

Onderzoek

Kosteneffectiviteit BENG

Voor u ligt het onderzoek met de resultaten van de energieprestatieberekeningen aan de hand van de NTA 8800. Dit onderzoek geeft inzicht in de invloed die bouwkundige- en installatietechnische maatregelen hebben op de energievraag van vier verschillende referentiewoningen.

De energieprestatie van de maatregelen wordt berekend volgens de NTA 8800 en uitgedrukt in de drie BENG-indicatoren. In dit onderzoek zijn de BENG-eisen voor woningbouw gehanteerd zoals deze zijn gepresenteerd tijdens het NEN-congres op 20 november 2018.

BENG 1, energiebehoefte

De maximale energiebehoefte in kilowattuur per vierkante meter gebruiksoppervlak (kWh/m²) per jaar. De energiebehoefte is de benodigde energie voor de verwarming en koeling van het gebouw.



Voor grondgebonden woningbouw is de voorlopige BENG 1 eis afhankelijk van de verhouding tussen het verliesoppervlak (A_{i_s}) en het gebruiksoppervlak (A_g). Als de verhouding tussen het verliesoppervlak en het gebruiksoppervlak groter is dan 2,2 wordt de eis voor de energieprestatie versoepeld.

- Indien $A_{i_s}/A_g \leq 2,2$ dan geldt BENG 1 ≤ 70 kWh/m²
- Indien $A_{i_s}/A_g > 2,2$ dan geldt BENG 1 $\leq 70 + 50 \times (A_{i_s}/A_g - 2,2)$ kWh/m²

BENG 2, primair fossiel energiegebruik

Het maximale primair fossiel energiegebruik in kWh/m² per jaar. Dit is een optelsom van het primair energiegebruik voor verwarming, koeling, warmtapwaterbereiding en ventilatie. De hernieuwbare energie van PV-panelen, maar bijvoorbeeld ook het duurzame deel van de door de warmtepomp opgewekte energie, wordt hierop in mindering gebracht.



Voor grondgebonden woningbouw is de voorlopige BENG 2 eis:

- BENG 2 ≤ 30 kWh/m²

BENG 3, aandeel hernieuwbare energie

Het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten. Het aandeel hernieuwbare energie wordt bepaald door de hoeveelheid hernieuwbare energie te delen door het totaal van hernieuwbare energie en het primair fossiel energiegebruik.



Voor grondgebonden woningbouw is de voorlopige BENG 3 eis:

- BENG 3 $\geq 50\%$

Over dit onderzoek

Om de (kosten)effectiviteit van verschillende maatregelen te onderzoeken op de drie BENG-indicatoren is in dit onderzoek uitgegaan van een theoretische benadering. Hierbij is gebruik gemaakt van referentiewoningen.

Deze referentiewoningen zijn gebaseerd op de referentiewoningen die zijn opgesteld in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). De woningen die zijn onderzocht in dit onderzoek zijn een tussenwoning, hoekwoning, twee-onder-een-kapwoning en vrijstaande woning. Elk woningtype is doorgerekend op diverse bouwkundige en installatietechnische maatregelen aan de hand van de NTA 8800.

Om de invloed van maatregelen te kunnen bepalen is voor elk woningtype een basis-energieconcept opgesteld dat voldoet aan de huidige EPC-eis van 0,4. In deze energieconcepten is de thermische schil uitgevoerd volgens de minimale eisen in het Bouwbesluit, wordt de woning verwarmd door een HR-gasketel en geventileerd met ventilatiesysteem C (natuurlijke aanvoer, mechanische afvoer). De woningen zijn met de achtergevel – de gevel met het grootste glasoppervlak – op het zuidwesten georiënteerd.



De volgende bouwkundige maatregelen zijn onderzocht:

- Het verhogen van de Rc-waardes voor vloer, gevel en dak.
- Het verbeteren van de U-waarde van de kozijnen.
- Het verbeteren van de luchtdichtheid (q_v ;10-waarde) van de bouwkundige aansluitingen.
- Het toepassen van zonwering op de zuidwestgevel.

Tevens zijn de volgende installatietechnische maatregelen onderzocht:

- Het toepassen van een lucht-water warmtepomp.
- Het toepassen van een zonneboiler.
- Het toepassen van ventilatiesysteem D (mechanische aan- en afvoer).
- Het toepassen van extra PV-panelen.

De bouwkundige maatregelen hebben invloed op BENG 1 en 2. Installatietechnische maatregelen hebben invloed op BENG 2. Afhankelijk van de maatregel heeft BENG 2 ook direct invloed op BENG 3. Maatregelen die energie opwekken hebben direct invloed op BENG 3. Bouwkundige en installatietechnische maatregelen hebben indirect altijd invloed op BENG 3.

Wat opvalt is dat drie van de vier EPC 0,4 referentiewoningen voldoen aan BENG 1. Dit is het directe gevolg van de verruiming van de BENG 1 eis die net voor de bekendmaking in november 2018 werd doorgevoerd. De maximaal toegestane energiebehoefte is hierbij verhoogd, waardoor de isolatiewaarde van de schil in de meest voorkomende situaties al voldoet bij opvolging van de minimale eisen gesteld in het Bouwbesluit. De referentiewoningen voldoen echter niet aan BENG 2 en 3.

Bouwkosten

De kosteneffectiviteit van de verschillende bouwkundige en installatietechnische maatregelen is voor de referentiewoningen afzonderlijk beschouwd. Deze wordt weergegeven in euro per $0,1 \text{ kWh/m}^2$ besparing per jaar. De gehanteerde kosten hiervoor zijn samengesteld aan de hand van het benodigde materiaal, materieel en arbeid, al dan niet verricht door een onderaannemer. Voor de prijsstellingen zijn de prijzen uit Bouwkosten Online gebruikt (prijspeil december 2018) en werd in een aantal gevallen aanvullend marktonderzoek gedaan. Het prijsniveau is afgestemd op een projectgrootte van 30 woningen en er is uitgegaan van landelijk gemiddelde prijzen. De niet direct toewijsbare kosten zoals bouwplaats kosten, algemene kosten, winst & risico en btw zijn niet verdisconteerd in de kosten.

Onderzoek kosteneffectiviteit BENG

Tussenwoning

De tussenwoning heeft een oppervlakte van 106 m². Om de EPC van 0,4 te behalen zijn 4 PV-panelen toegepast. In onderstaande tabel is de invulling van deze referentiewoning verder toegelicht. Van verschillende maatregelen bepalen we vervolgens de invloed op enerzijds de energiereductie en anderzijds de kosteneffectiviteit binnen de BENG criteria.



voorgevel

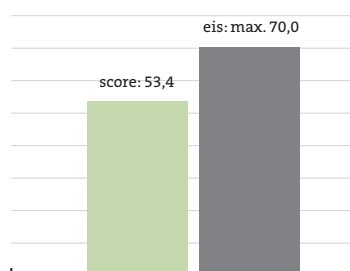


achtergevel

Uitgangspunten tussenwoning basis EPC 0,4

Ontwerp		Bouwkundig		Installaties	
lengte (buitenwerks)	9,0 m	R _c vloer	3,5	warmteopwekking	HR-combiketel (CW4)
breedte (buitenwerks)	5,4 m	R _c wand	4,5		douche-WTW
oppervlakte (Ag)	106 m ²	R _c dak	6,0	ventilatiesysteem	C
dak	zadel 35°	U _w kozijnen	1,35	PV-panelen	4
verdiepingshoogte	2,9 m	qv;10	0,40		
nokhoogte	9,3 m	zonwering	nee		
oriëntatie achtergevel	zuidwest				

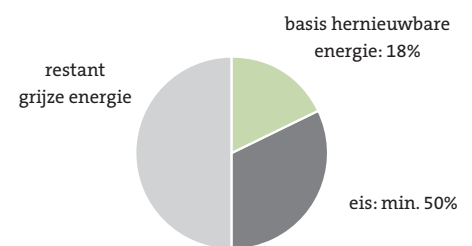
BENG score tussenwoning basis EPC 0,4



BENG 1:
Energiebehoefte (in kWh/m²)



BENG 2:
Primair energiegebruik (in kWh/m²)



BENG 3:
Aandeel hernieuwbare energie (%)

BENG 1, energiebehoefte

De tussenwoning behaalt op BENG 1 een score van 53,4 kWh/m².

