



BENG 1
beperk
energiebehoefte



BENG 2
beperk aandeel
fossiele energie



BENG 3
verhoog aandeel
hernieuwbare energie

Whitepaper

ONDERZOEK KOSTENEFFECTIVITEIT BIJNA ENERGIENEUTRALE GEBOUWEN

SAMENSTELLING:

ing. Robbert Greup
ing. Marijke van Deuren
ing. Ed van den Eijkel
ing. Max de Jong
Tim Oude Elferink
Stefania Secci
Ruben van den Eijkel
Emiel Stoop
Jorran Klaassens
Michelle Lieverse
Charlotte de Jong
Wim van Dorp
Paul Spindel

ACQUISITIE

Jules Otto

DIRECTIE|UITGEVER

ing. Max de Jong

VORMGEVING

Alcedo Media BV, Nieuwveen

FOTOGRAFIE

Nadine Maas

Uitgave van: Archidat Bouwformatie

ALLE RECHTEN VOORBEHOUDEN

Niets uit deze uitgave mag zonder uitdrukkelijke, voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever verveelvoudigd en / of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, beeldplaat, magnetische schijf of band, opslag in een door derden door raadpleegsysteem, of op welke wijze dan ook, elektronisch, mechanisch of anderszins. Dit verbod betreft tevens de gehele of gedeeltelijke bewerking. De uitgever verklaart dat deze uitgave op zorgvuldige wijze in haar beste weten is samengesteld; evenwel kan de uitgever op geen enkele wijze instaan voor de juistheid of volledigheid van de informatie. De uitgever aanvaardt dan ook geen enkele aansprakelijkheid voor schade, van welke aard dan ook, die het gevolg is van handelingen en / of beslissingen die gebaseerd zijn op bedoelde informatie. Gebruikers van deze uitgave wordt met nadruk aangeraden deze informatie niet geïsoleerd, maar uitsluitend in combinatie met hun professionele kennis te gebruiken, en gebruikte informatie op zijn juistheid te toetsen.

Over deze whitepaper

Met deze whitepaper geven wij inzicht in de consequenties die de nieuwe BENG- eisen met zich mee brengen. Aan de hand van vier uitgewerkte referentiewoningen worden de verschillen tussen de EPC en de nieuwe BENG in kaart gebracht. Vervolgens geven wij de kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelen aan.

Archidat Bouwformatie heeft de afgelopen jaren uitvoerig onderzoek verricht naar de haalbaarheid en kosteneffectiviteit van de aangescherpte regelgeving.

Inhoud

Bijna bij 0	7
Max de Jong, directeur/uitgever Archidat Bouwformatie	
Inleiding - Bijna energieneutrale gebouwen	8
De grenswaarden binnen BENG zijn puur overheidsbeleid	10
Harm Valk, voorzitter projectgroep bepalingsmethode NTA 8800	
Studie van de NTA 8800 geeft goed beeld van te verwachten effecten	12
Remi ten Have, directeur/eigenaar Earth Energie Advies B.V.	
Klimaatdoelstellingen - Overheid moet ambities waarmaken	14
Tijdslijn - De weg naar energieneutrale gebouwen	18
Onderzoek kosteneffectiviteit BENG	20
Tussenwoning	22
Hoekwoning	25
Twee-onder-een-kapwoning	28
Vrijstaande woning	31
Onderzoek kosteneffectiviteit Luchtdicht bouwen	34

Max de Jong, directeur/uitgever Archidat Bouwformatie

Bijna bij 0

“Fossiele brandstoffen gaan eruit. Niemand ontkomt aan de gevolgen van de energietransitie.” Dit was de openingszin waarmee ik mijn voorwoord in de BouwdetailWijzer Duurzaam Energiezuinig Bouwen in 2017 begon. Wij konden er ons toen nog niet zoveel bij voorstellen: aardgasvrij bouwen. Inmiddels is het zover, per 1 juli 2018 is de Wet VET (Voortgang Energietransitie) in werking getreden. Vanaf deze datum is de gasaansluitplicht vervallen. De ontwikkelingen bevinden zich inmiddels in een stroomversnelling, Nederland gaat van het gas af, nieuwbouwwoningen beschikken niet meer over een CV-installatie en de nieuwe BENG-eisen worden per 1 januari 2020 ingevoerd. Over 2 jaar zullen wij het vanzelfsprekend vinden dat woningen energieneutraal zijn.

Uit het Energieakkoord en uit de Europese richtlijn energieprestatie van gebouwen (EPBD), vloeit de verplichting voort dat alle nieuwe gebouwen uiterlijk 1 januari 2020 moeten voldoen aan de eisen gesteld aan bijna energieneutrale gebouwen (BENG).

Het is bijna zover...

In 2015 is een start gemaakt met de presentatie van de eerste voorlopige BENG-eisen aan de Tweede Kamer, waarna in 2016 de koplopers in de bouw aan de slag zijn gegaan met BENG. In 2018 is de nieuwe bepalingsmethode voor de energieprestatie, de Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8800, ontwikkeld. Deze komt in de plaats van NEN 7120, de norm waarmee tot eind 2019 de EPC nog kan worden berekend.

