	g-waarde raam	Totaalprijs raam (€/m²)
Dubbel glas 1.3 - aluminium kader	R1	1.30	3.00	0.11	2.14	0.63	320
Dubbel glas 1.1 - aluminium kader	R2	1.10	1.40	0.07	1.40	0.50	450
Dubbel glas 1.0 - aluminium kader	R3	1.00	1.40	0.07	1.33	0.50	500
Drievoudig glas 0.6 - aluminium kader	R4	0.60	1.40	0.07	1.05	0.50	525
Zonwerend glas 1.0 - aluminium kader	R5	1.00	1.40	0.07	1.33	0.38	545

Tabel 46: Overzicht varianten ramen nieuw schoolgebouw

RAMEN Nieuw Schoolgebouw	Simulatiecode	U-waarde glas (W/m²K)	U-waarde profiel (W/m²K)	Psi-waarde (W/mK)	U-waarde raam (W/m²K)	g-waarde raam	Totaalprijs raam (€/m²)
Dubbel glas 1.3 - PVC kader	R1	1.30	3.00	0.11	2.14	0.63	390
Dubbel glas 1.1 - PVC kader	R2	1.10	1.40	0.07	1.40	0.50	440
Dubbel glas 1.0 - PVC kader	R3	1.00	1.40	0.07	1.33	0.50	490
Drievoudig glas 0.6 - PVC kader	R4	0.60	1.40	0.07	1.05	0.50	515
Zonwerend glas 1.0 - PVC kader	R5	1.00	1.40	0.07	1.33	0.38	535

Samenvattende tabel zonnewering

Tabel 47: Overzicht varianten zonnewering voor alle referentiegebouwen

ZONNEWERING alle referentiegebouwen	Simulatiecode	Bediening	Regeling	Fc-waarde	Ac, heat voor energiezones met koeling	Totaalprijs zonnewering (€/m²)
Referentie	Z1	-	n.v.t.	1.0	1.0	-
Binnenzonnewering	Z2	manuele bediening	geen sturing	0.9	0.4	73
Binnenzonnewering	Z3	elektronische bediening	geen sturing	0.9	0.4	336
Buitenzonnewering	Z4	elektronische bediening	geen sturing	0.5	0.4	441
Buitenzonnewering	Z5	elektronische bediening	sturing met sensor	0.5	0.7	501
Structurele zonnewering	Z6	-	-	0.5	1.0	295

Samenvattende tabellen bouwknopen

Tabel 48: Overzicht varianten bouwknopen bestaand kantoorgebouw

BOUWKNOPEN Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	Methode	Beschrijving	Oplossen bouwknoop gevel-raam (€/m)	Oplossen bouwknoop gevel-dak (€/m)	Oplossen bouwknoop gevel-vloer (€/m)
Referentie	B1	B	aantal niet EPB conforme bouwknopen	-	-	-
B + meeste bouwknopen EPB conform	B2	B	meeste bouwknopen EPB conform	2.5	-	-
B + alle bouwknopen EPB conform	B3	B	alle bouwknopen EPB conform	2.5	150	120

Tabel 49: Overzicht varianten bouwknopen bestaand schoolgebouw

BOUWKNOPEN Bestaand Schoogebouw	Simulatiecode	Methode	Beschrijving	Oplossen bouwknoop gevel-raam (€/m)	Oplossen bouwknoop gevel-dak (€/m)	Oplossen bouwknoop gevel-vloer (€)
Referentie	B1	B	aantal niet EPB conforme bouwknopen	-	-	-
B + meeste bouwknopen EPB conform	B2	B	meeste bouwknopen EPB conform	2.5	-	-
B + alle bouwknopen EPB conform	B3	B	alle bouwknopen EPB conform	2.5	150	10,760

Tabel 50: Overzicht varianten bouwknopen nieuw kantoorgebouw en nieuw schoolgebouw

BOUWKNOPEN Nieuw Kantoorgebouw / Schoolgebouw	Simulatiecode	Methode	Beschrijving	Uitwerken bouwknoop gevel-raam (€)	Uitwerken bouwknoop gevel-dak (€)	Uitwerken bouwknoop gevel-vloer (€)
Referentie	B1	C	methode C	-	-	-

B + aantal niet EPB conforme bouwknopen	B2	B	aantal niet EPB conforme bouwknopen	-	-	-
B + meeste bouwknopen EPB conform	B3	B	meeste bouwknopen EPB conform	1,000	-	-
B + alle bouwknopen EPB conform	B4	B	alle bouwknopen EPB conform	1,000	500	500

Samenvattende tabellen luchtdichtheid

Tabel 51: Overzicht varianten luchtdichtheid bestaand kantoorgebouw

LUCHTDICHTHEID Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	v50 ($m^3/h.m^2$)	Pressurisatie-tests (€)	Prijs extra inspanningen luchtdichtheid (€)
Referentie +	LD1	12	-	
• Renovatie ramen		9.34	4,716	
• Renovatie dak en ramen		8.97	4,716	
• Renovatie gevel en ramen		8.97	4,716	-
• Renovatie gevel, dak en ramen		8.58	4,716	
• Renovatie vloer, gevel, dak en ramen		8.21	4,716	
v50 = 6 $m^3/h.m^2$	LD2	6	4,716	5,403
v50 = 3 $m^3/h.m^2$	LD3	3	4,716	19,413
v50 = 1.5 $m^3/h.m^2$	LD4	1.5	4,716	38,825
v50 = 1 $m^3/h.m^2$	LD5	1	4,716	56,038

Tabel 52: Overzicht varianten luchtdichtheid bestaand schoolgebouw

LUCHTDICHTHEID Bestaand Schoolgebouw	Simulatiecode	v50 ($m^3/h.m^2$)	Pressurisatie-tests (€)	Prijs extra inspanningen luchtdichtheid (€)
Referentie +	LD1	12	-	
• Renovatie ramen		9.34	4,090	
• Renovatie dak en ramen		8.97	4,090	
• Renovatie gevel en ramen		8.97	4,090	-
• Renovatie gevel, dak en ramen		8.58	4,090	
• Renovatie vloer, gevel, dak en ramen		8.21	4,090	

v50 = 6 m³/h.m²	LD2	6	4,090	2,703
v50 = 3 m³/h.m²	LD3	3	4,090	16,854
v50 = 1.5 m³/h.m²	LD4	1.5	4,090	33,708
v50 = 1 m³/h.m²	LD5	1	4,090	56,603

Tabel 53: Overzicht varianten luchtdichtheid nieuw kantoorgebouw

LUCHTDICHTHEID Nieuw Kantoorgebouw	Simulatiecode	v50 (m³/h.m²)	Pressurisatie-tests (€)	Prijs extra inspanningen luchtdichtheid (€)
Referentie	LD1	12	-	-
v50 = 6 m³/h.m²	LD2	6	4,250	4,295
v50 = 3 m³/h.m²	LD3	3	4,250	14,336
v50 = 1.5 m³/h.m²	LD4	1.5	4,250	28,672

Tabel 54: Overzicht varianten luchtdichtheid nieuw schoolgebouw

LUCHTDICHTHEID Nieuw Schoolgebouwgebouw	Simulatiecode	v50 (m³/h.m²)	Pressurisatie-tests (€)	Prijs extra inspanningen luchtdichtheid (€)
Referentie	LD1	12	-	-
v50 = 6 m³/h.m²	LD2	6	1,571	978
v50 = 3 m³/h.m²	LD3	3	1,571	4,563
v50 = 1.5 m³/h.m²	LD4	1.5	1,571	9,126

BIJLAGE C INSTALLATIETECHNISCHE MAATREGELEN

Deze bijlage geeft toelichting bij de gebruikte kostprijzen voor de installatietechnische maatregelen, beschouwd in de studie. De kostprijzen zijn gegeven excl. BTW.

In wat volgt, wordt meer toelichting gegeven over de kost van het toestel zelf inclusief plaatsing. De kostprijs per kW van toestellen met kleine vermogens zal groter zijn dan bij grote vermogens. Hierom wordt er per type toestel gewerkt met een curve die de kostprijs uitdrukt in functie van het vermogen. Het is belangrijk om rekening te houden met het bereik van deze curve. Voor iedere beschouwde techniek wordt daarom het bereik vermeld.

Overzicht levensduur en onderhoudskost

De levensduur en onderhoudskost van toepassing bij de verschillende installatietechnische maatregelen wordt opgelijst in Tabel 55.

Tabel 55: Overzicht levensduur en onderhoudskost voor de installatietechnische maatregelen

Installatietechnische maatregel	Levensduur	Onderhoudskost (% van investeringskost)	Bron / Opmerking
Gascondensatieketel	20	1.50%	EN15459:2007
Biomassaketel	20	1.50%	EN15459:2007
Warmtepomp grond-water	25	2.00%	EN15459:2007
Boorgat thermische opslag	90	-	Inbegrepen in onderhoudskost WP
Warmtepomp water-water	25	2.00%	EN15459:2007
Grondwater thermische opslag	90	-	Inbegrepen in onderhoudskost WP
Warmtepomp lucht-water	15	3.00%	EN15459:2007
Warmtepomp lucht-lucht	10	3.00%	EN15459:2007
Warmtekrachtkoppeling	15	7.50%	3E
Warmtenet	90	-	
Compressiekoelmachine	15	4.00%	EN15459:2007
Warmtepomp in zomerbedrijf	25	2.00%	idem warmtepomp bodem-water
Warmtewisselaar warmtepomp bodem-water / water-water	25	2.00%	idem warmtepomp bodem-water
Regelapparatuur verwarming / koeling	17	3.00%	EN15459:2007
Radiatoren	35	1.50%	EN15459:2007
Vloerverwarming	50	2.00%	EN15459:2007

Ventilo-convectoren	15	4.00%	EN15459:2007
VRV (bij warmtepomp lucht-lucht)	15	4.00%	EN15459:2007
Koelplafond	30	2.00%	EN15459:2007
Ventilatieverwarming	17	3.00%	EN15459:2007
Verdeelsysteem warmte / koude	35	-	Inbegrepen in onderhoudskost emissiesysteem
Verlichting	12	5.00%	
Ventilatie	15	4.00%	
Fotovoltaïsche energie	25	1.55%	3E

Samenvattende tabellen verwarming en koeling

Tabel 56: Overzicht varianten verwarming en koeling bestaand kantoorgebouw

Simulatiecode	Varianten verwarming en koeling
S1	referentie
S2	gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S3	gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S4	gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S5	WP l-w COP 3.1 met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S6	WP l-w COP 3.1 met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S7	WP l-w COP 3.1 met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S8	WP l-w COP 3.8 met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S9	WP l-w COP 3.8 met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S10	WP l-w COP 3.8 met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S11	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S12	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S13	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S14	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S15	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S16	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S17	WP b-w COP 4.3 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