Hiermee voldoet de woning aan de voorlopige eis van maximaal 70,0 kWh/m². De bouwkundige maatregelen – het verhogen van de isolatiewaarden, luchtdichtheid en het toepassen van zonwering – hebben invloed op de energiebehoefte.

Het toepassen van zonwering op de achtergevel (zuidwest) levert het hoogste resultaat binnen de energiebehoefte, namelijk -3,5 kWh/m².

In de berekening is de beglazing in de hardhouten kozijnen aangepast van dubbel naar drievoudig glas. De gemiddelde U-waarde wordt daarmee circa 0,95 W/m²K. Dit levert een verlaging op van 2,8 kWh/m². Dit is ruim drie keer zoveel als het effect van het extra isoleren van de gevel of het dak. Het effect van extra vloerisolatie is nihil.

Een verlaging van de qv;10-waarde van 0,4 naar 0,2 dm³/s per m² vermindert de energiebehoefte met 1,8 kWh/m².

BENG 2, primair energiegebruik

De bij BENG 1 genomen bouwkundige maatregelen voor het verlagen van de energiebehoefte hebben een iets hogere invloed in kWh/m² op het primair energiegebruik. De invloeden zijn verder vergelijkbaar, behalve voor de zonwering geldt een verhoging in plaats van een verlaging. Dit komt door het beperken van de verwarmingsbijdrage van de zon in het voor- en naseizoen.

Het toepassen van een warmtepomp brengt het primair energiegebruik flink naar beneden, met 34,6 kWh/m². Het primair energiegebruik komt met deze maatregel uit op 18,5 kWh/m² en de tussenwoning voldoet dan aan de eis van maximaal 30,0 kWh/m².

In de berekening is de douche-WTW vervangen door een zonneboiler, dit levert een besparing op van 11,7 kWh/m².

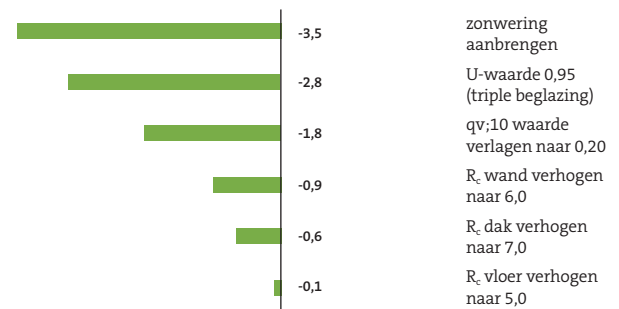
Het basis EPC 0,4 concept is voorzien van ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer). Het vervangen van dit systeem door systeem D (mechanische aan- en afvoer), vermindert het energiegebruik met 8,7 kWh/m².

Het toepassen van vier extra PV-panelen brengt het primair energiegebruik van 53,1 naar 41,1 kWh/m².

BENG 3, aandeel hernieuwbare energie

Hernieuwbare energie kan grotendeels worden opgewekt door het

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



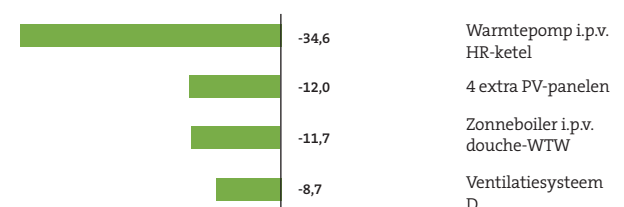
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. tussenwoning basis EPC 0,4

BENG 2: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. tussenwoning basis EPC 0,4

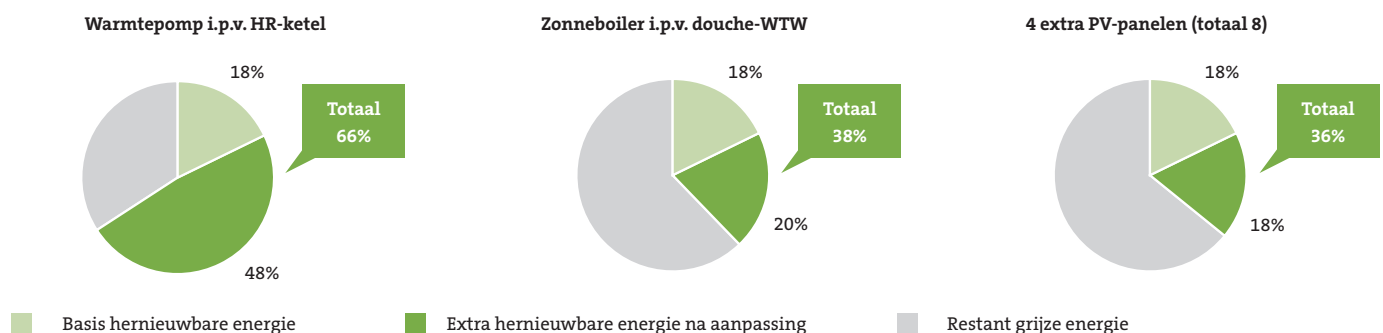
BENG 2: effecten installatietechnische maatregelen (kWh/m²)



Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. tussenwoning basis EPC 0,4

toepassen van een warmtepomp, die het aandeel van hernieuwbare energie van 18% naar 66% verhoogt. Met deze maatregel voldoet de referentiewoning ruimschoots aan de eis van 50%. Het vervangen van de douche-WTW door een zonneboiler resulteert in een aandeel van 38% hernieuwbare energie.

BENG 3: Effecten installatietechnische maatregelen (%)



Het aandeel van hernieuwbare energie bij PV-panelen is afhankelijk van het aantal toegepaste panelen. In dit onderzoek is uitgegaan van 4 extra panelen, waarmee het totaal op 8 uitkomt. Dit levert een totaal aandeel hernieuwbare energie op van 36%.

Kosteneffectiviteit van de maatregelen

Onderstaande tabellen geven weer wat per maatregel de investeringskosten zijn ten opzichte van de EPC 0,4 referentiewoning. De kosteneffectiviteit is weergegeven in euro per 0,1 kWh/m², zodat een vergelijking gemaakt kan worden tussen de maatregelen.

Het beter isoleren van de schil levert wisselende resultaten op voor de kosteneffectiviteit. Het extra isoleren van de vloer vergt in absolute zin de laagste investering. Bij BENG 1 levert het weinig op in kWh/m², maar

voor BENG 2 is de kosteneffectiviteit vergelijkbaar met het isoleren van de gevel. Het isoleren van het dak is wat minder effectief. Het toepassen van drievoudige beglazing in plaats van HR++-glas is van de bouwkundige maatregelen het meest effectief; het levert veel op in kWh/m² en de extra investeringskosten zijn vrij laag. Voor meer informatie over luchtdicht bouwen en de te treffen maatregelen, verwijzen wij naar het onderzoek Luchtdicht bouwen.