Actueel tijdspad

Direct na het gereedkomen van het concept NTA, is gestart met een studie voor kostenoptimalisatie (KOS). Vanuit de uitkomsten zijn eind november 2018 de BENG-eisen voor de verschillende bouwtypen vastgesteld. Op 20 november 2018 zijn deze voorlopige eisen bekend gemaakt tijdens de NEN-presentatie in Barneveld. Vanaf het moment dat de bepalingsmethode bekend werd en de voorlopige eisen waren vastgesteld, kon er gestart worden met het ontwikkelen van de compleet nieuwe software voor de NTA 8800. Verwacht wordt dat de software voor het berekenen van BENG na zomer 2019 beschikbaar komt voor de markt.

Wettelijke route

In de loop van dit jaar volgen dan ook nog de wettelijke stappen om de

BENG-eisen in de bouwregelgeving op te nemen en zal de nieuwe wet door de kamer moeten worden aangenomen.

Archidat Bouwformatie team in actie

Het afgelopen jaar heeft het Archidat Bouwformatie team zich verdiept in de nieuwe NTA 8800 en is nauw betrokken geweest bij de werkgroep die belast is met de ontwikkeling van de software. Dit heeft ertoe geleid dat wij in staat waren om BENG-berekeningen te maken en de uitkomsten hiervan te toetsen aan de voorlopige eisen.

Betrouwbaar en realistisch beeld

Alle referentiemodellen en gegevens die u in deze uitgave aantreft zijn dan ook doorgerekend aan de hand van de NTA 8800. Deze geven daarmee een betrouwbaar en realistisch beeld van de invloed die verschillende energiebesparende maatregelen op de BENG-berekeningen hebben.

Uitkomsten

Met de invoering van de NTA 8800 en de bijbehorende eisen, is een volgende stap gezet in de energietransitie. De BENG-eisen zullen dan ook het kader vormen waarbinnen de bouw de komende jaren een invulling geeft aan de verdere verduurzaming van onze gebouwde omgeving.

Namens het gehele Archidat Bouwformatie team wens ik u veel energiebesparende inspiratie, ontwerp- en bouwplezier toe.

Inleiding

Bijna energieneutrale gebouwen (BENG)

Vanaf 1 januari 2020 – voor overheidsgebouwen 1 januari 2019 – moeten alle aanvragen voor omgevingsvergunningen voor nieuwbouw in Nederland voldoen aan de eisen voor bijna energieneutrale gebouwen (BENG). De oorsprong van de BENG ligt in het Energieakkoord voor duurzame groei en de Europese richtlijn EPBD.

De BENG-eisen bestaan uit drie indicatoren. Deze hebben betrekking op de energieprestatie van gebouwen op jaarbasis. Deze BENG-indicatoren zijn:

- **BENG 1, energiebehoefte** – De maximale energiebehoefte in kilowattuur per vierkante meter gebruiksoppervlak (kWh/m²) per jaar.
- **BENG 2, primair fossiel energiegebruik** – Het maximale primair fossiel energiegebruik in kilowattuur per vierkante meter gebruiksoppervlak (kWh/m²) per jaar.
- **BENG 3, aandeel hernieuwbare energie** – Het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten ten opzichte van het totale energiegebruik.

Om dit op gebouwniveau te kunnen bepalen is mede vanwege de gewenste snelle invoer van de eisen een Nederlandse Technische Afspraak opgesteld: de NTA 8800. Deze vervangt vanaf 1 januari 2020 de NEN 7120. De NTA 8800 is niet slechts een wijziging van de huidige NEN 7120, maar een geheel nieuwe bepalingsmethode voor de energieprestatie van gebouwen. Dit houdt in dat oude EPC-berekeningen, gebaseerd op NEN 7120, niet meer gebruikt kunnen worden om de energieprestatie van gebouwen te bepalen. Het is namelijk niet mogelijk om een bestaand EPC-resultaat om te rekenen naar BENG.

Voorlopige resultaten

Met deze publicatie geven wij meer inzicht in de nieuwe BENG-methodiek en de effecten die verschillende maatregelen hebben binnen de nieuwe norm. Voor de berekeningen in dit handboek is gebruik gemaakt van de rekenmethodieken zoals deze staan omschreven in de NTA 8800 en de voorlopige BENG-eisen zoals deze zijn gepresenteerd tijdens het NEN-congres op 20 november 2018. Het is te verwachten dat in de loop van 2019 aanvullingen en/of wijzigingen worden doorgevoerd die deze resultaten kunnen beïnvloeden.

Software

Op dit moment is er nog geen software beschikbaar om volgens de NTA 8800 te rekenen. Naar verwachting komt gevalideerde software in het derde kwartaal van 2019 beschikbaar. De bouwsector kan dus pas na de zomer beschikken over de nodige software om zelf aan de slag te gaan.