S18	WP b-w COP 4.3 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S19	WP b-w COP 4.3 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S20	WP b-w COP 4.8 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S21	WP b-w COP 4.8 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S22	WP b-w COP 4.8 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S23	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S24	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S25	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S26	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S27	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S28	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S29	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S30	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S31	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S32	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S33	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S34	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S35	WP w-w COP 5.1 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S36	WP w-w COP 5.1 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S37	WP w-w COP 5.1 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

S38	WP w-w COP 5.6 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S39	WP w-w COP 5.6 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S40	WP w-w COP 5.6 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S41	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S42	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S43	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S44	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S45	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S46	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S47	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S48	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S49	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S50	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S51	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S52	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S53	WP l-l COP 2.9 + CKM met VRV + regeling per ruimte
S54	WKK en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S55	WKK en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S56	WKK en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S57	pelletketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

S58	pelletketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S59	pelletketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S60	pelletketel en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S61	pelletketel en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S62	pelletketel en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S63	warmtenet met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S64	warmtenet met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S65	warmtenet met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

Tabel 57: Overzicht varianten verwarming bestaand schoolgebouw

Simulatiecode	Varianten verwarming
S1	referentie (stookolie η = 0.82 en CKM EER = 2.0)
S2	gascondensatieketel met bestaande rad + regeling per ruimte
S3	gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S4	gascondensatieketel met VV
S5	gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S6	gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S7	WP l-w COP 3.1 met LT-rad + regeling per ruimte
S8	WP l-w COP 3.1 met VV
S9	WP l-w COP 3.1 met VV + regeling per ruimte

S10	WP l-w COP 3.1 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S11	WP l-w COP 3.8 met LT-rad + regeling per ruimte
S12	WP l-w COP 3.8 met VV
S13	WP l-w COP 3.8 met VV + regeling per ruimte
S14	WP l-w COP 3.8 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S15	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S16	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met VV
S17	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S18	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S19	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S20	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met VV
S21	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S22	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S23	WP b-w COP 4.3 met LT-rad + regeling per ruimte
S24	WP b-w COP 4.3 met VV
S25	WP b-w COP 4.3 met VV + regeling per ruimte
S26	WP b-w COP 4.3 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S27	WP b-w COP 4.8 met LT-rad + regeling per ruimte
S28	WP b-w COP 4.8 met VV
S29	WP b-w COP 4.8 met VV + regeling per ruimte
S30	WP b-w COP 4.8 met ventilatielucht + regeling per ruimte

S31	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S32	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV
S33	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S34	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S35	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S36	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV
S37	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S38	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S39	WP w-w COP 5.1 met LT-rad + regeling per ruimte
S40	WP w-w COP 5.1 met VV
S41	WP w-w COP 5.1 met VV + regeling per ruimte
S42	WP w-w COP 5.1 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S43	WP w-w COP 5.6 met LT-rad + regeling per ruimte
S44	WP w-w COP 5.6 met VV
S45	WP w-w COP 5.6 met VV + regeling per ruimte
S46	WP w-w COP 5.6 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S47	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S48	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV
S49	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S50	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S51	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte

S52	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV
S53	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S54	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S55	WP l-l COP 2.9 + CKM met + regeling per ruimte
S56	WKK en gascondensatieketel met bestaande rad + regeling per ruimte
S57	WKK en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S58	WKK en gascondensatieketel met VV
S59	WKK en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S60	WKK en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S61	pelletketel met bestaande rad + regeling per ruimte
S62	pelletketel met LT-rad + regeling per ruimte
S63	pelletketel met VV
S64	pelletketel met VV + regeling per ruimte
S65	pelletketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S66	pelletketel en gascondensatieketel met bestaande rad + regeling per ruimte
S67	pelletketel en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S68	pelletketel en gascondensatieketel met VV
S69	pelletketel en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S70	pelletketel en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S71	warmtenet met bestaande rad + regeling per ruimte
S72	warmtenet met LT-rad + regeling per ruimte

S73	warmtenet met VV
S74	warmtenet met VV + regeling per ruimte
S75	warmtenet met ventilatielucht + regeling per ruimte

Tabel 58: Overzicht varianten verwarming en koeling nieuw kantoorgebouw

Simulatiecode	Varianten verwarming en koeling
S1	gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S2	gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S3	gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S4	WP l-w COP 3.1 met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S5	WP l-w COP 3.1 met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S6	WP l-w COP 3.1 met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S7	WP l-w COP 3.8 met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S8	WP l-w COP 3.8 met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S9	WP l-w COP 3.8 met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S10	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S11	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S12	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S13	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S14	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

S15	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S16	WP b-w COP 4.3 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S17	WP b-w COP 4.3 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S18	WP b-w COP 4.3 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S19	WP b-w COP 4.8 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S20	WP b-w COP 4.8 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S21	WP b-w COP 4.8 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S22	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S23	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S24	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S25	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S26	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S27	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S28	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S29	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S30	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S31	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S32	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S33	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S34	WP w-w COP 5.1 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S35	WP w-w COP 5.1 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

S36	WP w-w COP 5.1 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S37	WP w-w COP 5.6 met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S38	WP w-w COP 5.6 met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S39	WP w-w COP 5.6 met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S40	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S41	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S42	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S43	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S44	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S45	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag en CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S46	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S47	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S48	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S49	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met LT-rad + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S50	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S51	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met ventilatielucht + Koudeopslag met koelpafonds + regeling per ruimte
S52	WP l-l COP 2.9 + CKM met VRV + regeling per ruimte
S53	WKK en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S54	WKK en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S55	WKK en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

S56	pelletketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S57	pelletketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S58	pelletketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S59	pelletketel en gascondensatieketel met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S60	pelletketel en gascondensatieketel met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S61	pelletketel en gascondensatieketel met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S62	warmtenet met LT-rad + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S63	warmtenet met VV + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte
S64	warmtenet met ventilatielucht + CKM met koelpafonds + regeling per ruimte

Tabel 59: Overzicht varianten verwarming nieuw schoolgebouw

Simulatiecode	Varianten verwarming
S1	gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S2	gascondensatieketel met VV
S3	gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S4	gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S5	WP l-w COP 3.1 met LT-rad + regeling per ruimte
S6	WP l-w COP 3.1 met VV
S7	WP l-w COP 3.1 met VV + regeling per ruimte
S8	WP l-w COP 3.1 met ventilatielucht + regeling per ruimte

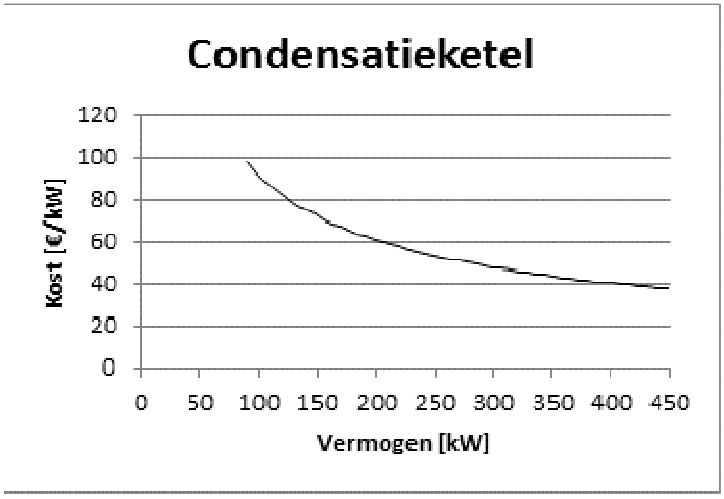
S9	WP l-w COP 3.8 met LT-rad + regeling per ruimte
S10	WP l-w COP 3.8 met VV
S11	WP l-w COP 3.8 met VV + regeling per ruimte
S12	WP l-w COP 3.8 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S13	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S14	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met VV
S15	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S16	WP l-w COP 3.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S17	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S18	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met VV
S19	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S20	WP l-w COP 3.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S21	WP b-w COP 4.3 met LT-rad + regeling per ruimte
S22	WP b-w COP 4.3 met VV
S23	WP b-w COP 4.3 met VV + regeling per ruimte
S24	WP b-w COP 4.3 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S25	WP b-w COP 4.8 met LT-rad + regeling per ruimte
S26	WP b-w COP 4.8 met VV
S27	WP b-w COP 4.8 met VV + regeling per ruimte
S28	WP b-w COP 4.8 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S29	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte

S30	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV
S31	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S32	WP b-w COP 4.3 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S33	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S34	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV
S35	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S36	WP b-w COP 4.8 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S37	WP w-w COP 5.1 met LT-rad + regeling per ruimte
S38	WP w-w COP 5.1 met VV
S39	WP w-w COP 5.1 met VV + regeling per ruimte
S40	WP w-w COP 5.1 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S41	WP w-w COP 5.6 met LT-rad + regeling per ruimte
S42	WP w-w COP 5.6 met VV
S43	WP w-w COP 5.6 met VV + regeling per ruimte
S44	WP w-w COP 5.6 met ventilatielucht + regeling per ruimte
S45	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S46	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV
S47	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S48	WP w-w COP 5.1 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S49	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S50	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV

S51	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S52	WP w-w COP 5.6 en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S53	WP l-l COP 2.9 + regeling per ruimte
S54	WKK en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S55	WKK en gascondensatieketel met VV
S56	WKK en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S57	WKK en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S58	pelletketel met LT-rad + regeling per ruimte
S59	pelletketel met VV
S60	pelletketel met VV + regeling per ruimte
S61	pelletketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S62	pelletketel en gascondensatieketel met LT-rad + regeling per ruimte
S63	pelletketel en gascondensatieketel met VV
S64	pelletketel en gascondensatieketel met VV + regeling per ruimte
S65	pelletketel en gascondensatieketel met ventilatielucht + regeling per ruimte
S66	warmtenet met LT-rad + regeling per ruimte
S67	warmtenet met VV
S68	warmtenet met VV + regeling per ruimte
S69	warmtenet met ventilatielucht + regeling per ruimte

Condensatieketel

[90 kW; 450 kW]



[> 450 kW]