Het vervangen van de HR-ketel voor een warmtepomp inclusief bijbehorende afgiftesystemen zorgt voor de hoogste investering ten opzichte van het EPC 0,4 concept. Daarentegen is de verlaging in kWh/m² behoorlijk groot in vergelijking met de overige maatregelen. De installatietechnische maatregelen hebben min of meer dezelfde effectiviteit per geïnvesteerde euro op BENG 2.

Bouwkundige maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. tussenwoning basis EPC 0,4

Gevel isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 4,5 naar 6,0		€ 250
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-0,9	€ 28
BENG 2	-1,3	€ 19
BENG 3	-	-

Dak isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 6,0 naar 7,0		€ 460
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-0,6	€ 77
BENG 2	-0,8	€ 58
BENG 3	-	-

Vloerisolatie		
Verhogen Rc-waarde van 3,5 naar 7,0		€ 120
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-0,1	€ 120
BENG 2	-0,6	€ 20
BENG 3	-	-

Drievoudige beglazing (HR+++)		
Van HR++ naar HR+++		€ 470
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-2,8	€ 17
BENG 2	-4,7	€ 10
BENG 3	-	-

Luchtdichtheid		
qv;10 waarde verhogen van 0,4 naar 0,2		€ 1.270
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-1,8	€ 71
BENG 2	-2,7	€ 47
BENG 3	-	-

Installatietechnische maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. tussenwoning basis EPC 0,4

Warmtepomp		
In plaats van HR-ketel		€ 5.570
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-34,6	€ 16
BENG 3	18% -> 66%	-

Zonneboiler (2,5 m ²)		
In plaats van douche-WTW		€ 1.690
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-11,7	€ 14
BENG 3	18% -> 38%	-

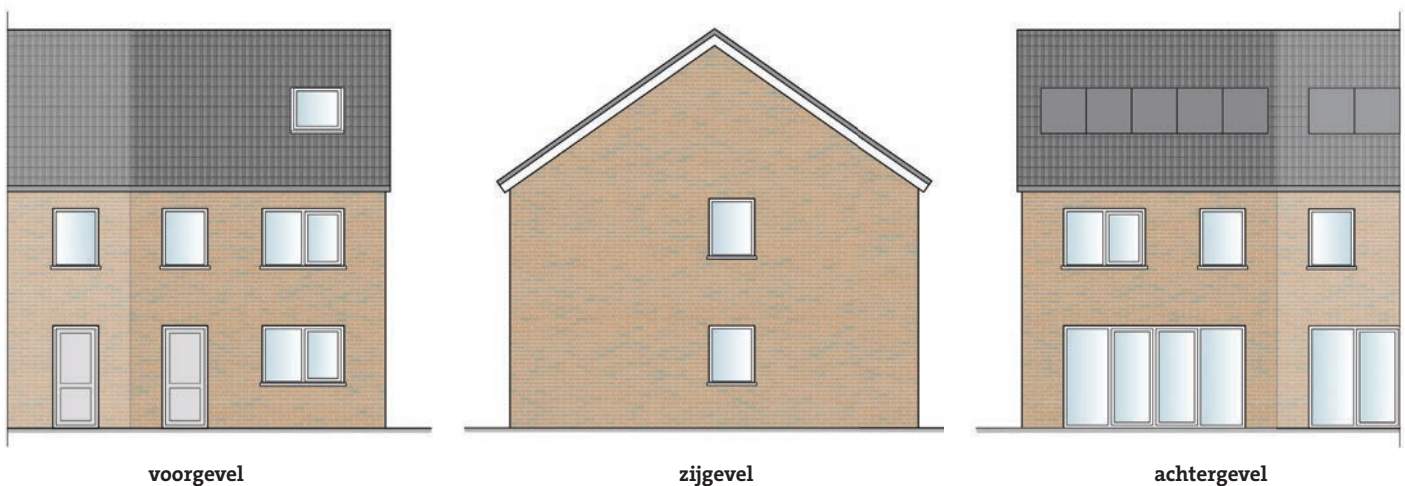
Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.280
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-8,7	€ 15
BENG 3	18% -> 21%	-

4 extra PV-panelen		
Van 4 naar 8 panelen		€ 1.500
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-12,0	€ 13
BENG 3	18% -> 36%	-

Onderzoek kosteneffectiviteit BENG

Hoekwoning

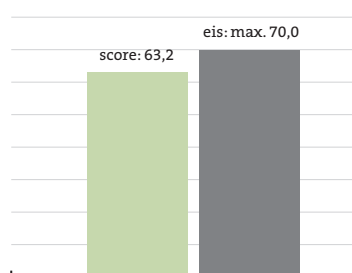
De hoekwoning is gelijk aan de tussenwoning voor wat betreft oppervlak (106 m²) en gevelindeling. De extra zijgevel zorgt voor een grotere energiebehoefte in de basis. Om de EPC 0,4 te behalen is een vijfde PV-paneel in de basis toegevoegd. In onderstaande tabel is de invulling van deze referentiewoning verder toegelicht. Van verschillende maatregelen bepalen we vervolgens de invloed op enerzijds de energiereductie en anderzijds de kosteneffectiviteit binnen de BENG-criteria.



Uitgangspunten hoekwoning basis EPC 0,4

Ontwerp		Bouwkundig		Installaties	
lengte (buitenwerks)	9,0 m	R _c vloer	3,5	warmteopwekking	HR-combiketel (CW4)
breedte (buitenwerks)	5,6 m	R _c wand	4,5		douche-WTW
oppervlakte (Ag)	106 m ²	R _c dak	6,0	ventilatiesysteem	C
dak	zadel 35°	U _w kozijnen	1,35	PV-panelen	5
verdiepingshoogte	2,9 m	qv;10	0,40		
nokhoogte	9,3 m	zonwering	nee		
oriëntatie achtergevel	zuidwest				

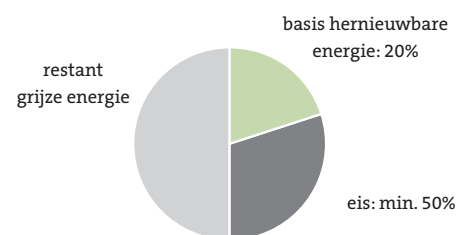
BENG score hoekwoning basis EPC 0,4



BENG 1:
Energiebehoefte (in kWh/m²)



BENG 2:
Primair energiegebruik (in kWh/m²)



BENG 3:
Aandeel hernieuwbare energie (%)

BENG 1, energiebehoefte

De hoekwoning behaalt een score van 63,2 kWh/m² op BENG 1. Dit is circa 10,0 kWh/m² hoger dan de tussenwoning. Dit heeft te maken met de extra zijgevel. Hiermee voldoet de woning nog steeds aan de voorlopige eis van maximaal 70,0 kWh/m². De bouwkundige maatregelen – het verhogen van de isolatiewaarden, luchtdichtheid en het toepassen van zonwering – hebben invloed op de energiebehoefte.

Het toepassen van zonwering op de achtergevel (zuidwest) levert het hoogste resultaat op binnen de energiebehoefte, namelijk -3,6 kWh/m².