Referentiewoningen

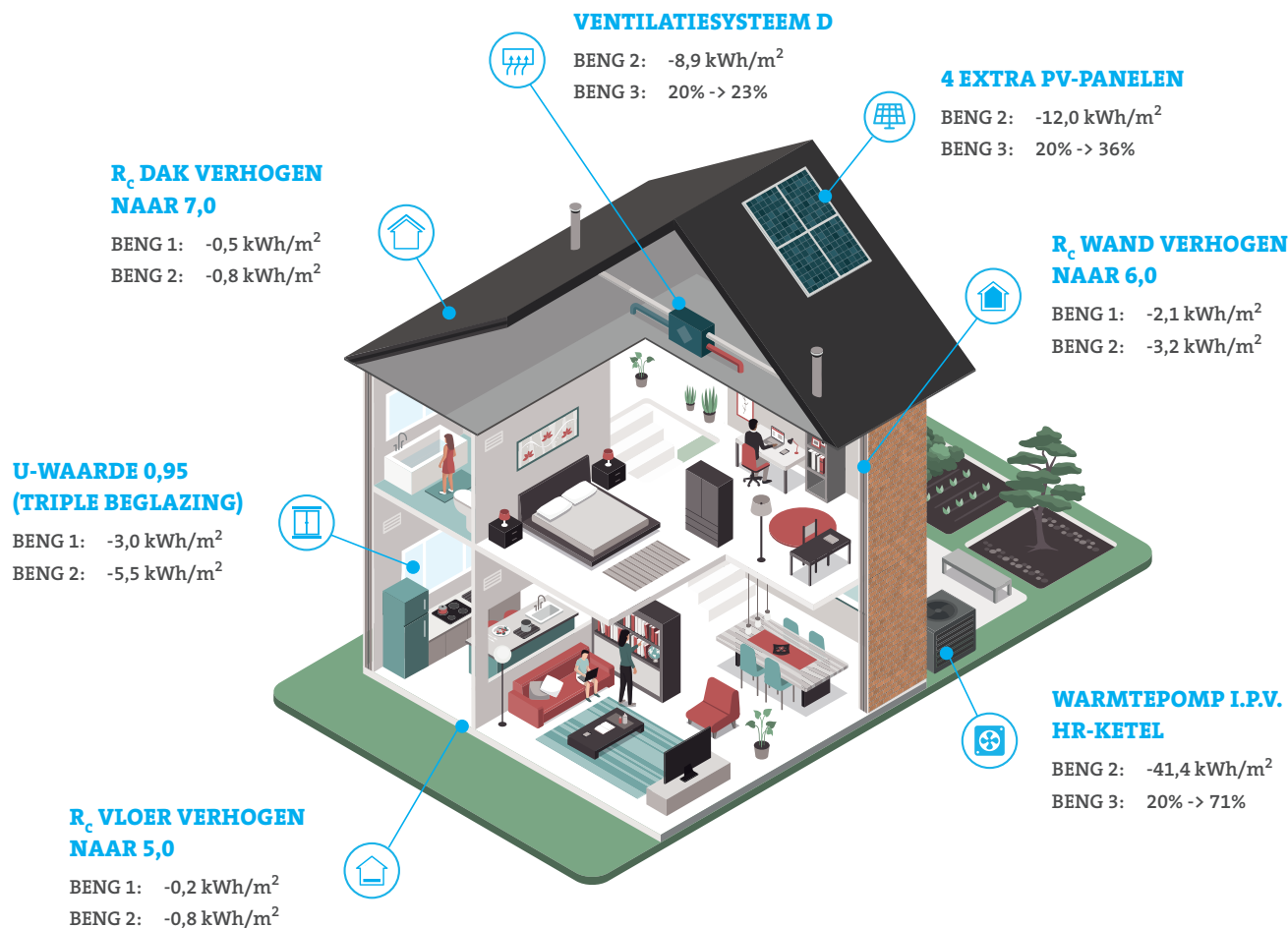
Om mogelijke maatregelen op woningniveau te kunnen doorrekenen zijn door ons een viertal referentiewoningen uitgewerkt, te weten; een tussenwoning, hoekwoning, twee-onder-een-kapwoning en vrijstaande woning. De uitgangspunten bij deze woningen zijn de huidige eisen in het Bouwbesluit. De uitkomsten van de doorrekeningen zijn per referentiewoning weergegeven.

Praktijk

Een aantal maatregelen zijn per woningtype afzonderlijk conform de NTA8800 doorgerekend. Hierdoor ontstaat een goed inzicht in de effecten op het energieverbruik. In de praktijk beïnvloeden de verschillende maatregelen elkaar, hiermee is in de berekeningen geen rekening gehouden. Het is dus niet mogelijk om de verschillende maatregelen bij elkaar op te tellen. De overzichten zijn dan ook uitsluitend bedoeld om meer inzicht te krijgen in de effecten van de afzonderlijke maatregelen.

Om te bepalen of een woning aan de BENG-eisen voldoet zal altijd een complete berekening gemaakt moeten worden waarbij de gemaakte keuzes gezamenlijk worden doorgerekend. Het is vervolgens aan de opdrachtgever, adviseur, ontwerper en bouwer om een keuze te maken uit de beschikbare maatregelen, hierbij komen uiteraard ook andere aspecten dan energieverbruik aan de orde.

Wij hebben binnen dit onderzoek een selectie gemaakt uit de beschikbare maatregelen die de energievraag kunnen beperken. Dit onderzoek



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				

moet dan ook gezien worden als een eerste aanzet tot inzicht in de invloed die bouwkundige- en installatietechnische maatregelen binnen de BENG criteria hebben. Aan de hand van de uitkomsten zijn duidelijke verschillen zichtbaar tussen de effecten van de gekozen maatregelen.

Luchtdicht bouwen

Een aandachtspunt binnen BENG is luchtdicht bouwen. Met luchtdicht bouwen wordt het beperken van de infiltratie bedoeld, ofwel het terugdringen van de onbedoelde luchtlekken. Om meer inzicht te krijgen is specifiek onderzoek gedaan naar de te treffen maatregelen om infiltratie te verminderen.