37,5 €/kW

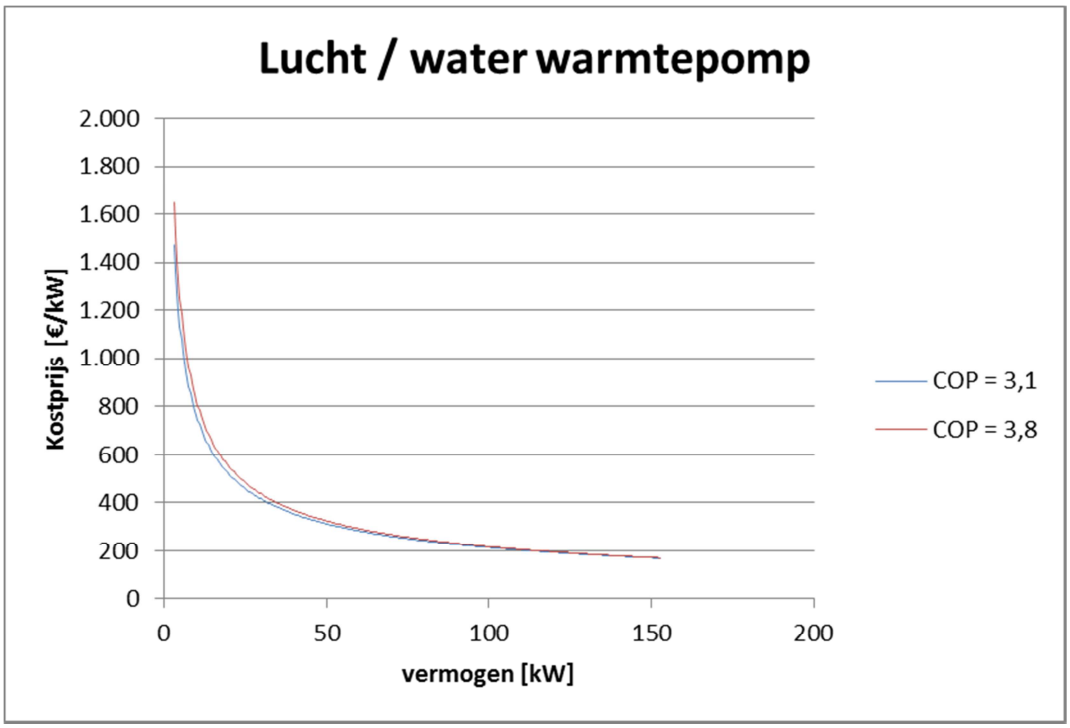
Warmtepomp lucht/water

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen warmtepompen met COP van 3,1 en 3,8. Deze COP is bepaald volgens EN14511:

- Brontemperatuur: 2°C
- Afgiftetemperatuur: 35°C

Merk op dat er nauwelijks een prijsverschil merkbaar is. Hierdoor zal in de resultaten blijken dat een warmtepomp met een COP van 3,8 zowel economisch als ecologisch interessanter is dan een warmtepomp met een COP van 3,1.

[> 10 kW]

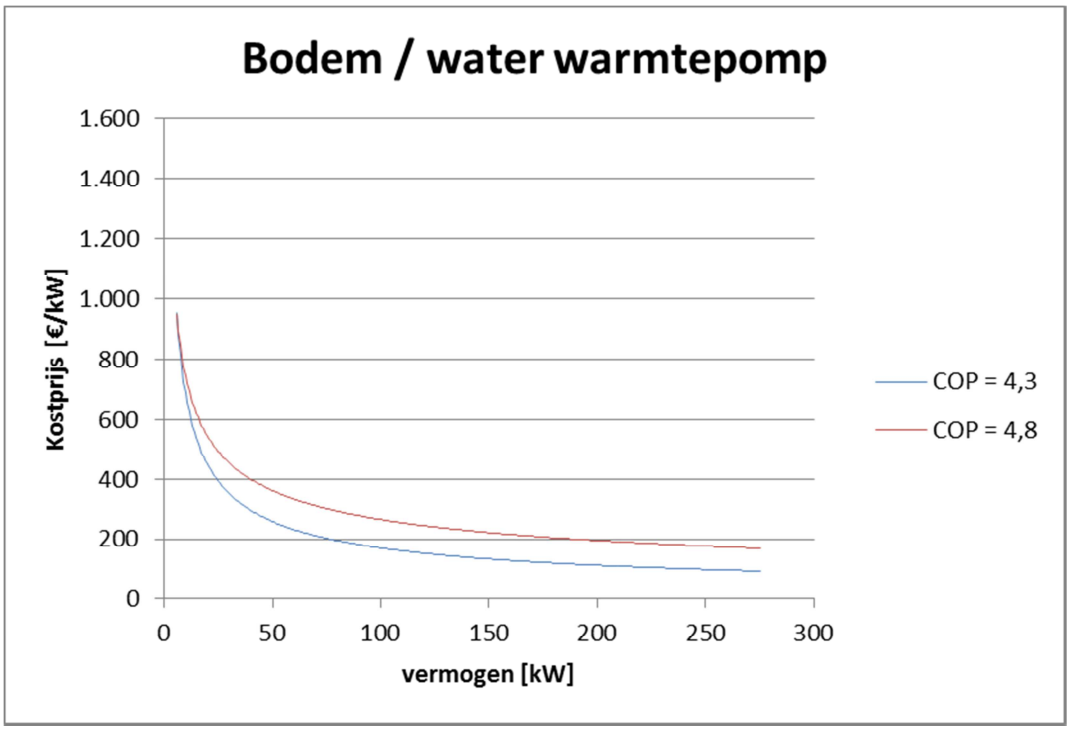


Warmtepomp bodem/water

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen warmtepompen met COP van 4,3 en 4,8. Deze COP is bepaald volgens EN14511:

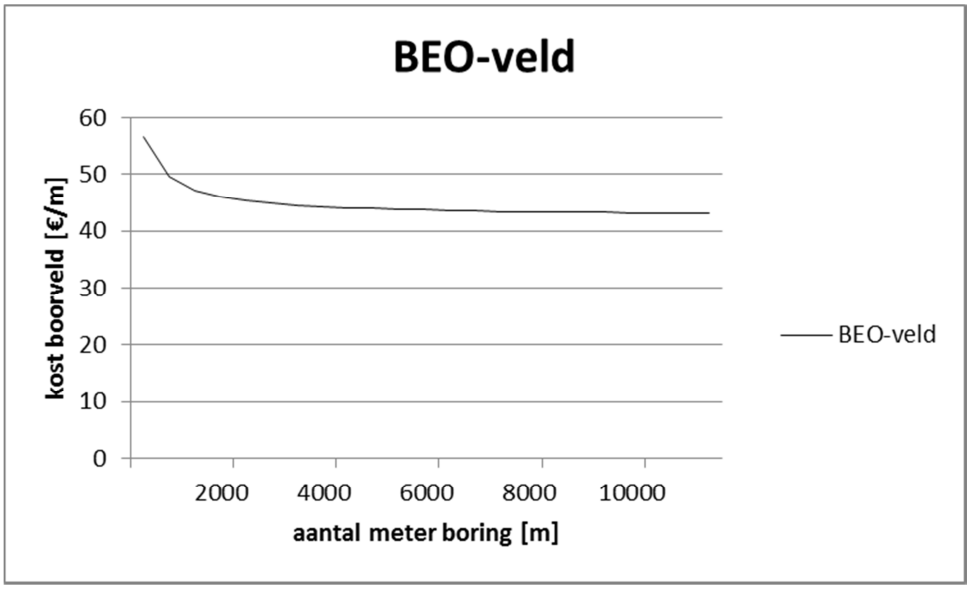
- Brontemperatuur: 0°C
- Afgiftetemperatuur: 35°C

[> 10 kW]



BEO-veld

[> 100 m]

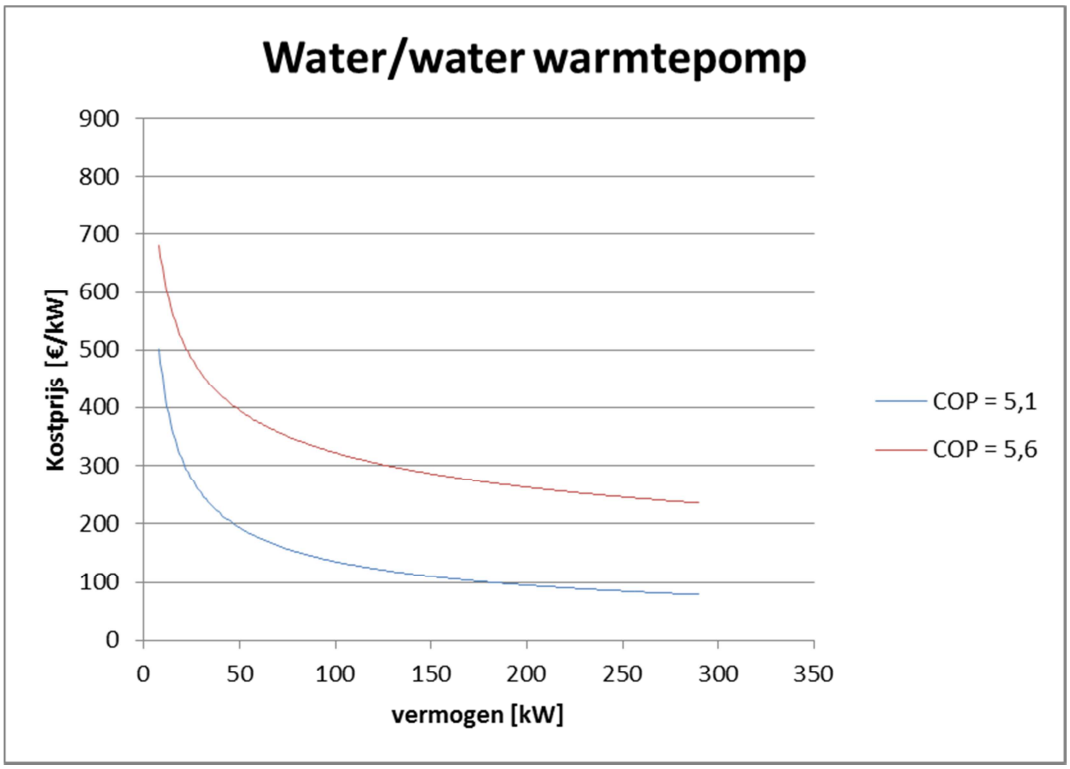


Warmtepomp water/water

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen warmtepompen met COP van 5,1 en 5,6. Deze COP is bepaald volgens EN14511:

- Brontemperatuur: 10°C
- Afgiftetemperatuur: 35°C

[> 10 kW]



Bronpaar

Er is gerekend met bronparen die een diepte hebben van circa 60 m en een debiet van 30 m³/h.