In de berekening is de beglazing in de hardhouten kozijnen aangepast van dubbel naar drievoudig glas. De gemiddelde U-waarde wordt daarmee circa 0,95 W/m²K. Dit levert een verlaging op van 3,0 kWh/m².

Dit is zes keer zoveel als het effect van het extra isoleren van het dak. Door de extra zijgevel komt het isoleren van de gevel wel dichterbij de tussenwoning, te verwaarlozen.

Een verlaging van de qv;10-waarde van 0,4 naar 0,2 dm³/s per m² vermindert de energiebehoefte met 1,7 kWh/m².

BENG 2, primair energiegebruik

De bij BENG 1 genomen bouwkundige maatregelen voor het verlagen van de energiebehoefte hebben een iets hogere invloed in kWh/m² op het primair energiegebruik. De invloeden zijn verder vergelijkbaar, behalve voor de zonwering geldt een verhoging in plaats van een verlaging. Dit komt door het beperken van de verwarmingsbijdrage van de zon in het voor- en naseizoen.

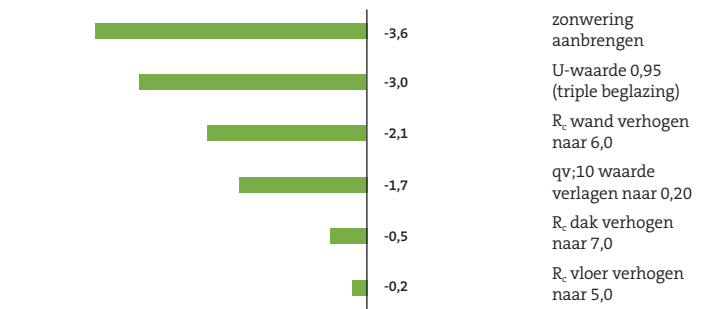
Het toepassen van een warmtepomp brengt het primair energiegebruik flink naar beneden, met 41,4 kWh/m². Het primair energiegebruik komt met deze maatregel uit op 18,5 kWh/m² en de hoekwoning voldoet dan net als de tussenwoning, aan de eis van maximaal 30,0 kWh/m².

Met het vervangen van de douche-WTW door een zonneboiler realiseren we een besparing van 11,6 kWh/m².

De referentiewoning is voorzien van ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer). Het vervangen van dit systeem door systeem D (mechanische aan- en afvoer), vermindert het energiegebruik met 8,9 kWh/m².

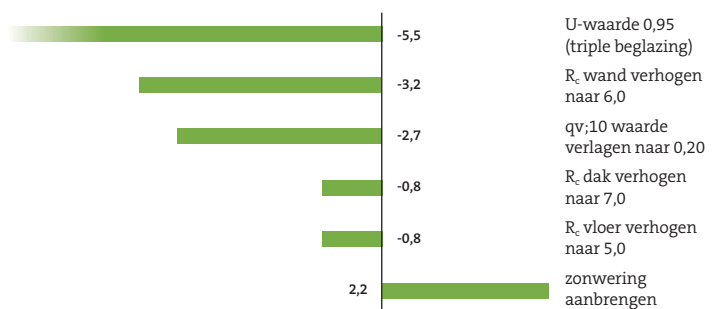
Het toepassen van vier extra PV-panelen brengt het primair energiegebruik van 59,9 naar 47,9 kWh/m².

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



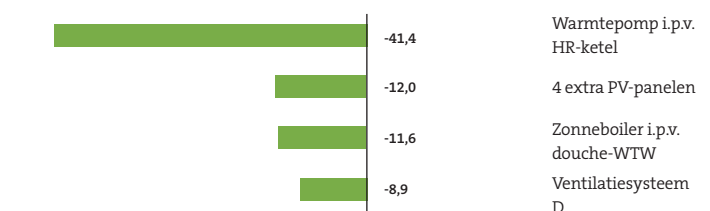
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. hoekwoning basis EPC 0,4

BENG 2: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. hoekwoning basis EPC 0,4

BENG 2: effecten installatietechnische maatregelen (kWh/m²)

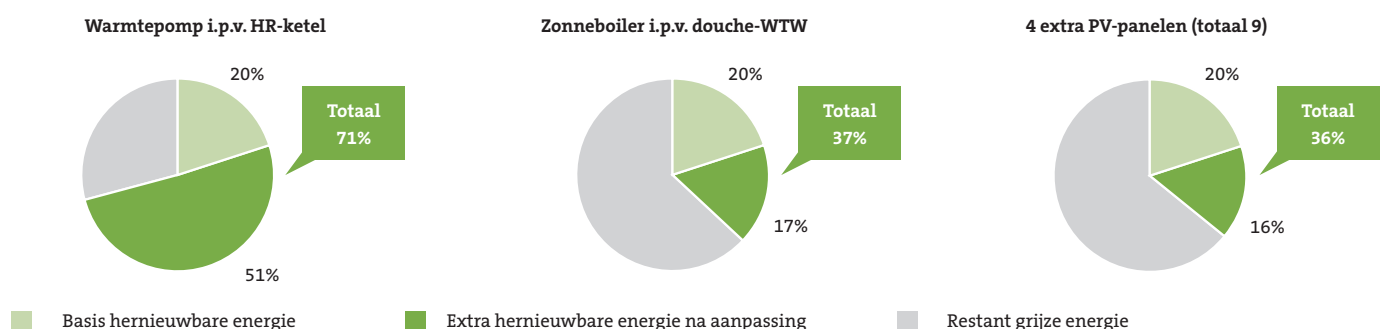


Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. hoekwoning basis EPC 0,4

BENG 3, aandeel hernieuwbare energie

Hernieuwbare energie kan grotendeels worden opgewekt door het toepassen van een warmtepomp. Deze verhoogt het aandeel van hernieuwbare energie van 20% naar 71%. Met deze maatregel voldoet de referentiewoning ruimschoots aan de eis van 50%. Het vervangen van

BENG 3: Effecten installatietechnische maatregelen (%)



de douche-WTW door een zonneboiler resulteert in een aandeel van 37% hernieuwbare energie.

Het aandeel van hernieuwbare energie bij PV-panelen is afhankelijk van het aantal toegepaste panelen. In dit onderzoek is uitgegaan van 4 extra panelen, waarmee het totaal op 9 uitkomt. Dit levert een totaal aandeel hernieuwbare energie op van 36%.

Kosteneffectiviteit van de maatregelen

Onderstaande tabellen geven de investering weer per maatregel ten opzichte van de EPC 0,4 referentiewoning. De kosteneffectiviteit is weergegeven in euro per 0,1 kWh/m², zodat de maatregelen onderling vergeleken kunnen worden.

Het beter isoleren van de schil levert wisselende resultaten op voor de kosteneffectiviteit. Het extra isoleren van de vloer vergt in absolute zin de laagste investering. Bij BENG 1 levert het weinig op in kWh/m², maar voor BENG 2 is de kosteneffectiviteit vergelijkbaar met het isoleren van

de gevel. Hoewel de kosten voor het extra isoleren van de gevel hoger zijn dan bij de tussenwoning vanwege de extra zijgevel, is de verlaging in kWh/m² in verhouding ongeveer gelijk. Hierdoor is de kosteneffectiviteit nagenoeg gelijk voor beide types. Het isoleren van het dak is wat minder effectief. Het toepassen van drievoudige beglazing in plaats van HR++-glas is van de bouwkundige maatregelen het meest effectief; het levert veel op in kWh/m² en de extra investeringskosten zijn vrij laag.