Kosteneffectiviteit

Naast wat een maatregel oplevert in besparing per kWh/m² per jaar, is het natuurlijk ook van belang te weten wat de kosten van een

specifieke maatregel zijn. Daarom is er speciale aandacht besteed aan de kosteneffectiviteit van de maatregelen. Om de maatregelen met elkaar te kunnen vergelijken is de kosteneffectiviteit in het onderzoek uitgedrukt in euro per 0,1 kWh/m² besparing per jaar. Dit is voor iedere referentiewoning, per maatregel, afzonderlijk in kaart gebracht.

Bouwdetails

De thermische schil blijft een belangrijk onderdeel in de energiepreatatie van woningen. Het spreekt voor zich dat hierbij materiaalgebruik en het toepassen van de juiste detailleringen van groot belang is. Hiervoor zijn in samenwerking met toonaangevende fabrikanten en leveranciers, door ons een groot aantal bouwkundige details ontwikkeld. De in deze publicatie opgenomen details voldoen uiteraard allemaal aan de eisen van het Bouwbesluit en zijn digitaal terug te vinden op de website: bouwdetails.bouwformatie.nl.

Harm Valk, voorzitter projectgroep bepalingmethode NTA 8800:

De grenswaarden binnen BENG zijn puur overheidsbeleid

Harm Valk is partner en senior adviseur bij Nieman Raadgevende Ingenieurs: “Mijn werkterrein is energie en duurzaamheid in de meest brede zin. Van praktische projecten schuif ik steeds meer op naar de beleidskant. Daarnaast ben ik voorzitter van de projectgroep die de nieuwe bepalingmethoden voor de energieprestatie voor gebouwen heeft gemaakt: NTA 8800, de rekenregels voor bijna energieneutrale gebouwen ofwel BENG.” Harm vat het werk van de projectgroep helder samen: “Als BENG de auto is, dan maken wij de motor.”

Focus op rekenregels BENG

Harm: “NTA 8800 bevat geen eisen voor de energieprestatie van gebouwen, maar is een bepalingmethode waarmee wordt vastgesteld of aan de eisen wordt voldaan die worden opgenomen in wet- en regelgeving voor BENG. Onze projectgroep voorziet BENG daarmee van de benodigde rekenregels. Ik ben, naast voorzitter, ook lid van het rapporteurteam.” De bepalingmethode NTA 8800 is in opdracht van het ministerie van BZK en vanuit hun spelregels, onder regie van NEN, ontwikkeld. “Bij de overheid ligt dan ook nadrukkelijk de beleidsverantwoordelijkheid”, geeft Harm aan. Iets anders wat Harm voor de zekerheid accentueert, is dat BENG louter en alleen gaat over de gebouwgebonden energie en niet over de gebruiksenergie.

Meer invloed van overheid

Harm geeft een concreet voorbeeld van die beleidsverantwoordelijkheid: “Ik heb het nu specifiek over een getalwaarde waar veel om te doen is: de primaire energiefactor van elektriciteit. De bepaling van de verhouding binnen die getalwaarde gebeurt niet langer in de normcommissie, maar wordt nu vastgesteld door de overheid. Ons werkveld is dus danig veranderd. Uiteraard zal iedereen inzien dat de Nederlandse overheid hier op acteert vanuit de Europese afspraken met het akkoord van Parijs voorop.”

Markant startpunt BENG: oplevering gevalideerde software

Tal van partijen in de bouw vragen zich momenteel af wanneer ze zich concreet kunnen inwerken op het verplichte BENG. Harm: “Feitelijk kan dat pas als de bij BENG behorende software klaar is. Die gevalideerde software voor de nieuwe berekeningen voor energieprestaties conform BENG is naar verwachting gereed na zomer 2019. De bètaversie verwacht ik aan het eind van het tweede kwartaal van 2019. De markt staat te trappelen en ervaart die timing als laat, kan ik zeggen.” Welke partij in de bouwkolom hiermee als eerste aan de slag moet gaan, is voor Harm helder: “De adviseur uiteraard, maar het is net zo van belang voor de architect en opdrachtgever. De EPC-berekening was eerder een item voor vooral projectontwikkelaars. BENG wordt voor alle partijen in de bouwkolom van groot belang.”

Vooraf van belang: grenswaarden

Niet alleen de uitgangspunten voor de rekenregels zijn beleidsmatig vastgesteld, maar ook de grenswaarden. Harm: “Het belang van die door de overheid bepaalde grenswaarden van kWh per vierkante meter en percentage hernieuwbare energie, kan ik niet vaak genoeg benadrukken. Feitelijk kent BENG drie indicatoren, terwijl de



EPC-berekening maar één index kent. Die drie grenzen daar aan zijn cruciaal. In feite zijn die grenswaarden het beleid van de overheid.”

Inmiddels goed beeld van grenswaarden

Harm: “Wij hebben inmiddels een redelijk goed beeld van hoe die grenswaarden in de praktijk gaan uitpakken. Een analyse van de kostenoptimaliteit gaf de overheid een werkbare indicatie van de praktische bandbreedte en op basis daarvan hebben zij de grenswaarden vastgesteld. Die grenzen heten nu in de wandelgangen de BENG eisen. Heb je het over BENG? Dan gaat het veel meer over de BENG eisen en dus grenswaarden, dan over de rekenmethode zelf. Ik benadruk dat graag.”