Zowel verwarmen als koelen: 130.000 €/bronpaar

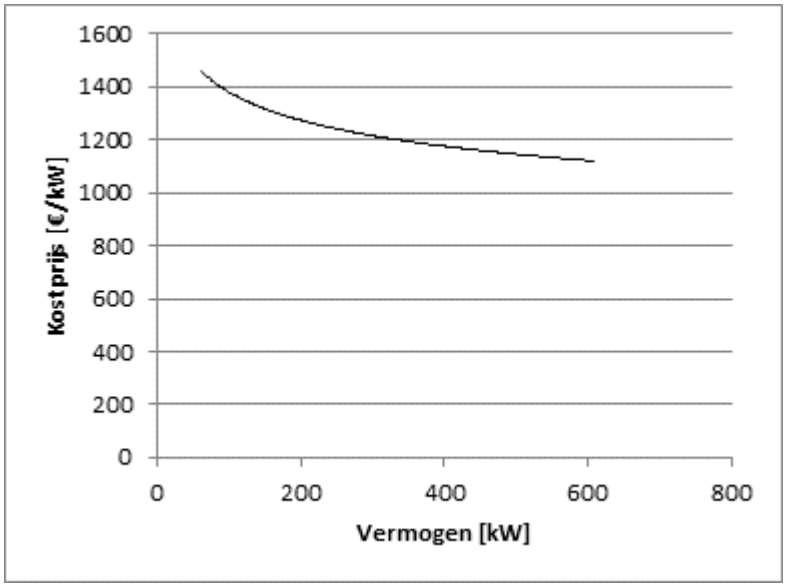
Enkel koelen: 123.000 €/bronpaar

Warmtepomp lucht/lucht

Er wordt een warmtepomp beschouwd met COP van 2,9. Deze COP is bepaald volgens EN14511:

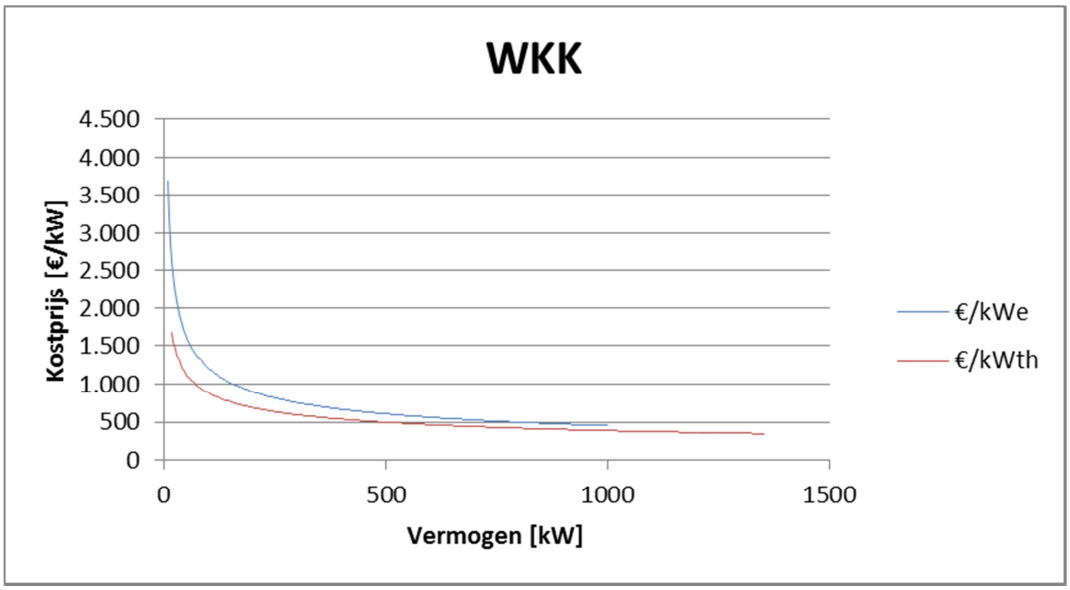
- Brontemperatuur: 2°C
- Afgiftetemperatuur: 20°C

[> 60 kW]



Warmte-kracht-koppeling

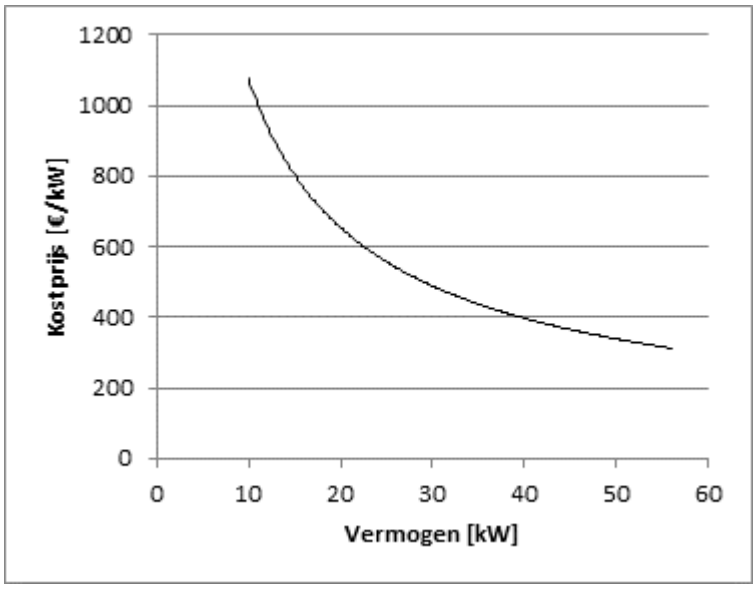
[> 15 kWth]



Houtpelletketel

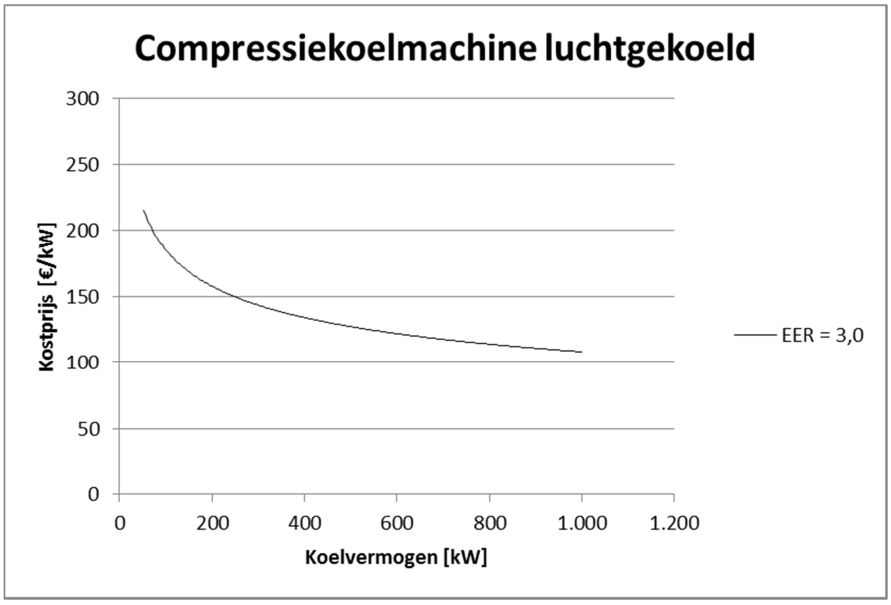
[> 10 kW]

Maximum(grafiek; 297 €/kW)



Compressiekoelmachine

[> 50 kW]



LT-radiatoren (50-30°C)

255 €/kW

Vloerverwarming

45 €/m²

Koelplafond

105 €/m²

Verlichting

Tabel 60: Overzicht varianten verlichting bestaand kantoorgebouw

VERLICHTING Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	Geen automatische lichtsturing	Bewegingsdetectie in lokalen niet bestemd voor menselijke bezetting	Afwezigheidssturing in lokalen bestemd voor menselijke bezetting	Daglichtsturing in lokalen met toetreding daglicht	Kostprijs (€/m²)
3.5 W/m².100 lux (referentie)	L1					-
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L2 L6	x				42.2
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L3 L7		x			45.5
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L4 L8		x	x		51.0
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L5 L9		x	x	x	64.8

Tabel 61: Overzicht varianten verlichting bestaand schoolgebouw

VERLICHTING Bestaand Schoolgebouw	Simulatiecode	Geen automatische lichtsturing	Bewegingsdetectie in lokalen niet bestemd voor menselijke bezetting	Afwezigheidssturing in lokalen bestemd voor menselijke bezetting	Daglichtsturing in lokalen met toetreding daglicht	Kostprijs (€/m²)

3.5 W/m².100 lux (referentie)	L1					-
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L2 L6	x				39.6
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L3 L7		x			42.4
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L4 L8		x	x		47.5
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L5 L9		x	x	x	60.2

Tabel 62: Overzicht varianten verlichting nieuw kantoorgebouw

VERLICHTING Nieuw Kantoorgebouw	Simulatiecode	Geen automatische lichtsturing	Bewegingsdetectie in lokalen niet bestemd voor menselijke bezetting	Afwezigheidssturing in lokalen bestemd voor menselijke bezetting	Daglichtsturing in lokalen met toetreding daglicht	Kostprijs (€/m²)
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L1 L5	x				35.2
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L2 L6		x			38.5
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L3 L7		x	x		44.0
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L4 L8		x	x	x	57.8

Tabel 63: Overzicht varianten verlichting nieuw schoolgebouw

VERLICHTING Nieuw Schoolgebouw	Simulatiecode	Geen automatische lichtsturing	Bewegingsdetectie in lokalen niet bestemd voor menselijke bezetting	Afwezigheidssturing in lokalen bestemd voor menselijke bezetting	Daglichtsturing in lokalen met toetreding daglicht	Kostprijs (€/m²)

2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L1 L5	x				33.0
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L2 L6		x			35.8
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L3 L7		x	x		40.9
2.5 W/m².100 lux 1.5 W/m².100 lux	L4 L8		x	x	x	61.7

Ventilatie

Tabel 64: Overzicht varianten ventilatie bestaand kantoorgebouw

VENTILATIE Bestaand Kantoorgebouw	Simulatiecode	Warmterecuperatie	By-pass	Vraagsturing	Frequentie gestuurde ventilator	Continue meting	Kostprijs (€)
Systeem C	V1	nee	nee	nee	nee	nee	-
Systeem C	V2	nee	nee	nee	nee	nee	68,810
Systeem C	V3	nee	nee	ja	ja	nee	71,310
Systeem D	V4	nee	nee	nee	nee	nee	148,390
Systeem D	V5	nee	nee	ja	ja	nee	153,390
Systeem D	V6	dubbele platen	nee	nee	nee	nee	158,390
Systeem D	V7	dubbele platen	ja	nee	nee	nee	159,140
Systeem D	V8	dubbele platen	nee	nee	ja	ja	163,390
Systeem D	V9	dubbele platen	ja	nee	ja	ja	164,140
Systeem D	V10	warmtewiel	ja	nee	nee	nee	167,706
Systeem D	V11	warmtewiel	ja	nee	ja	ja	172,706

Tabel 65: Overzicht varianten ventilatie bestaand schoolgebouw

VENTILATIE Bestaand Schoolgebouw	Simulatiecode	Warmterecuperatie	By-pass	Vraagsturing	Frequentie gestuurde ventilator	Continue meting	Kostprijs (€)
Systeem C	V1	nee	nee	nee	nee	nee	-
Systeem C	V2	nee	nee	nee	nee	nee	74,338
Systeem C	V3	nee	nee	ja	ja	nee	76,838

Systeem D	V4	nee	nee	nee	nee	nee	157,178
Systeem D	V5	nee	nee	ja	ja	nee	162,178
Systeem D	V6	dubbele platen	nee	nee	nee	nee	167,178
Systeem D	V7	dubbele platen	ja	nee	nee	nee	167,928
Systeem D	V8	dubbele platen	nee	nee	ja	ja	172,178
Systeem D	V9	dubbele platen	ja	nee	ja	ja	172,928
Systeem D	V10	warmtewiel	ja	nee	nee	nee	175,578
Systeem D	V11	warmtewiel	ja	nee	ja	ja	180,578