Voor meer informatie over luchtdicht bouwen en de te treffen maatregelen, verwijzen wij naar het onderzoek Luchtdicht bouwen.

Het vervangen van de HR-ketel voor een warmtepomp inclusief bijbehorende afgiftesystemen zorgt voor de hoogste extra investering ten opzichte van de EPC 0,4 referentiewoning. Daarentegen is de verlaging in kWh/m² behoorlijk groot in vergelijking met de overige maatregelen. De installatietechnische maatregelen hebben min of meer dezelfde effectiviteit per geïnvesteerde euro op BENG 2.

Bouwkundige maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. hoekwoning basis EPC 0,4

Gevel isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 4,5 naar 6,0		€ 640
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-2,1	€ 30
BENG 2	-3,2	€ 20
BENG 3	-	-

Dak isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 6,0 naar 7,0		€ 480
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-0,5	€ 96
BENG 2	-0,8	€ 60
BENG 3	-	-

Vloerisolatie		
Verhogen Rc-waarde van 3,5 naar 5,0		€ 120
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-0,2	€ 60
BENG 2	-0,8	€ 15
BENG 3	-	-

Drievoudige beglazing (HR+++)		
Van HR++ naar HR+++		€ 520
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-3,0	€ 17
BENG 2	-5,5	€ 9
BENG 3	-	-

Luchtdichtheid		
qv;10 waarde verhogen van 0,4 naar 0,2		€ 1.360
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-1,7	€ 80
BENG 2	-2,7	€ 50
BENG 3	-	-

Installatietechnische maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. hoekwoning basis EPC 0,4

Warmtepomp		
In plaats van HR-ketel		€ 5.570
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-41,4	€ 13
BENG 3	20% -> 71%	-

Zonneboiler (2,5 m ²)		
In plaats van douche-WTW		€ 1.690
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-11,6	€ 15
BENG 3	20% -> 37%	-

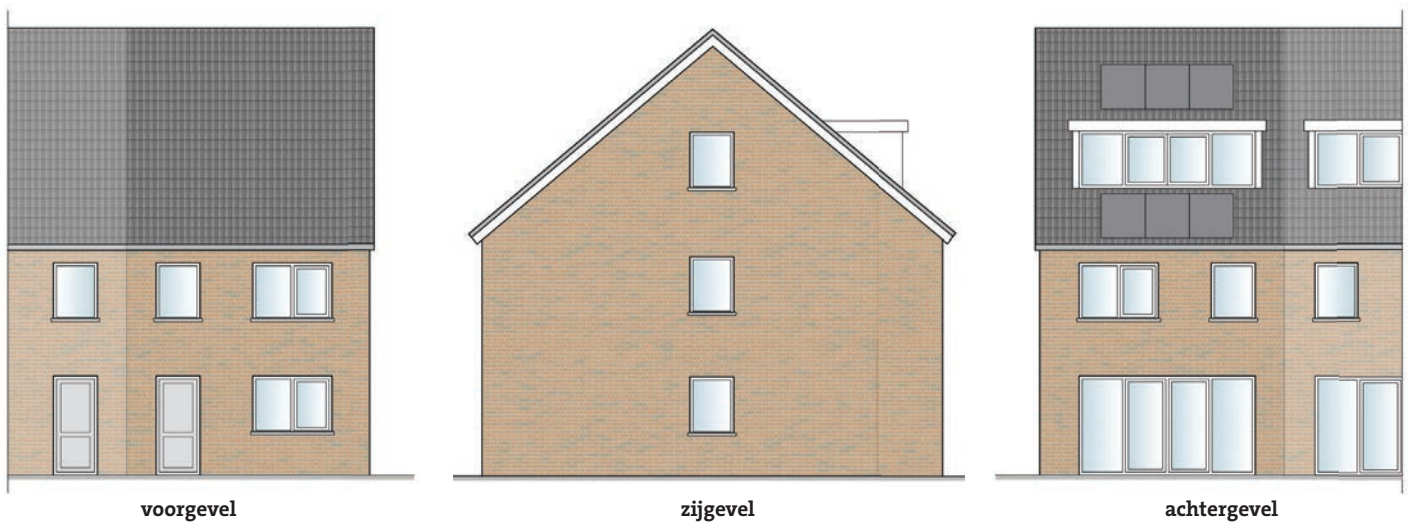
Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.280
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-8,9	€ 14
BENG 3	20% -> 23%	-

4 extra PV-panelen		
Van 5 naar 9 panelen		€ 1.400
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-12,0	€ 12
BENG 3	20% -> 36%	-

Onderzoek kosteneffectiviteit BENG

Twee-onder-een-kapwoning

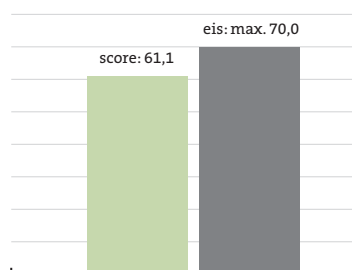
De twee-onder-een-kapwoning is vergelijkbaar met de hoekwoning, echter is het totale gebruiksoppervlak ruim 30 m² groter, namelijk 137 m². De referentiewoning is daarnaast voorzien van een dakkapel en de warmtebehoefte ligt iets hoger dan bij de tussen- en hoekwoning. In de basis is de woning voorzien van 6 PV-panelen. In onderstaande tabel is de invulling van deze referentiewoning verder toegelicht. Van verschillende maatregelen bepalen we vervolgens de invloed op enerzijds de energiereductie en anderzijds de kosteneffectiviteit binnen de BENG criteria.



Uitgangspunten twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

Ontwerp		Bouwkundig		Installaties	
lengte (buitenwerks)	10,5 m	R _c vloer	3,5	warmteopwekking	HR-combiketel (CW5)
breedte (buitenwerks)	5,7 m	R _c wand	4,5		douche-WTW
oppervlakte (Ag)	137 m ²	R _c dak	6,0	ventilatiesysteem	C
dak	zadel 40°	U _w kozijnen	1,35	PV-panelen	6
verdiepingshoogte	2,9 m	qv;10	0,40		
nokhoogte	10,5 m	zonwering	nee		
oriëntatie achtergevel	zuidwest				

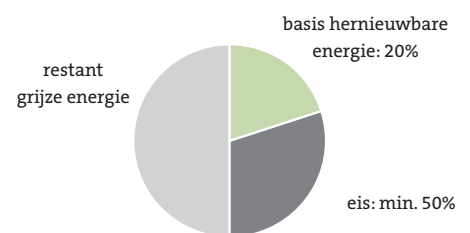
BENG score twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4



BENG 1:
Energiebehoefte (in kWh/m²)



BENG 2:
Primair energiegebruik (in kWh/m²)



BENG 3:
Aandeel hernieuwbare energie (%)

BENG 1, energiebehoefte

De twee-onder-een-kapwoning behaalt op BENG 1 een resultaat van 61,1 kWh/m². Hiermee voldoet de woning aan de voorlopige eis van maximaal 70,0 kWh/m². De bouwkundige maatregelen – het verhogen van de isolatiewaarden, luchtdichtheid en het toepassen van zonwering – hebben invloed op de energiebehoefte.

Het toepassen van zonwering op de achtergevel (zuidwest) levert het hoogste resultaat op binnen de energiebehoefte, namelijk -3,5 kWh/m².