Voortaan beoordeeld op drie grenswaarden

De NTA 8800 gaat ons beter helpen de inmiddels genoegzaam bekende energiedoelen te halen dan de eerdere rekenmethode voor de EPC, stelt Harm: “Maar of BENG dat daadwerkelijk gaat realiseren, hangt toch ook wel een beetje af van de hoogte van die grenswaarden. Vergelijk je BENG met de systematiek rondom de EPC, dan zie je dat je binnen BENG voortaan aan maar liefst drie grenswaarden moet voldoen. Je wordt apart beoordeeld op de energiebehoefte van het gebouw, het primaire energiegebruik én op het percentage hernieuwbare energie in, aan

of op het gebouw. Alleen al dat laatste element betekent een enorme stap vooruit, want je móet een percentage van de energievraag van je gebouw duurzaam invullen. Daar ontkom je eenvoudigweg met BENG niet aan. Dat deden we tot nu toe vrijwillig, maar wordt nu verplicht. Dat zal best wennen zijn, vermoed ik. Een slecht renderende schil kon je eerder compenseren met PV-panelen op je dak. Je dient nu de schil voldoende energiezuinig te maken en bovendien een flink percentage van het energieverbruik van je gebouw hernieuwbaar op te wekken.”

Van BENG naar WENG

Welke horizon ziet Harm eigenlijk ná BENG? “De hoeveelheid hernieuwbare energie moet omhoog en de energiebehoefte mag nog verder omlaag. Maar de échte stap die we gaan maken, is als we het daadwerkelijke energieverbruik kunnen gaan beoordelen. Dat is dus WENG, met de W van Werkelijk. Dat is zowel de gebouwgebonden energie als gebruikersgebonden energie. Binnen BENG blijft de gebruikersgebonden energie buiten schot, terwijl je hierin per bedrijfstak en tussen huishoudens enorme verschillen kan zien. De gebruiker van het gebouw zelf staat binnen BENG nog steeds buitenspel. Die is teruggebracht tot een standaard gebruiker met een standaard gedrag. Dat was zo en is zo, met als enige verschil dat dit nu als beleidsmatige factor is vastgelegd. In werkelijkheid zien we grote verschillen tussen gebruikers van gelijksoortige gebouwen. Ook hanteren we binnen BENG rekenregels voor één nationaal klimaat, terwijl je in de praktijk in ons kleine land toch klimaatverschillen ziet. Binnen de nu gekozen beleidsmatige uitgangspunten blijft dat buiten beschouwing.”

WENG: focus naar wat er concreet op de meter gebeurt

Ten tweede: bij WENG kijken we niet langer naar primaire energie, maar puur naar wat er op de meter gebeurt, en vervalt de discussie welk percentage duurzame energie er nu zit in de totale energiemix van Nederland. Harm: “Toekomstmuziek, maar ik voorzie dat we die stap van BENG naar WENG tussen 2020 en 2030 gaan zetten. Van groot belang, omdat we uiteindelijk minder energie beschikbaar krijgen die we onder dezelfde hoeveelheid gebouwen moeten zien te verdelen. De energieafspraken zijn dus een issue, anders gaan we het niet redden in 2050. Ik bedoel hier CO₂ neutraal in 2050 en voldoen aan de doelstellingen uit Parijs in 2030.”

Pas op met verschillen tussen BENG en EPC

Tot slot: wat is volgens Harm het grootste misverstand over BENG? “Realiseer je dat de uitkomsten met NTA 8800, dus BENG, op een andere manier berekend zijn dan getallen uit de EPC. Uit de EPC kon je ook kWh per vierkante meter berekenen, dat hebben we ook een aantal jaren gedaan. Bedoeld om ons voor te bereiden op de BENG eisen. Die rekenmethode was zodanig afwijkend dat je de uitkomsten van het één niet zomaar kon vergelijken met de uitkomsten van de ander. Dus: wees je bewust dat als je het hebt over kWh per vierkante meter, dat je er altijd bij vraagt: hoe is die berekend? Met BENG, dus NTA 8800 of EPC, dus NEN 7120? Dat is essentieel.”

Remi ten Have, directeur/eigenaar Earth Energie Advies B.V.:

Studie van de NTA 8800 geeft goed beeld van te verwachten effecten

Wat betekenen de nieuwe NTA 8800 en de drie BENG-eisen voor het bouwontwerp? Remi ten Have, directeur/eigenaar Earth Energie Advies B.V. reflecteert: “De norm is nog vers en de software is nog in ontwikkeling. Maar studie van de NTA 8800 geeft een goed beeld van de te verwachten effecten.” In dit interview zoomt Remi in op twee onderdelen: de verborgen 4^e BENG-indicator en het nieuwe elektriciteitsrendement.

De NTA 8800 besteedt meer aandacht aan het zomercomfort. De noodzaak daartoe is duidelijk, legt Remi uit: “Ons klimaat verandert! De NTA 8800 maakt daarom gebruik van nieuwe klimaatgegevens afkomstig uit NEN 5060; 2018. Bij een vergelijk van de klimaatgegevens in NEN 7120 en de NTA 8800 valt op dat de gemiddelde maandtemperatuur in de zomerperiode met bijna 1 graad toeneemt. Deze aanpassing van het referentie klimaatjaar leidt uiteraard tot een hogere energiebehoefte voor koeling.” De conclusie van Remi? “Het gewijzigde klimaat(jaar) maakt het gebruik van maatregelen zoals zonwerend glas, zomernachtventilatie, zonwering en overstekken bij het bepalen van de BENG-indicatoren belangrijker dan in de NEN 7120 (EPC-norm).”