Tabel 66: Overzicht varianten ventilatie nieuw kantoorgebouw

VENTILATIE Nieuw Kantoorgebouw	Simulatiecode	Warmterecuperatie	By-pass	Vraagsturing	Frequentie gestuurde ventilator	Continue meting	Kostprijs (€)
Systeem C	V1	nee	nee	nee	nee	nee	33,896
Systeem C	V2	nee	nee	ja	ja	nee	36,396
Systeem D	V3	nee	nee	nee	nee	nee	75,300
Systeem D	V4	nee	nee	ja	ja	nee	80,300
Systeem D	V5	dubbele platen	nee	nee	nee	nee	85,300
Systeem D	V6	dubbele platen	ja	nee	nee	nee	86,050
Systeem D	V7	dubbele platen	nee	nee	ja	ja	90,300
Systeem D	V8	dubbele platen	ja	nee	ja	ja	91,050
Systeem D	V9	warmtewiel	ja	nee	nee	nee	94,073
Systeem D	V10	warmtewiel	ja	nee	ja	ja	99,073

Tabel 67: Overzicht varianten ventilatie nieuw schoolgebouw

VENTILATIE Nieuw Schoolgebouw	Simulatiecode	Warmterecuperatie	By-pass	Vraagsturing	Frequentie gestuurde ventilator	Continue meting	Kostprijs (€)
Systeem C	V1	nee	nee	nee	nee	nee	19,225
Systeem C	V2	nee	nee	ja	ja	nee	20,225
Systeem D	V3	nee	nee	nee	nee	nee	42,375
Systeem D	V4	nee	nee	ja	ja	nee	44,625
Systeem D	V5	dubbele platen	nee	nee	nee	nee	51,355
Systeem D	V6	dubbele platen	ja	nee	nee	nee	52,105
Systeem D	V7	dubbele platen	nee	nee	ja	ja	53,855
Systeem D	V8	dubbele platen	ja	nee	ja	ja	54,605
Systeem D	V9	warmtewiel	ja	nee	nee	nee	52,105
Systeem D	V10	warmtewiel	ja	nee	ja	ja	54,605

Fotovoltaïsche energie

Tabel 68: Overzicht varianten fotovoltaïsche energie voor alle referentiegebouwen behalve het nieuw schoolgebouw

FOTOVOLTAÏSCHE ENERGIE Alle referentiegebouwen	Simulatiecode	Dimensionering
Zonder fotovoltaïsche energie	PV1	-
Met fotovoltaïsche energie	PV3	100% van het beschikbaar dakoppervlak

Tabel 69: Overzicht varianten fotovoltaïsche energie voor het nieuw schoolgebouw

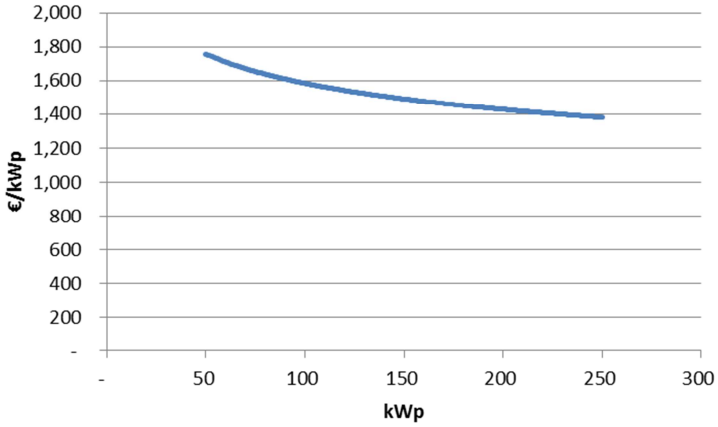
FOTOVOLTAÏSCHE ENERGIE Nieuw Schoolgebouw	Simulatiecode	Dimensionering
Zonder fotovoltaïsche energie	PV1	-
Met fotovoltaïsche energie	PV3	10 kWp

[<= 10 kW]

	Waarde	Eenheid	Opmerkingen
Investeringskost	2000	€/kWp	
Onderhoudskost	1.55	%	• Percentage van de totale investeringskost
Levensduur	25	jaar	

[> 50 kW]

	Waarde	Eenheid	Opmerkingen
Investeringskost	Zie figuur	€/kWp	Inclusief eenmalige kosten (netstudie, stabiliteitsstudie,...)
Onderhoudskost	1.55	%	• Percentage van de totale investeringskost • Inclusief monitoring en eventuele vervanging van componenten
Levensduur	25	jaar	


2,000
1,800
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
-
€/kWp
-
50
100
150
200
250
300
kWp

BIJLAGE D RESULTATENTABELLEN

Bestaand kantoorgebouw

- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 20 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 4%

Pareto ID	Financiële Parameters		Energetische Parameters					
	TAK (€/m²)	Totale Investerings-kost (€/m²)	Primair Verbruik (kWh/m².jaar)	E-peil (-)	K-peil (-)	Netto Energiebehoefte (kWh/m².jaar)		CO2 Productie (ton CO2/m²)
						Verwarming	Koeling	
VL1 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S1 L1 V1 PV1	338	-	423	203	84	135	54	1.42
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L6 V2 PV1	510	399	149	72	74	126	44	0.40
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L6 V3 PV1	511	400	148	71	74	126	44	0.40
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L7 V3 PV1	517	406	147	71	74	126	44	0.40
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S50 L6 V2 PV1	519	411	142	68	74	126	44	0.38
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S50 L6 V3 PV1	519	412	141	68	74	126	44	0.38
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L8 V2 PV1	521	416	139	67	74	127	41	0.38
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L6 V2 PV3	521	445	89	43	74	126	44	0.24
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L6 V3 PV3	521	446	88	43	74	126	44	0.24
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L7 V3 PV3	528	452	88	43	74	126	44	0.24

VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S50 L6 V2 PV3	529	457	82	40	74	126	44	0.22
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S50 L6 V3 PV3	530	458	81	39	74	126	44	0.22
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L8 V2 PV3	531	462	79	38	74	127	41	0.22
VL1 M1 D3 R1 Z1 B1 LD1 S47 L8 V3 PV3	531	463	78	38	74	127	41	0.21
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L6 V2 PV3	533	480	70	34	58	99	43	0.19
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L6 V3 PV3	534	481	69	34	58	99	43	0.19
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L7 V3 PV3	540	487	69	34	58	99	43	0.19
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S50 L6 V2 PV3	543	491	65	32	58	99	43	0.18
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S50 L6 V3 PV3	543	492	64	31	58	99	43	0.18
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L8 V2 PV3	543	497	60	29	58	100	39	0.16
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L8 V3 PV3	544	498	59	29	58	100	39	0.16
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S50 L8 V2 PV3	553	509	55	27	58	100	39	0.15
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S50 L8 V3 PV3	553	510	54	26	58	100	39	0.15
VL1 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1 S47 L8 V3 PV3	562	527	53	26	52	93	34	0.14
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L9 V2 PV3	566	525	52	26	58	101	37	0.14
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L9 V3 PV3	566	526	51	25	58	101	37	0.14
VL1 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1 S50 L8 V2 PV3	571	537	49	24	52	93	34	0.14
VL1 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1 S50 L8 V3 PV3	571	538	48	24	52	93	34	0.13
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S50 L9 V2 PV3	575	536	47	23	58	101	37	0.13
VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S50 L9 V3 PV3	576	537	46	23	58	101	37	0.13
VL1 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1 S47 L9 V3 PV3	585	554	45	22	52	94	32	0.12

VL1 M1 D1 R2 Z1 B2 LD1 S47 L9 V11 PV3	593	563	45	22	58	85	39	0.12
VL1 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1 S50 L9 V2 PV3	593	564	41	20	52	94	32	0.11
VL1 M1 D1 R3 Z1 B2 LD1 S50 L9 V3 PV3	594	565	40	20	52	94	32	0.11
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S47 L6 V2 PV3	597	588	40	19	29	49	52	0.11
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S47 L6 V3 PV3	597	589	39	19	29	49	52	0.10
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S35 L6 V3 PV3	597	590	38	19	29	49	52	0.10
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S35 L7 V3 PV3	604	597	38	19	29	49	52	0.10
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S50 L6 V2 PV3	606	598	37	18	29	49	52	0.10
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S50 L6 V3 PV3	606	599	36	18	29	49	52	0.10
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S47 L8 V2 PV3	606	606	29	14	29	50	48	0.08
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S47 L8 V3 PV3	607	607	28	14	29	50	48	0.08
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S35 L8 V3 PV3	607	608	28	14	29	50	48	0.07
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S50 L8 V2 PV3	616	616	26	13	29	50	48	0.07
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S50 L8 V3 PV3	616	617	25	13	29	50	48	0.07
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S38 L8 V3 PV3	620	621	25	12	29	50	48	0.07
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S36 L8 V9 PV3	626	637	24	12	29	36	50	0.06
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S48 L8 V9 PV3	625	637	24	12	29	36	50	0.06
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S36 L8 V11 PV3	628	641	23	11	29	34	50	0.06
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S48 L8 V11 PV3	628	641	23	11	29	34	50	0.06
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S47 L9 V2 PV3	629	633	21	10	29	51	45	0.06
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S47 L9 V3 PV3	629	635	20	10	29	51	45	0.05

VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S35 L9 V3 PV3	629	635	19	10	29	51	45	0.05
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S50 L9 V2 PV3	638	643	18	9	29	51	45	0.05
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S50 L9 V3 PV3	638	645	17	9	29	51	45	0.05
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S38 L9 V3 PV3	642	648	16	8	29	51	45	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S36 L9 V9 PV3	648	665	16	8	29	37	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S48 L9 V9 PV3	648	665	16	8	29	37	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S36 L9 V11 PV3	651	669	15	8	29	35	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S48 L9 V11 PV3	650	668	15	8	29	35	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S35 L9 V11 PV3	657	672	14	7	29	35	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S47 L9 V11 PV3	656	672	14	7	29	35	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S39 L9 V9 PV3	659	676	14	7	29	37	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S51 L9 V9 PV3	657	674	14	7	29	37	47	0.04
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S39 L9 V11 PV3	661	679	13	6	29	35	47	0.03
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S51 L9 V11 PV3	659	678	13	6	29	35	47	0.03
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S38 L9 V11 PV3	667	683	12	6	29	35	47	0.03
VL1 M4 D2 R3 Z1 B2 LD4 S50 L9 V11 PV3	665	681	12	6	29	35	47	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S36 L9 V9 PV3	674	704	11	6	26	33	39	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S48 L9 V9 PV3	673	703	11	6	26	33	39	0.03
VL1 M3 D2 R6 Z1 B2 LD4 S51 L9 V11 PV3	675	698	11	6	30	37	36	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S36 L9 V11 PV3	676	707	10	5	26	31	39	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S48 L9 V11 PV3	676	707	10	5	26	31	39	0.03

VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S35 L9 V11 PV3	681	710	10	5	26	31	39	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S47 L9 V11 PV3	681	710	10	5	26	31	39	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S39 L9 V9 PV3	684	714	9	5	26	33	39	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S51 L9 V9 PV3	682	712	9	5	26	33	39	0.03
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S39 L9 V11 PV3	686	717	8	4	26	31	39	0.02
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S51 L9 V11 PV3	684	716	8	4	26	31	39	0.02
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S38 L9 V11 PV3	691	720	8	4	26	31	39	0.02
VL2 M4 D2 R6 Z1 B3 LD4 S50 L9 V11 PV3	689	718	8	4	26	31	39	0.02
VL2 M4 D3 R3 Z6 B3 LD4 S51 L9 V11 PV3	704	733	7	4	26	31	34	0.02
VL2 M4 D3 R3 Z6 B3 LD4 S39 L9 V11 PV3	706	735	7	4	26	31	34	0.02
VL2 M4 D3 R3 Z6 B3 LD4 S50 L9 V11 PV3	709	736	7	4	26	31	34	0.02
VL2 M4 D3 R3 Z6 B3 LD4 S38 L9 V11 PV3	711	738	7	4	26	31	34	0.02
VL3 M4 D2 R6 Z6 B3 LD4 S51 L9 V11 PV3	722	757	6	3	25	31	30	0.02
VL3 M4 D2 R6 Z6 B3 LD4 S39 L9 V11 PV3	725	760	6	3	25	31	30	0.01
VL3 M4 D2 R6 Z6 B3 LD4 S50 L9 V11 PV3	727	759	5	3	25	31	30	0.02
VL3 M4 D2 R6 Z6 B3 LD4 S38 L9 V11 PV3	729	762	5	3	25	31	30	0.01

Bestaand schoolgebouw

- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 30 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 3%

Pareto ID	Financiële Parameters		Energetische Parameters					
	TAK (€/m²)	Totale Investerings-kost (€/m²)	Primair Verbruik (kWh/m².jaar)	E-peil (-)	K-peil (-)	Netto Energiebehoefte (kWh/m².jaar)		CO2 Productie (ton CO2/m²)
						Verwarming	Koeling	
VL1 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S1 L1 V1 PV1	1,023	-	508	263	187	320	7	3.77
VL1 M1 D1 R3 Z1 B1 LD1 S68 L2 V2 PV1	981	386	436	226	163	283	5	1.29
VL1 M1 D1 R3 Z1 B1 LD1 S68 L6 V2 PV1	964	386	425	220	163	286	5	1.25
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S68 L2 V2 PV1	912	339	417	216	153	267	12	1.24
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S68 L6 V2 PV1	894	339	405	210	153	269	11	1.19
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S68 L2 V2 PV1	876	338	396	205	144	251	13	1.18
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S4 L2 V2 PV1	867	292	396	205	153	267	12	2.30
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S68 L6 V2 PV1	858	338	384	199	144	254	11	1.13
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S4 L6 V2 PV1	849	292	384	199	153	269	11	2.26
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S4 L2 V2 PV1	834	293	376	195	144	251	13	2.18
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S66 L3 V2 PV1	826	321	375	194	153	267	12	1.15

VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S66 L2 V3 PV1	816	312	374	194	153	267	12	1.14
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S66 L2 V2 PV1	813	311	373	194	153	267	12	1.14
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V2 PV1	784	264	365	190	153	267	12	2.11
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V3 PV1	784	265	363	189	153	267	12	2.10
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S66 L2 V3 PV1	782	311	354	184	144	251	13	1.09
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S66 L2 V2 PV1	780	309	354	184	144	251	13	1.08
VL1 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L6 V2 PV1	765	264	353	183	153	269	11	2.06
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L3 V2 PV1	760	275	345	179	144	251	13	1.99
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V3 PV1	750	266	344	179	144	251	13	1.98
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V2 PV1	748	265	344	178	144	251	13	1.98
VL6 M1 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L6 V2 PV1	731	265	333	173	144	254	11	1.95
VL1 M1 D6 R1 Z1 B1 LD1 S2 L6 V2 PV1	718	265	319	161	132	243	12	1.86
VL5 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S66 L2 V3 PV1	709	318	290	151	112	199	16	0.89
VL5 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S66 L2 V2 PV1	707	316	290	151	112	199	16	0.89
VL5 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V2 PV1	681	279	282	147	112	199	16	1.61
VL5 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V3 PV1	679	281	280	145	112	199	16	1.59
VL5 M6 D1 R1 Z1 B1 LD1 S2 L6 V2 PV1	660	279	269	139	112	201	14	1.55
VL6 M6 D1 R3 Z1 B2 LD1 S2 L2 V3 PV1	658	352	214	111	80	147	12	1.20
VL6 M6 D1 R3 Z1 B2 LD1 S2 L2 V2 PV1	654	350	214	111	80	147	12	1.19
VL1 M6 D6 R2 Z1 B2 LD1 S2 L2 V2 PV1	646	346	206	104	74	138	16	1.14
VL6 M6 D6 R1 Z1 B1 LD1 S4 L2 V2 PV1	639	333	205	104	57	115	26	1.13

VL6 M6 D1 R3 Z1 B2 LD1 S2 L6 V2 PV1	638	350	203	106	80	149	11	1.16
VL1 M6 D6 R2 Z1 B2 LD1 S2 L6 V2 PV1	629	346	196	99	74	142	14	1.11
VL6 M6 D6 R1 Z1 B1 LD1 S66 L3 V2 PV1	626	340	193	98	57	115	26	0.61
VL6 M6 D6 R1 Z1 B1 LD1 S66 L2 V2 PV1	615	330	192	97	57	115	26	0.61
VL6 M6 D6 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V2 PV1	572	304	186	94	57	115	26	1.01
VL6 M6 D6 R1 Z1 B1 LD1 S2 L2 V3 PV1	571	306	184	93	57	115	26	1.00
VL6 M6 D6 R1 Z1 B1 LD1 S2 L6 V2 PV1	550	304	171	87	57	117	23	0.96
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S2 L6 V2 PV1	550	393	97	49	25	52	24	0.50
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S2 L6 V3 PV1	550	395	96	49	25	52	24	0.50
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S2 L6 V2 PV3	554	533	22	11	25	52	24	0.20
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S2 L6 V3 PV3	554	534	21	11	25	52	24	0.20
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S2 L7 V3 PV3	564	545	21	11	25	52	24	0.20
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S71 L6 V3 PV3	558	540	21	11	25	52	24	0.20
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S71 L7 V3 PV3	568	550	21	11	25	52	24	0.20
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S2 L8 V2 PV3	571	561	16	9	25	53	22	0.18
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S2 L8 V3 PV3	571	563	15	8	25	53	22	0.18
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S11 L6 V2 PV3	573	586	(1)	(1)	25	52	24	(0.00)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S11 L6 V3 PV3	574	588	(2)	(2)	25	52	24	(0.01)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S11 L7 V3 PV3	584	598	(2)	(2)	25	52	24	(0.01)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L6 V2 PV3	590	626	(4)	(3)	25	52	24	(0.01)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L6 V2 PV3	590	627	(5)	(3)	25	52	24	(0.02)

VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L6 V3 PV3	591	627	(5)	(3)	25	52	24	(0.02)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L6 V3 PV3	591	629	(6)	(4)	25	52	24	(0.02)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S11 L8 V2 PV3	597	615	(7)	(4)	25	53	22	(0.03)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S11 L8 V3 PV3	597	616	(9)	(5)	25	53	22	(0.03)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L8 V2 PV3	612	654	(11)	(6)	25	53	22	(0.04)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L8 V3 PV3	612	656	(12)	(6)	25	53	22	(0.04)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L8 V3 PV3	612	658	(12)	(7)	25	53	22	(0.05)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L8 V2 PV3	628	682	(13)	(7)	25	53	22	(0.05)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L8 V3 PV3	628	684	(15)	(8)	25	53	22	(0.06)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S43 L8 V3 PV3	633	692	(15)	(8)	25	53	22	(0.06)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L9 V2 PV3	649	700	(15)	(8)	25	54	21	(0.06)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L9 V3 PV3	649	702	(16)	(9)	25	54	21	(0.06)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L9 V3 PV3	649	704	(17)	(9)	25	54	21	(0.07)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L9 V2 PV3	664	728	(18)	(10)	25	54	21	(0.07)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L9 V3 PV3	664	730	(19)	(10)	25	54	21	(0.07)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S43 L9 V3 PV3	670	738	(20)	(10)	25	54	21	(0.08)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S43 L8 V11 PV3	691	744	(20)	(10)	25	34	23	(0.08)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L8 V11 PV3	690	742	(20)	(10)	25	34	23	(0.08)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S11 L9 V11 PV3	692	722	(20)	(11)	25	35	22	(0.08)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L9 V9 PV3	708	759	(21)	(11)	25	37	22	(0.09)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L9 V9 PV3	707	758	(21)	(11)	25	37	22	(0.09)

VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L9 V11 PV3	711	764	(23)	(12)	25	35	22	(0.09)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S47 L9 V11 PV3	711	763	(23)	(12)	25	35	22	(0.09)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S43 L9 V9 PV3	725	786	(23)	(12)	25	37	22	(0.09)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L9 V9 PV3	722	783	(23)	(12)	25	37	22	(0.09)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S43 L9 V11 PV3	728	790	(24)	(13)	25	35	22	(0.10)
VL4 M6 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L9 V11 PV3	726	788	(24)	(13)	25	35	22	(0.10)
VL4 M5 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L9 V9 PV3	779	832	(25)	(13)	20	29	26	(0.10)
VL4 M5 D6 R5 Z1 B2 LD4 S39 L9 V11 PV3	782	836	(26)	(14)	20	26	26	(0.10)
VL4 M5 D6 R5 Z1 B2 LD4 S43 L9 V9 PV3	795	856	(26)	(14)	20	29	26	(0.10)
VL4 M5 D6 R5 Z1 B2 LD4 S51 L9 V9 PV3	795	856	(26)	(14)	20	29	26	(0.10)
VL4 M5 D6 R5 Z1 B2 LD4 S43 L9 V11 PV3	798	860	(27)	(14)	20	26	26	(0.11)

Nieuw kantoorgebouw

- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 20 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 4%