In de berekening hebben we de beglazing in de hardhouten kozijnen aangepast van dubbel naar drievoudig glas. De gemiddelde U-waarde wordt daarmee circa 0,95 W/m²K. Dit levert een verlaging op van 3,0 kWh/m². Het extra isoleren van de gevel of het dak levert ongeveer dezelfde resultaten op als bij de hoekwoning.

Een verlaging van de qv;10-waarde van 0,4 naar 0,2 dm³/s per m² vermindert de energiebehoefte met 1,8 kWh/m².

BENG 2, primair energiegebruik

De bij BENG 1 genomen bouwkundige maatregelen voor het verlagen van de energiebehoefte hebben een iets hogere invloed in kWh/m² op het primair energiegebruik. De invloeden zijn verder vergelijkbaar, behalve voor de zonwering geldt een verhoging in plaats van een verlaging. Dit komt door het beperken van de verwarmingsbijdrage van de zon in het voor- en naseizoen.

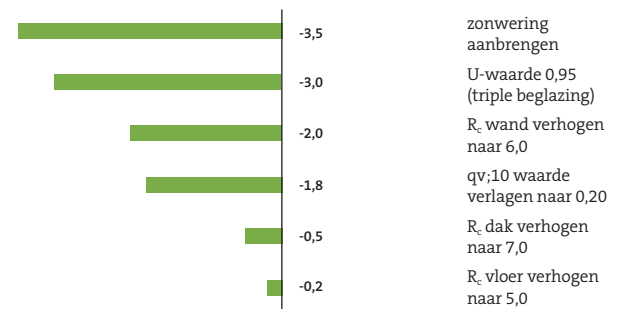
Het toepassen van een warmtepomp brengt het primair energiegebruik flink naar beneden, met 40,1 kWh/m². Het primair energiegebruik komt met deze maatregel uit op 16,8 kWh/m² en de twee-onder-een-kapwoning voldoet daarmee aan de eis van maximaal 30,0 kWh/m².

Het toepassen van een zonneboiler in plaats van een douche-WTW, geeft een besparing 15,4 kWh/m². Bij de twee-onder-een-kapwoning is gekozen voor een zonneboiler met een groter oppervlak dan bij de tussen- en hoekwoning. Het effect is daarom iets groter dan bij de hoekwoning.

De referentiewoning is voorzien van ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer). Het vervangen van dit systeem door systeem D (mechanische aan- en afvoer), vermindert het energiegebruik met 9,8 kWh/m².

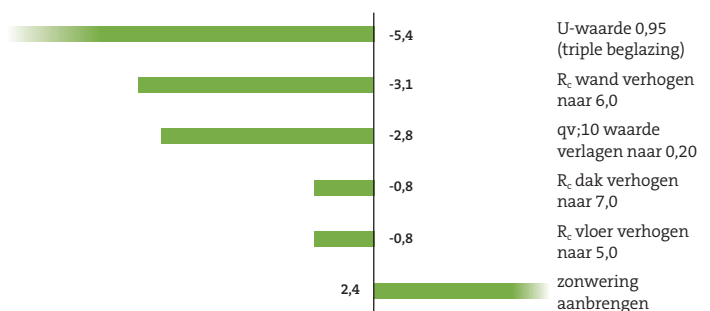
Het toepassen van vier extra PV-panelen verlaagt het primair energiegebruik van 56,9 naar 47,6 kWh/m².

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

BENG 2: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

BENG 2: effecten installatietechnische maatregelen (kWh/m²)

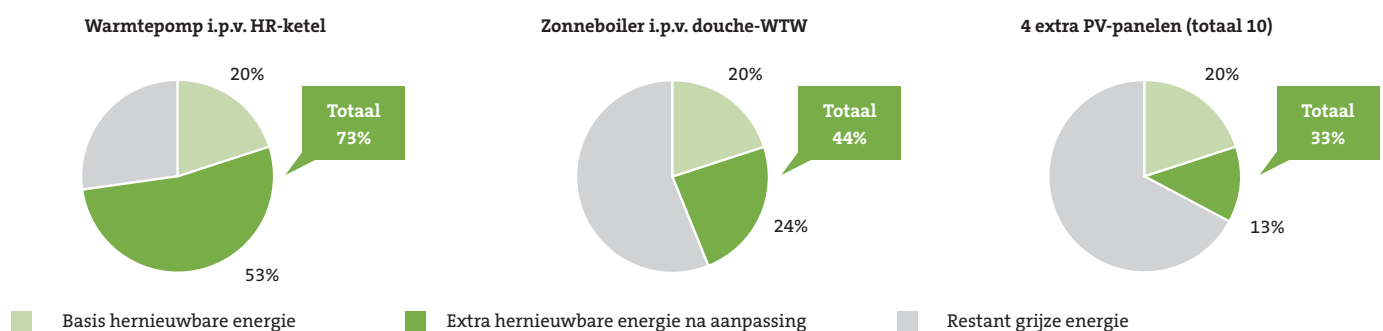


Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

BENG 3, aandeel hernieuwbare energie

Hernieuwbare energie kan grotendeels worden opgewekt door het toepassen van een warmtepomp. Deze verhoogt het aandeel van hernieuwbare energie van 20% naar 73%. Met deze maatregel voldoet de referentiewoning ruimschoots aan de eis van 50%. Het vervangen van

BENG 3: Effecten installatietechnische maatregelen (%)



de douche-WTW door een zonneboiler resulteert in een aandeel van 44% hernieuwbare energie.

Het aandeel van hernieuwbare energie bij PV-panelen is afhankelijk van het aantal toegepaste panelen. In dit onderzoek is uitgegaan van 4 extra panelen, waarmee het totaal op 10 uitkomt. Dit levert een totaal aandeel hernieuwbare energie op van 33%.

Kosteneffectiviteit van de maatregelen

Onderstaande tabellen geven weer wat per maatregel de investeringskosten zijn ten opzichte van de EPC 0,4 referentiewoning. De kosteneffectiviteit is weergegeven in euro per 0,1 kWh/m², zodat een vergelijking gemaakt kan worden tussen de maatregelen.

Het beter isoleren van de schil levert wisselende resultaten op voor de kosteneffectiviteit. Het extra isoleren van de vloer vergt in absolute

zin de laagste investering. Bij BENG 1 levert het weinig op in kWh/m², maar voor BENG 2 is de kosteneffectiviteit vergelijkbaar met het isoleren van de gevel. Het isoleren van het dak is wat minder effectief. Het toepassen van drievoudige beglazing in plaats van HR++-glas is van de bouwkundige maatregelen het meest effectief; het levert veel op in kWh/m² en de extra investeringskosten zijn vrij laag.

Het vervangen van de HR-ketel voor een warmtepomp inclusief bijbehorende afgiftesystemen zorgt voor de hoogste extra investering ten opzichte van de EPC 0,4 referentiewoning. Omdat het vermogen van de warmtepomp hoger is bij de twee-onder-een-kapwoning, zijn de investeringskosten hier hoger dan bij de tussen- en hoekwoning. Daarentegen is de verlaging in kWh/m² behoorlijk groot in vergelijking met de overige maatregelen. De installatietechnische maatregelen hebben min of meer dezelfde effectiviteit per geïnvesteerde euro op BENG 2.