Exit voor post ‘zomercomfort’

De afgelopen jaren hebben de EPC-normen al geprobeerd bouwontwerpers te attenderen op de risico's van oververhitting in de zomerperiode, stelt Remi: “Hiervoor werd gebruik gemaakt van de fictieve post ‘zomercomfort’. Deze post ging ervan uit dat bewoners bij oververhitting van de woning een airco bij de bouwmarkt aanschafden. De BENG-methodiek in NTA 8800 kent de post ‘zomercomfort’ niet meer.”

BENG-indicator 1

Om een goed zomercomfort te waarborgen, zijn er twee maatregelen genomen, vat Remi samen: “Ten eerste is dit BENG-indicator 1. Deze BENG-indicator is de som van de energiebehoefte voor verwarming in het stookseizoen en de energiebehoefte voor koeling in de zomerperiode. De trend om constructies beter te isoleren en betere beglazing, zoals triple glas, toe te passen resulteert in een lagere energiebehoefte voor verwarming, maar ook in een stijgende energiebehoefte voor koeling.” Om aan BENG-indicator 1 te voldoen, moet een optimum gekozen worden tussen de verwarmings- en koelbehoefte, geeft Remi aan.

Bouwbesluit

Aanvullend op BENG-indicator 1 gaat het Bouwbesluit eisen stellen aan zomercomfort. Remi licht dit toe: “In NTA 8800 wordt een methodiek beschreven om het risico van temperatuuroverschrijding in de maand juli (TOjuli) te berekenen. Het Bouwbesluit gaat een eis stellen aan deze indicator waardoor we feitelijk niet drie, maar vier BENG-eisen krijgen.” Om de energiebehoefte voor koeling te reduceren, kan gebruik gemaakt worden van zonwering, zonwerende beglazing, overstekken, maar ook zomernachtventilatie. Deze laatste techniek werd in de NEN 7120 niet



gewaardeerd. Remi: “Bij zomernachtventilatie wordt in de nacht passief gekoeld met buitenlucht (door middel van inbraakveilige roosters) waardoor de temperatuur overdag minder hoog oploopt.”

Reductiefactoren voor diverse types zonwering

NTA 8800 geeft meer mogelijkheden voor de waardering van gebouwgebonden zonwering. In NEN 7120 kon alleen gekozen worden voor de aanwezigheid van zonwering. Remi: “De effectiviteit van zonwering is echter sterk afhankelijk van de gekozen zonwering. NTA 8800 geeft daarom reductiefactoren voor diverse types zonwering zoals screens, jaloezieën, binnenzonwering, uitvalschermen en knikarmschermen.”

Daarbij vallen een paar zaken op, stipt Remi aan: “Knikarmschermen presteren aanzienlijk beter dan uitvalschermen. De kleur van screens en jaloezieën speelt een belangrijke rol waarbij lichte kleuren (wit) het meest effectief zijn. Binnenzonwering wordt gewaardeerd voor zover dit gemetalliseerd weefsel betreft. Deze vorm van binnenzonwering presteert beter dan screens of jaloezieën. Net als in de NEN 7120, mag buitenzonwering alleen worden meegerekend wanneer deze gebouwgebouwen is en automatisch geregeld wordt of van binnenuit bedienbaar is. Binnenzonwering mag alleen meegerekend

worden wanneer het automatisch gestuurd is en gekoppeld is aan een gebouwbeheersysteem.”

Meer aandacht nodig voor zomercomfort

Om te voldoen aan de nieuwe BENG-eisen inclusief de nieuwe TOjuli indicator, moet in het ontwerp meer aandacht besteed worden aan zomercomfort. Dit kan door een goede balans te vinden tussen genoeg daglichtopeningen, maar niet teveel directe zoninstraling door bijvoorbeeld het gebruik van overstekken. Remi: “Daarnaast zal het gebruik van zonwering en zomernachtventilatie toenemen om een onaangenaam binnenklimaat in de zomer te voorkomen.”

Een nieuw, hoger elektriciteitsrendement

Het rendement van het Nederlandse elektriciteitsnetwerk is een gemiddeld rendement van alle Nederlandse elektriciteitscentrales (een mix van kolen-, gas, en kerncentrales en opwekkers zoals windmolens en zonne-energie). In de NTA 8800 stijgt het rendement van het Nederlandse elektriciteitsnetwerk maar liefst naar 69%. Remi: “In EPC-berekeningen volgens NEN 7120 werd gerekend met een rendement van 39%. De forse verbetering is gebaseerd op een prognose voor het jaar 2020 zoals opgenomen in de Nationale Energieverkenning (NEV 2017).” Het oorspronkelijke rendement van 39% was gebaseerd op de realiteit van dat moment, maar in de afgelopen jaren is dit rendement geleidelijk verbeterd door efficiëntere centrales en toename van duurzame wind- en zonne-energie.

Groot effect op berekeningen

Het effect van dit verhoogde rendement op energieprestatie berekeningen is groot omdat het primaire (fossiele) energieverbruik berekend wordt. Remi: “Wanneer momenteel een warmtepomp met een COP van 5,0 in een EPC-berekening wordt gebruikt, heeft deze een effectief rendement van $5,0 \times 0,39 = 195\%$. In de NTA 8800 is dat effectieve rendement verbeterd naar 345% waardoor de uitkomst van BENG-indicator 2 (primair fossiel energieverbruik) bij gebruik van een warmtepomp, of een andere vorm van elektrische verwarming, met een factor 1,8 daalt.”