Pareto ID	Financiële Parameters		Energetische Parameters					
	TAK (€/m²)	Totale Investerings-kost (€/m²)	Primair Verbruik (kWh/m².jaar)	E-peil (-)	K-peil (-)	Netto Energiebehoefte (kWh/m².jaar)		CO2 Productie (ton CO2/m²)
						Verwarming	Koeling	
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S56 L1 V3 PV1	752	537	304	107	39	94	81	0.46
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S56 L1 V4 PV1	751	541	299	105	39	95	80	0.44
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S56 L1 V1 PV1	730	520	294	103	39	95	78	0.43
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S3 L1 V3 PV1	687	502	290	102	39	94	81	0.93
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S1 L1 V3 PV1	685	495	288	101	39	94	81	0.93
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S1 L1 V4 PV1	684	499	282	99	39	95	80	0.91
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S1 L1 V1 PV1	663	478	278	98	39	95	78	0.90
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S3 L5 V3 PV1	660	500	260	92	39	96	71	0.86
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S1 L5 V3 PV1	658	493	258	91	39	96	71	0.85
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S1 L5 V4 PV1	657	497	253	89	39	97	70	0.84
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S1 L5 V1 PV1	636	476	248	87	39	98	68	0.82

VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S13 L5 V1 PV1	630	494	207	73	39	98	68	0.58
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S40 L5 V1 PV1	629	531	176	63	39	98	68	0.50
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L1 V1 PV1	615	517	173	61	39	95	78	0.46
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L1 V2 PV1	610	519	165	58	39	95	78	0.44
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V3 PV1	609	533	152	54	39	96	71	0.41
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V4 PV1	609	537	147	52	39	97	70	0.39
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V5 PV1	607	539	144	51	39	72	83	0.38
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V1 PV1	589	516	144	51	39	98	68	0.38
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S34 L5 V2 PV1	589	519	142	50	39	98	68	0.38
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V2 PV1	589	518	142	50	39	98	68	0.38
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S34 L5 V2 PV1	593	524	140	50	37	95	68	0.37
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V2 PV1	592	523	140	50	37	95	68	0.37
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V1 PV1	597	531	140	49	35	91	72	0.37
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S34 L5 V2 PV1	597	533	138	49	35	91	72	0.37
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V2 PV1	597	533	138	49	35	91	72	0.37
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V1 PV1	599	534	133	47	39	99	64	0.35
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S34 L7 V2 PV1	599	536	131	46	39	99	64	0.35
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V2 PV1	599	536	131	46	39	99	64	0.35
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S34 L7 V2 PV1	602	541	130	46	37	96	65	0.35
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V2 PV1	602	541	130	46	37	96	65	0.35
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V1 PV1	607	549	129	46	35	92	67	0.34

VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S34 L7 V2 PV1	607	551	127	45	35	92	67	0.34
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V2 PV1	607	551	127	45	35	92	67	0.34
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V1 PV3	608	613	14	5	39	98	68	0.04
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S34 L5 V2 PV3	608	615	12	5	39	98	68	0.03
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V2 PV3	608	615	12	5	39	98	68	0.03
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S34 L5 V2 PV3	611	620	11	4	37	95	68	0.03
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V2 PV3	611	620	11	4	37	95	68	0.03
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V1 PV3	616	627	10	4	35	91	72	0.03
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S34 L5 V2 PV3	616	629	8	3	35	91	72	0.02
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L5 V2 PV3	616	629	8	3	35	91	72	0.02
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V1 PV3	617	630	3	2	39	99	64	0.01
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S34 L7 V2 PV3	618	633	1	1	39	99	64	0.00
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V2 PV3	617	632	1	1	39	99	64	0.00
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S34 L7 V2 PV3	621	637	0	1	37	96	65	0.00
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V2 PV3	621	637	0	1	37	96	65	0.00
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V1 PV3	625	645	(0)	(1)	35	92	67	(0.00)
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S34 L7 V2 PV3	626	647	(2)	(1)	35	92	67	(0.01)
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V2 PV3	626	647	(2)	(1)	35	92	67	(0.01)
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V8 PV3	630	658	(8)	(3)	39	71	68	(0.02)
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V10 PV3	633	664	(10)	(4)	39	67	68	(0.03)
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V10 PV3	637	669	(11)	(4)	37	64	68	(0.03)

VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S34 L7 V10 PV3	647	685	(14)	(5)	35	60	70	(0.04)
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L7 V10 PV3	641	678	(14)	(5)	35	60	70	(0.04)
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S49 L7 V10 PV3	649	680	(14)	(5)	39	67	68	(0.04)
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S46 L7 V8 PV3	652	689	(14)	(5)	33	64	59	(0.04)
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S49 L7 V10 PV3	652	685	(15)	(6)	37	64	68	(0.04)
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L8 V8 PV3	652	686	(16)	(6)	39	71	64	(0.04)
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S46 L7 V10 PV3	655	695	(16)	(6)	33	60	59	(0.04)
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S46 L8 V8 PV3	656	690	(17)	(7)	37	69	65	(0.05)
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S49 L7 V10 PV3	657	694	(17)	(7)	35	60	70	(0.05)
VL2 M3 D1 R1 Z1 B4 LD4 S46 L8 V10 PV3	659	692	(18)	(7)	39	68	64	(0.05)
VL1 M3 D3 R1 Z1 B4 LD4 S46 L8 V10 PV3	662	696	(20)	(7)	37	65	65	(0.05)
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S46 L8 V10 PV3	666	706	(22)	(8)	35	61	67	(0.06)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S46 L7 V8 PV3	669	720	(23)	(9)	25	47	66	(0.06)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S34 L7 V10 PV3	678	733	(26)	(9)	25	44	66	(0.07)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S46 L7 V10 PV3	672	726	(26)	(9)	25	44	66	(0.07)
VL3 M3 D4 R1 Z1 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	681	722	(26)	(9)	35	61	67	(0.07)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S49 L7 V8 PV3	682	734	(26)	(10)	25	47	66	(0.07)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S49 L7 V10 PV3	685	739	(28)	(10)	25	44	66	(0.08)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S46 L8 V8 PV3	689	747	(32)	(12)	25	48	63	(0.08)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S34 L8 V10 PV3	698	761	(34)	(12)	25	44	63	(0.09)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S46 L8 V10 PV3	692	753	(34)	(12)	25	44	63	(0.09)

VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S49 L8 V8 PV3	703	762	(34)	(13)	25	48	63	(0.09)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	711	774	(36)	(13)	25	44	63	(0.10)
VL4 M5 D4 R2 Z1 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	705	767	(36)	(13)	25	44	63	(0.10)
VL4 M5 D5 R5 Z1 B4 LD4 S46 L8 V10 PV3	717	788	(37)	(14)	24	43	51	(0.10)
VL3 M4 D3 R5 Z1 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	725	791	(38)	(14)	26	48	48	(0.10)
VL3 M4 D3 R5 Z1 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	721	786	(38)	(14)	26	48	48	(0.10)
VL4 M5 D5 R5 Z1 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	735	807	(40)	(14)	24	43	51	(0.11)
VL4 M5 D5 R5 Z1 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	730	801	(40)	(14)	24	43	51	(0.11)
VL4 M4 D5 R5 Z2 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	752	824	(40)	(14)	24	44	49	(0.11)
VL4 M4 D5 R5 Z2 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	748	819	(40)	(14)	24	44	49	(0.11)
VL3 M4 D3 R2 Z6 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	775	838	(40)	(15)	27	49	37	(0.11)
VL3 M4 D3 R2 Z6 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	773	836	(40)	(15)	27	49	37	(0.11)
VL3 M3 D4 R4 Z6 B4 LD4 S34 L8 V10 PV3	779	850	(42)	(15)	23	41	41	(0.11)
VL3 M3 D4 R4 Z6 B4 LD4 S46 L8 V10 PV3	776	846	(42)	(15)	23	41	41	(0.11)
VL4 M4 D4 R4 Z6 B4 LD4 S34 L8 V10 PV3	783	858	(43)	(15)	22	39	41	(0.11)
VL4 M4 D4 R4 Z6 B4 LD4 S46 L8 V10 PV3	779	853	(43)	(15)	22	39	41	(0.11)
VL3 M3 D4 R4 Z6 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	791	863	(44)	(16)	23	41	41	(0.12)
VL3 M3 D4 R4 Z6 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	788	859	(44)	(16)	23	41	41	(0.12)
VL4 M4 D4 R4 Z6 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	795	870	(45)	(16)	22	39	41	(0.12)

Nieuw schoolgebouw

- referentiejaar 2012;
- een evaluatieperiode van 30 jaar;
- financiële (micro-economische) berekeningen;
- prijsevolutiescenario volgens de Europese Commissie [6];
- een actualisatievoet van 3%

Pareto ID	Financiële Parameters		Energetische Parameters					
	TAK (€/m²)	Totale Investerings-kost (€/m²)	Primair Verbruik (kWh/m².jaar)	E-peil (-)	K-peil (-)	Netto Energiebehoefte (kWh/m².jaar)		CO2 Productie (ton CO2/m²)
						Verwarming	Koeling	
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S22 L1 V3 PV1	1,557	820	480	170	39	130	31	1.92
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S22 L1 V4 PV1	1,556	826	475	168	39	130	30	1.90
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S22 L1 V1 PV1	1,472	760	472	167	39	131	29	1.89
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S22 L1 V2 PV1	1,472	762	470	166	39	131	29	1.88
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S22 L5 V1 PV1	1,456	760	461	164	39	133	26	1.84
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S22 L5 V2 PV1	1,456	762	459	163	39	133	26	1.83
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S22 L1 V1 PV1	1,430	750	451	160	35	124	30	1.80
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S22 L1 V2 PV1	1,429	752	449	159	35	124	30	1.79
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S22 L5 V1 PV1	1,414	750	441	156	35	126	27	1.76
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S22 L5 V2 PV1	1,413	752	438	155	35	126	27	1.75
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S30 L1 V3 PV1	1,265	590	430	152	39	130	31	1.79

VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S30 L1 V4 PV1	1,264	596	425	151	39	130	30	1.77
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S30 L1 V1 PV1	1,180	530	422	150	39	131	29	1.76
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S30 L1 V2 PV1	1,179	532	419	149	39	131	29	1.75
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S30 L5 V1 PV1	1,163	530	411	146	39	133	26	1.72
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S30 L5 V2 PV1	1,162	532	408	145	39	133	26	1.71
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S30 L1 V1 PV1	1,148	526	404	143	35	124	30	1.68
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S30 L1 V2 PV1	1,147	529	401	142	35	124	30	1.67
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S30 L5 V1 PV1	1,130	526	392	139	35	126	27	1.64
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S30 L5 V2 PV1	1,130	529	390	138	35	126	27	1.63
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S30 L1 V1 PV1	1,104	524	377	134	37	115	30	1.57
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S30 L1 V2 PV1	1,103	526	374	133	37	115	30	1.56
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S30 L5 V1 PV1	1,087	524	365	130	37	116	27	1.53
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S30 L5 V2 PV1	1,086	526	363	129	37	116	27	1.52
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L2 V1 PV1	1,075	540	348	123	34	104	30	1.45
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L1 V1 PV1	1,064	530	348	123	34	104	30	1.45
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L1 V2 PV1	1,064	532	345	123	34	104	30	1.44
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L5 V1 PV1	1,047	530	336	119	34	106	28	1.40
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L5 V2 PV1	1,046	532	334	118	34	106	28	1.39
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L1 V1 PV1	1,045	537	332	118	31	98	33	1.38
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L1 V2 PV1	1,044	540	330	117	31	98	33	1.37
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S30 L5 V1 PV1	1,031	535	323	114	31	101	24	1.35

VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S30 L5 V2 PV1	1,031	537	320	114	31	101	24	1.34
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L5 V1 PV1	1,026	537	319	113	31	99	29	1.33
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S30 L5 V2 PV1	1,025	540	317	112	31	99	29	1.32
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S29 L1 V1 PV1	1,022	549	309	110	34	104	30	1.28
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S29 L1 V2 PV1	1,022	552	306	109	34	104	30	1.27
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S30 L5 V1 PV1	1,007	540	304	108	28	94	25	1.27
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S30 L5 V2 PV1	1,006	542	302	107	28	94	25	1.26
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S29 L5 V1 PV1	1,003	549	296	105	34	106	28	1.23
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S29 L5 V2 PV1	1,003	552	294	104	34	106	28	1.22
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S30 L1 V1 PV1	1,001	553	294	104	25	84	30	1.22
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S30 L1 V2 PV1	1,000	556	291	103	25	84	30	1.21
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S30 L1 V1 PV1	998	556	290	103	24	83	31	1.21
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S30 L1 V2 PV1	998	559	288	102	24	83	31	1.20
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S29 L5 V1 PV1	988	553	284	101	31	101	24	1.18
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S29 L5 V2 PV1	988	556	282	100	31	101	24	1.17
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S29 L5 V1 PV1	984	555	282	100	31	99	29	1.17
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S30 L5 V1 PV1	983	553	282	100	25	86	27	1.17
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S30 L5 V2 PV1	982	556	279	99	25	86	27	1.16
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S30 L5 V1 PV1	980	556	278	99	24	84	27	1.16
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S30 L5 V2 PV1	980	559	276	98	24	84	27	1.15
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4 S30 L5 V1 PV1	975	567	269	95	22	81	28	1.12

VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S29 L5 V1 PV1	966	556	268	95	28	94	25	1.12
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S29 L5 V2 PV1	966	559	266	94	28	94	25	1.11
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S59 L1 V3 PV1	958	604	264	94	39	130	31	0.30
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S59 L1 V4 PV1	956	610	258	92	39	130	30	0.27
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S59 L1 V3 PV1	942	599	255	91	35	123	33	0.30
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S59 L1 V1 PV1	870	544	254	90	39	131	29	0.25
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S59 L1 V2 PV1	869	546	251	89	39	131	29	0.24
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S59 L1 V1 PV1	853	539	245	87	35	124	30	0.25
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S63 L1 V1 PV1	829	462	244	87	39	131	29	0.77
VL1 M3 D1 R1 Z1 B3 LD1 S63 L1 V2 PV1	829	464	241	86	39	131	29	0.76
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S63 L1 V1 PV1	814	460	235	83	35	124	30	0.74
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S63 L1 V2 PV1	813	463	232	83	35	124	30	0.73
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S2 L1 V1 PV1	802	415	225	80	35	124	30	1.23
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S2 L1 V2 PV1	801	417	223	79	35	124	30	1.22
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S63 L1 V1 PV1	794	460	221	79	37	115	30	0.70
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S63 L1 V2 PV1	793	463	219	78	37	115	30	0.69
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S2 L1 V1 PV1	780	416	212	75	37	115	30	1.15
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S2 L1 V2 PV1	780	418	210	75	37	115	30	1.14
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S63 L1 V1 PV1	776	479	199	71	31	98	33	0.64
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S63 L1 V1 PV1	775	476	199	71	31	100	27	0.64
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S2 L2 V1 PV1	775	435	199	71	34	104	30	1.07

VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S2 L1 V1 PV1	764	425	198	70	34	104	30	1.07
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S2 L1 V1 PV1	759	435	191	68	31	98	33	1.02
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S14 L1 V2 PV1	759	457	185	66	37	115	30	0.80
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S14 L5 V1 PV1	754	454	184	65	35	126	27	0.81
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S2 L1 V1 PV1	752	440	183	65	28	93	29	0.98
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S14 L1 V1 PV1	747	454	179	64	37	115	30	0.78
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S14 L5 V1 PV1	737	454	173	62	37	116	27	0.76
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S14 L5 V2 PV1	737	457	170	61	37	116	27	0.75
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S18 L1 V2 PV1	735	459	168	60	37	115	30	0.73
VL2 M1 D1 R1 Z1 B4 LD1 S18 L5 V1 PV1	728	456	165	59	35	126	27	0.73
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S18 L1 V1 PV1	725	456	164	58	37	115	30	0.72
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S18 L5 V1 PV1	713	456	155	55	37	116	27	0.69
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S18 L5 V2 PV1	712	459	153	55	37	116	27	0.68
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S18 L1 V1 PV1	712	472	146	52	31	100	27	0.64
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S18 L5 V1 PV1	705	465	146	52	34	106	28	0.64
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S18 L5 V2 PV1	704	468	143	51	34	106	28	0.63
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S18 L5 V1 PV1	703	474	140	50	31	99	29	0.62
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S18 L5 V1 PV1	703	472	140	50	31	101	24	0.62
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S18 L5 V2 PV1	702	477	138	49	31	99	29	0.61
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S18 L5 V2 PV1	702	474	137	49	31	101	24	0.61
VL1 M1 D1 R1 Z1 B4 LD2 S17 L5 V1 PV1	701	478	134	48	37	116	27	0.59

VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S18 L5 V1 PV1	699	479	134	48	28	94	25	0.59
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S18 L5 V2 PV1	699	481	131	47	28	94	25	0.58
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S17 L5 V1 PV1	693	485	127	45	34	106	28	0.56
VL1 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S17 L5 V2 PV1	692	487	124	44	34	106	28	0.55
VL3 M3 D1 R1 Z1 B4 LD3 S17 L5 V1 PV1	691	493	122	44	31	99	29	0.54
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S17 L5 V1 PV1	690	490	121	43	31	101	24	0.53
VL1 M1 D1 R2 Z1 B4 LD3 S17 L5 V2 PV1	689	493	119	43	31	101	24	0.52
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S17 L5 V1 PV1	686	495	117	42	28	94	25	0.51
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S17 L5 V2 PV1	686	498	114	41	28	94	25	0.50
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV1	687	512	109	39	25	86	27	0.48
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV1	689	515	108	39	24	84	27	0.47
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV1	694	526	106	38	22	81	28	0.46
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S9 L5 V2 PV1	701	529	105	38	28	94	25	0.42
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV1	703	538	104	37	20	77	30	0.45
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S9 L5 V2 PV1	703	542	101	36	25	86	27	0.40
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S17 L5 V2 PV3	705	550	93	33	28	94	25	0.42
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV3	706	564	88	31	25	86	27	0.39
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV3	708	567	87	31	24	84	27	0.39
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV3	713	578	84	30	22	81	28	0.38
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S9 L5 V2 PV3	720	581	84	30	28	94	25	0.34
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S17 L5 V2 PV3	722	591	83	30	20	77	30	0.37

VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S9 L5 V2 PV3	722	594	80	29	25	86	27	0.32
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S9 L5 V2 PV3	724	597	79	28	24	84	27	0.32
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4 S9 L5 V2 PV3	729	608	77	28	22	81	28	0.31
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S9 L5 V2 PV3	739	620	75	27	20	77	30	0.30
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S17 L7 V2 PV3	739	619	75	27	20	78	27	0.34
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S9 L7 V2 PV3	739	623	72	26	25	87	25	0.29
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S9 L7 V2 PV3	741	626	72	26	24	85	26	0.29
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V10 PV3	746	622	69	25	25	45	30	0.30
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V10 PV3	748	625	68	25	24	44	30	0.29
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4 S17 L5 V10 PV3	754	636	67	24	22	41	32	0.29
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S17 L5 V10 PV3	762	648	64	23	20	37	33	0.27
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S9 L5 V10 PV3	766	650	64	23	24	44	30	0.26
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4 S9 L5 V10 PV3	772	660	63	23	22	41	32	0.25
VL4 M4 D5 R4 Z1 B4 LD4 S17 L5 V10 PV3	772	662	62	22	18	33	34	0.26
VL2 M3 D1 R2 Z1 B4 LD3 S9 L7 V10 PV3	779	662	62	22	28	54	26	0.25
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S9 L5 V10 PV3	781	672	61	22	20	37	33	0.24
VL3 M3 D2 R2 Z1 B4 LD4 S9 L7 V10 PV3	781	675	57	21	25	46	28	0.23
VL3 M3 D3 R2 Z1 B4 LD4 S9 L7 V10 PV3	783	678	57	21	24	44	29	0.23
VL4 M4 D3 R2 Z1 B4 LD4 S9 L7 V10 PV3	788	689	55	20	22	41	29	0.22
VL4 M4 D5 R4 Z1 B4 LD4 S17 L7 V10 PV3	806	690	55	20	18	34	33	0.24
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S9 L7 V10 PV3	818	701	54	20	20	38	32	0.22

VL4 M4 D5 R4 Z1 B4 LD4 S9 L7 V10 PV3	826	714	52	19	18	34	33	0.21
VL4 M4 D5 R4 Z1 B4 LD4 S17 L8 V10 PV3	871	766	50	18	18	34	32	0.22
VL4 M3 D3 R4 Z1 B4 LD4 S9 L8 V10 PV3	882	776	49	18	20	38	30	0.19
VL4 M4 D5 R4 Z1 B4 LD4 S9 L8 V10 PV3	891	789	47	17	18	34	32	0.19
VL4 M4 D5 R4 Z6 B4 LD4 S17 L8 V10 PV3	943	887	46	17	18	35	21	0.20
VL4 M4 D5 R4 Z6 B4 LD4 S9 L8 V10 PV3	963	910	42	15	18	35	21	0.17
VL4 M4 D5 R4 Z6 B4 LD4 S49 L8 V10 PV3	1,059	1,062	42	15	18	35	21	0.19
VL4 M4 D5 R4 Z6 B4 LD4 S37 L8 V10 PV3	1,060	1,068	40	15	18	35	21	0.16
VL4 M4 D5 R4 Z6 B4 LD4 S41 L8 V10 PV3	1,084	1,104	38	14	18	35	21	0.15

KWALITEITSINFORMATIE

Auteur :

Matthijs De Deygere (3E), Egon Troch (Ingenium)

Verificatie door :

Joerie Alderweireldt, Jasmin Janssens, Benoit Van Den Broecke, Stijn De Roo

19/04/2013

Goedgekeurd door

Antoon Soete

19/04/2013

Template v.12.13