Bouwkundige maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

Gevel isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 4,5 naar 6,0		€ 750
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-2,0	€ 38
BENG 2	-3,1	€ 24
BENG 3	-	-

Dak isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 6,0 naar 7,0		€ 630
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-0,5	€ 126
BENG 2	-0,8	€ 79
BENG 3	-	-

Vloerisolatie		
Verhogen Rc-waarde van 3,5 naar 5,0		€ 150
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-0,2	€ 75
BENG 2	-0,8	€ 19
BENG 3	-	-

Drievoudige beglazing (HR+++)		
Van HR++ naar HR+++		€ 680
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-3,0	€ 23
BENG 2	-5,4	€ 13
BENG 3	-	-

Installatietechnische maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

Warmtepomp		
In plaats van HR-ketel		€ 7.000
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-40,1	€ 16
BENG 3	20% -> 73%	-

Zonneboiler (5,0 m ²)		
In plaats van douche-WTW		€ 2.520
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-15,4	€ 16
BENG 3	20% -> 44%	-

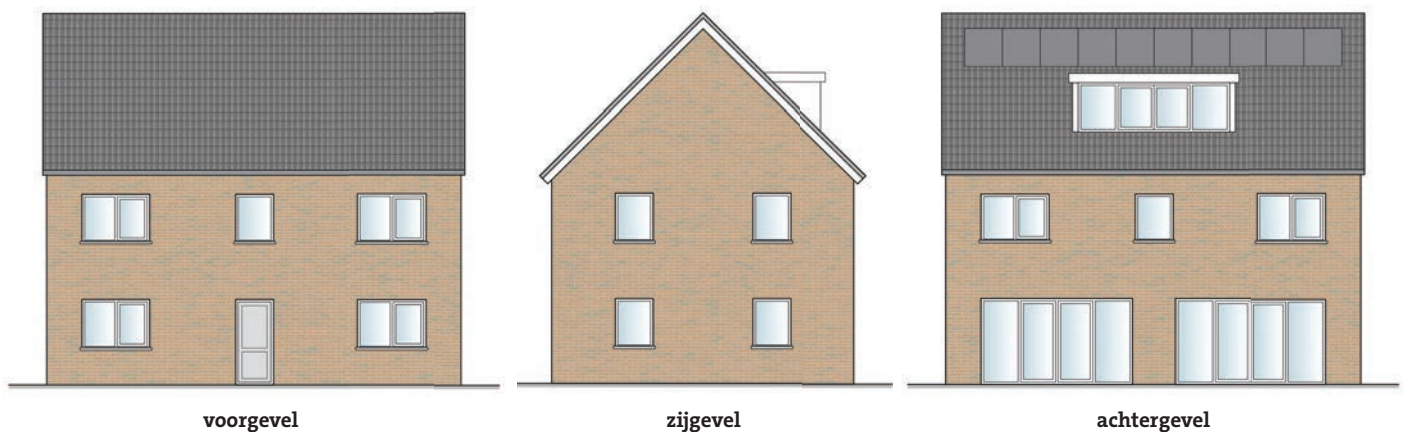
Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.300
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-9,8	€ 13
BENG 3	20% -> 23%	-

4 extra PV-panelen		
Van 6 naar 10 panelen		€ 1.300
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-9,3	€ 14
BENG 3	20% -> 33%	-

Onderzoek kosteneffectiviteit BENG

Vrijstaande woning

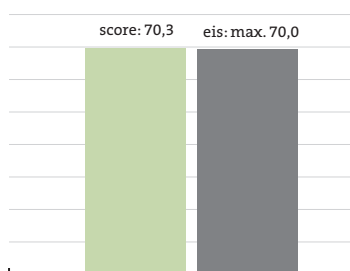
De vrijstaande woning heeft een totaal gebruiksoppervlak van bijna 200 m². De referentiewoning is, evenals de twee-onder-een-kapwoning, voorzien van een dakkapel. In de basis is de woning voorzien van 10 PV-panelen. In onderstaande tabel is de invulling van deze referentiewoning verder toegelicht. Van verschillende maatregelen bepalen we vervolgens de invloed op enerzijds de energiereductie en anderzijds de kosteneffectiviteit binnen de BENG criteria.



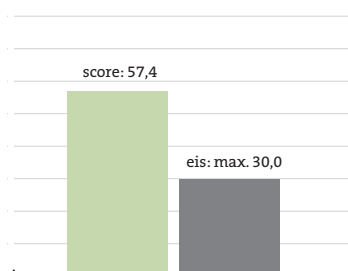
Uitgangspunten vrijstaande woning basis EPC 0,4

Ontwerp		Bouwkundig		Installaties	
lengte (buitenwerks)	11,0 m	R _c vloer	3,5	warmteopwekking	HR-combiketel (CW5)
breedte (buitenwerks)	8,0 m	R _c wand	4,5		douche-WTW
oppervlakte (Ag)	198 m ²	R _c dak	6,0	ventilatiesysteem	C
dak	zadel 45°	U _w kozijnen	1,35	PV-panelen	10
verdiepingshoogte	2,9 m	qv;10	0,40		
nokhoogte	10,0 m	zonwering	nee		
oriëntatie achtergevel	zuidwest				

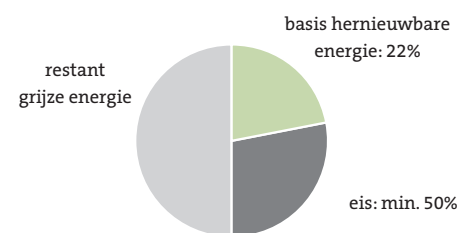
BENG score vrijstaande woning basis EPC 0,4



BENG 1:
Energiebehoefte (in kWh/m²)



BENG 2:
Primair energiegebruik (in kWh/m²)



BENG 3:
Aandeel hernieuwbare energie (%)

BENG 1, energiebehoefte

De vrijstaande woning behaalt een score van 70,3 kWh/m² op BENG 1. Hiermee voldoet de woning bijna aan de voorlopige eis van maximaal 70,0 kWh/m². De bouwkundige maatregelen – het verhogen van de isolatiewaarden, luchtdichtheid en het toepassen van zonwering – hebben invloed op de energiebehoefte.

Het toepassen van zonwering op de achtergevel (zuidwest) levert het hoogste resultaat op binnen de energiebehoefte, namelijk -4,5 kWh/m². De vrijstaande woning heeft het meeste geveloppervlak. Dit is goed terug te zien in de effecten van de gevelisolatie en het aanpassen van de kozijnen. In de berekening hebben we de beglazing in de hardhouten kozijnen aangepast van dubbel naar drievoudig glas. De gemiddelde U-waarde wordt daarmee circa 0,95 W/m²K. Dit levert een verlaging op van 3,7 kWh/m². Het isoleren van de gevel zorgt voor 2,4 kWh/m² minder energiebehoefte.

Een verlaging van de qv;10-waarde van 0,4 naar 0,2 dm³/s per m² vermindert de energiebehoefte met 1,8 kWh/m². Dit is voor alle woningen nagenoeg hetzelfde.

BENG 2, primair energiegebruik

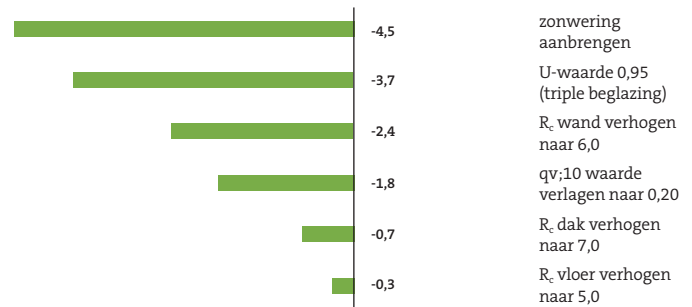
De bij BENG 1 genomen bouwkundige maatregelen voor het verlagen van de energiebehoefte hebben een iets hogere invloed in kWh/m² op het primair energiegebruik. De invloeden zijn verder vergelijkbaar, behalve voor de zonwering geldt een verhoging in plaats van een verlaging. Dit komt door het beperken van de verwarmingsbijdrage van de zon in het voor- en naseizoen.