De keerzijde van deze wijziging is dat zonnepanelen minder goed gaan presteren in de BENG- methodiek. Remi: “De opbrengst van zonnepanelen wordt namelijk ook teruggerekend naar primair fossiel energiegebruik. In de huidige methodiek van NEN 7120 zal een zonnepaneel dat 100 kWh opwekt dus 256 kWh ($100 / 0,39$) fossiele brandstof besparen. In de NTA 8800 zal de fossiele besparing ‘slechts’ 145 kWh bedragen.”

De verhoging van het elektriciteitsrendement in NTA 8800 zal het gebruik van elektrische opwekkers fors stimuleren. Remi: “Vooral toestellen die momenteel slecht presteren zoals infrarood verwarming, elektrische boilers en doorstromers, krijgen hierdoor in de NTA 8800 een betere prestatie.”

Klimaatdoelstellingen

Overheid moet ambities waarmaken

In de periode 2015-2020 gebeurt er veel op het gebied van regelgeving en verdragen rondom energiebesparing en de uitstoot van broeikasgassen. Waar op internationaal niveau het Klimaatakkoord van Parijs verregaande consequenties voor de bouwwereld heeft, speelt in Nederland vooral de vorming van de richtlijnen van bijna energieneutrale gebouwen (BENG). Dit artikel bespreekt de belangrijkste gebeurtenissen op internationaal niveau.

Om de huidige stand van zaken omtrent de regelgeving te begrijpen, gaan we kort terug naar gebeurtenissen in het verleden. Vanaf de jaren '60 van de vorige eeuw namen de zorgen over de effecten van toenemende industrialisatie sterk toe. Dit leidde onder andere tot de oprichting van de Club van Rome in 1968 en de eerste klimaatconferenties van de Verenigde Naties vanaf 1972. De Club van Rome was als onafhankelijke denktank opgericht door de Schotse wetenschapper Alexander King en de Italiaanse industrieel Aurelio Peccei.

“Grenzen aan de Groei”

Deze denktank, die overigens nog steeds bestaat, kreeg grote bekendheid door de publicatie “*Grenzen aan de Groei*” in 1972. In het rapport werd onderzoek gedaan naar de relatie tussen economische groei en milieuvervuiling, en werden verschillende toekomstscenario's geschetst. De conclusies waren hard en stelden dat welvaart en wereldbevolking alleen met drastische maatregelen op een constant niveau gehouden zouden kunnen worden.

Actieplannen en klimaatakkoorden

De Verenigde Naties zijn zich, mede onder invloed van de Club van Rome, vanaf 1972 bezig gaan houden met de klimaatproblematiek. In de decennia die daarop volgden, zijn diverse suborganisaties opgezet die focussen op klimaatverandering. Het onderzoek dat door organisaties zoals de *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) werd gedaan, vormde de basis voor actieplannen en klimaatakkoorden die

vervolgens werden opgesteld en gesloten. Het eerste grote mondiale programma om klimaatverandering tegen te gaan, was het verdrag van Kyoto, in 1997 gesloten.

Klimaatconferentie van Parijs

In november 2015 vond de klimaatconferentie van Parijs plaats. Hier werden plannen gemaakt om een globaal geldend akkoord te sluiten, met als doel het inperken van klimaatverandering. Enerzijds lagen de verwachtingen hoog en lag er grote druk op de partijen om tot een akkoord te komen. Aan de andere kant was het vooraf duidelijk dat het lastig zou worden om harde compliance instrumenten aan het verdrag toe te voegen.

Rol van Amerika

Het Kyoto Protocol, in 2005 ingegaan, was vanaf de start beperkt effectief. Eén van de grootste mondiale vervuilers, de Verenigde Staten, ratificeerde het verdrag niet. Dit zorgde er op zijn beurt weer voor dat Canada in 2012 uit 'Kyoto' stapte. Om tot een mondiaal verdrag te komen waar ook de Verenigde Staten aan mee zou doen, zouden concessies gedaan moeten worden. Met een Republikeinse meerderheid in de Senaat was het voor de Amerikaanse president Barack Obama namelijk onmogelijk om met verregaande verdragen mee te doen. Alleen de Senaat kan internationale verdragen ratificeren, en het was duidelijk dat de Republikeinen verregaande klimaatverdragen zouden blokkeren. Dit bracht de conferentie in Parijs in een spagaat.



Aan de ene kant wilde men harde afspraken maken waar landen aan gebonden konden worden, aan de andere kant achtte men het ook cruciaal dat de VS, in veel opzichten nog steeds een wereldleider, mee zouden doen aan het verdrag.

Zwakker, maar inclusiever verdrag

Om eenzelfde situatie als bij het Kyoto Protocol te voorkomen, werd gekozen voor het zwakkere, maar inclusievere verdrag. Er werd geen overkoepelend compliance mechanisme toegevoegd, waardoor het verdrag zonder tussenkomst van de Senaat door de Amerikaanse regering ondertekend kon worden.