Het toepassen van een warmtepomp brengt het primair energiegebruik flink naar beneden, met 43,7 kWh/m². Het primair energiegebruik komt met deze maatregel uit op 13,7 kWh/m² en de vrijstaande woning voldoet daarmee aan de eis van maximaal 30,0 kWh/m².

In de berekening is de douche-WTW vervangen door een zonneboiler, dit levert een besparing op van 12,1 kWh/m² is. Bij de vrijstaande woning is, evenals bij de twee-onder-een-kapwoning, gekozen voor een zonneboiler met een groter oppervlak.

De EPC 0,4 referentiewoning is voorzien van ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer). Het vervangen van dit systeem door systeem D (mechanische aan- en afvoer), vermindert het energiegebruik met 10,4 kWh/m².

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



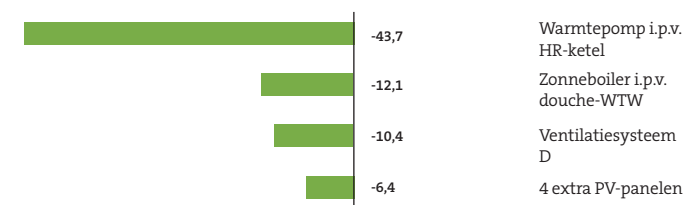
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. vrijstaande woning basis EPC 0,4

BENG 2: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. vrijstaande woning basis EPC 0,4

BENG 2: effecten installatietechnische maatregelen (kWh/m²)



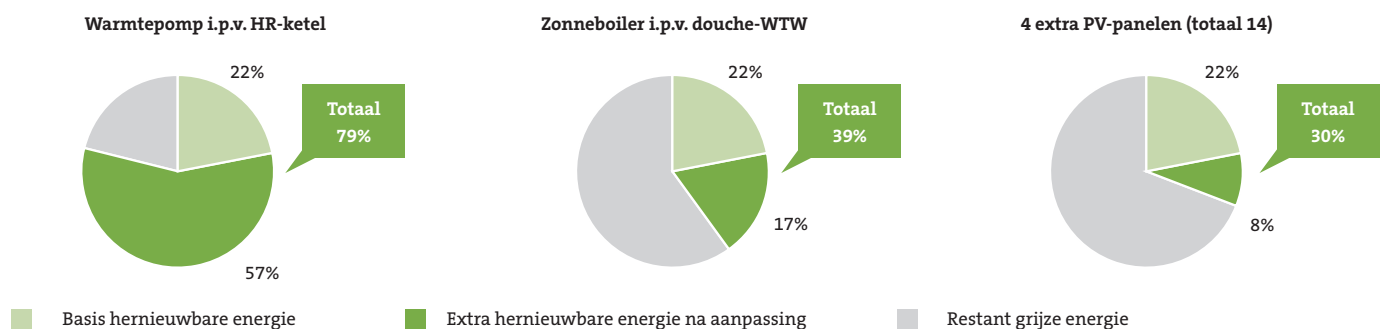
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. vrijstaande woning basis EPC 0,4

Het toepassen van vier extra PV-panelen verlaagt het primair energiegebruik van 57,4 naar 51,0 kWh/m².

BENG 3, aandeel hernieuwbare energie

Hernieuwbare energie kan grotendeels worden opgewekt door het

BENG 3: Effecten installatietechnische maatregelen (%)



toepassen van een warmtepomp. Deze verhoogt het aandeel van hernieuwbare energie van 22% naar 79%. Met deze maatregel voldoet de referentiewoning ruimschoots aan de eis van 50%. Het vervangen van de douche-WTW door een zonneboiler resulteert in een aandeel van 39% hernieuwbare energie.

Het aandeel van hernieuwbare energie bij PV-panelen is afhankelijk van het aantal toegepaste panelen. In dit onderzoek is uitgegaan van 4 extra panelen, waarmee het totaal op 14 uitkomt. Dit levert een totaal aandeel hernieuwbare energie op van 30%.

Kosteneffectiviteit van de maatregelen

Onderstaande tabellen geven de investering weer per maatregel ten opzichte van de EPC 0,4 referentiewoning. De kosteneffectiviteit is weergegeven in euro per 0,1 kWh/m², zodat de maatregelen onderling vergeleken kunnen worden.

Het beter isoleren van de schil levert wisselende resultaten op voor de kosteneffectiviteit. Het extra isoleren van de vloer vergt in absolute zin de laagste investering. Bij BENG 1 levert het weinig op in kWh/m², maar voor BENG 2 is de kosteneffectiviteit vergelijkbaar met het isoleren van de gevel. Het isoleren van het dak is wat minder effectief. Het toepassen van drievoudige beglazing in plaats van HR++-glas is van

de bouwkundige maatregelen het meest effectief; het levert veel op in kWh/m² en de extra investeringskosten zijn vrij laag.

Het vervangen van de HR-ketel voor een warmtepomp inclusief bijbehorende afgiftesystemen zorgt voor de hoogste extra investering ten opzichte van de EPC 0,4 referentiewoning. Omdat het vermogen van de warmtepomp hoger is bij de vrijstaande woning, zijn de investeringskosten hier hoger dan bij de twee-onder-een-kapwoning. Daarentegen is de verlaging in kWh/m² behoorlijk groot in vergelijking met de overige maatregelen. De installatietechnische maatregelen hebben min of meer dezelfde effectiviteit per geïnvesteerde euro op BENG 2.

Bouwkundige maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. vrijstaande woning basis EPC 0,4

Gevel isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 4,5 naar 6,0		€ 1.310
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-2,4	€ 55
BENG 2	-3,7	€ 35
BENG 3	-	-

Dak isolatie		
Verhogen Rc-waarde van 6,0 naar 7,0		€ 1.000
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-0,7	€ 143
BENG 2	-0,9	€ 111
BENG 3	-	-

Vloerisolatie		
Verhogen Rc-waarde van 3,5 naar 5,0		€ 220
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-0,3	€ 73
BENG 2	-0,8	€ 28
BENG 3	-	-

Drievoudige beglazing (HR+++)		
Van HR++ naar HR+++		€ 1.230
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-3,7	€ 33
BENG 2	-6,6	€ 19
BENG 3	-	-

Installatietechnische maatregelen - extra investeringskosten t.o.v. vrijstaande woning basis EPC 0,4

Warmtepomp		
In plaats van HR-ketel		€ 8.550
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-	-
BENG 2	-43,7	€ 20
BENG 3	22% -> 79%	-

Zonneboiler (5,0 m ²)		
In plaats van douche-WTW		€ 2.520
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-	-
BENG 2	-12,1	€ 21
BENG 3	22% -> 39%	-

Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.300
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-	-
BENG 2	-10,4	€ 13
BENG 3	22% -> 25%	-

4 extra PV-panelen		
Van 10 naar 14 panelen		€ 1.100
	Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²
BENG 1	-	-
BENG 2	-6,4	€ 17
BENG 3	22% -> 30%	-