Uitdagende doelen van Klimaatakkoord van Parijs

Het Klimaatakkoord van Parijs, dat op 22 april 2016 werd ondertekend en vanaf 2020 ingaat, is ondanks dit compromis het belangrijkste kli-

maatakkoord ooit gesloten, en de gestelde doelen zijn zeer ambitieus. Het hoofddoel van het akkoord is om wereldwijde temperatuurstijging onder de 2 graden Celsius te houden ten opzichte van het pre-industriële niveau. Verder moet de hoeveelheid uitgestoten broeikasgassen teruggebracht worden tot het niveau waarop de aarde dit zelf kan absorberen. Rijke landen hebben daarbij een extra ambitie om armere landen te helpen door financiering voor hun milieumaatregelen aan te bieden. Op dit moment is er zo'n 100 miljard dollar gereserveerd voor deze hulp.

Nationally determined contributions (NDC's)

Het verschilt per land hoeveel zij bij moeten dragen om het mondiale doel te bereiken. Ook zijn landen vrij te bepalen met welke maatregelen zij hun doelen willen realiseren. De bijdrage van landen is vastgesteld in de *Nationally Determined Contributions* (NDC's). Elke vijf

jaar moeten landen hun progressie rapporteren aan het *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Aan de hand van deze rapporten wordt bekeken of landen daadwerkelijk voldoende actie hebben ondernomen. Door te “namen” en “shamen” wordt getracht toch enigszins een stok achter de deur te houden om de landen te dwingen zich aan hun doelen te houden.

Kritiek

Naast het feit dat er geen manier is om landen te dwingen zich aan hun klimaatdoelen te houden, zijn er meer punten van kritiek op het klimaatakkoord van Parijs geweest. Het meest voor de hand liggende punt is dat het gestelde doel niet ver genoeg gaat. Zo zou een temperatuurstijging van meer dan 1,5 graden Celsius, ruim onder het gestelde maximum, kunnen betekenen dat laagliggende landen grote problemen krijgen met een zeespiegelstijging. Vooral ontwikkelingslanden en kleine eilandengroepen, die niet kunnen investeren in maatregelen om zich tegen een dergelijke stijging te beschermen, hebben daarom tevergeefs geprobeerd om een maximale temperatuurstijging van 1,5 graden Celsius in het akkoord op te laten nemen. Hoewel in het akkoord is opgenomen dat landen zich “in gaan zetten” om de temperatuurstijging onder de 1,5 graden Celsius te houden, lijkt het erop dat dit bij een belofte blijft en geen concrete uitwerking zal krijgen.

Onvoldoende effect

Een ander punt van kritiek is dat de huidige aangekondigde maatregelen de temperatuurstijging niet onder de 2 graden Celsius gaan houden. In een studie van het *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) blijkt dat wanneer elk land haar gestelde doelen in zijn geheel uit zou voeren, er een significant lagere temperatuurstijging zou zijn, maar nog steeds zo'n 3 graden Celsius zou stijgen en dus de gestelde norm nog steeds met een graad overschrijdt.

Start van een beweging

Aan de andere kant kan men ook stellen dat het Klimaatakkoord van Parijs gezien kan worden als de start van een beweging waardoor landen het klimaat een centrale plek in hun besluitvorming geven. Hoewel dit pas een eerste stap op een lange weg is, is het feit dat er een goede stap is gezet al een bijzondere gebeurtenis. Wel moeten nog de nodige hobbels in de toekomst overwonnen worden.

Effecten van president Trump

Eén van die hobbels presenteerde zich op 4 augustus 2017, toen de opvolger van Barack Obama, president Donald Trump, aankondigde dat de Verenigde Staten zich uit het akkoord van Parijs terug zou trekken. Volgens Trump waren de voorwaarden van het klimaatakkoord nadelig voor de Verenigde Staten, iets wat niet met zijn “*America First*” beleid strookte. Omdat landen pas vier jaar na aankondiging uit het klimaatakkoord kunnen stappen, blijven zij tot en met 2020 aan het akkoord gebonden. De aankondiging van Trump kwam als een grote schok, en creëerde het gevaar dat er een sneeuwbaaleffect zou ontstaan

waardoor andere landen zich ook uit het akkoord terug zouden trekken. Immers, het Kyoto akkoord was ook geen groot succes geworden dankzij de afwezigheid van de Verenigde Staten.

Tot op heden weinig veranderd

Tot op heden lijkt er echter weinig veranderd. Veel landen hebben aangekondigd zich, ondanks de positie van Trump, aan het akkoord te willen blijven houden. Binnen de Verenigde Staten is er ook veel kritiek op de eigen regering, en een aantal staten en enkele grote steden hebben aangekondigd hun eigen maatregelen te nemen om klimaatverandering tegen te gaan. De Verenigde Staten blijven zich in ieder geval tot nu toe meewerkend opstellen tijdens vergaderingen van de UNFCCC. Ook blijft er een kleine hoop bestaan dat de Verenigde Staten alsnog in het akkoord blijven. De datum waarop de VS het akkoord uit kunnen stappen, ligt vreemd genoeg vlak na de verkiezingen van 2020.

Van mondiaal naar nationaal

In de periode 2015-2020 begint de internationale beweging voor het klimaat mondiaal vorm te krijgen. Hoewel men er met het akkoord van Parijs nog lang niet is, is het wel de eerste mondiale afspraak over het gezamenlijk terugdringen van klimaatverandering. De bal ligt inmiddels bij de nationale overheden om de ambities vorm te geven en waar te maken.

Invulling Nederland

De Nederlandse overheid heeft haar klimaatdoelstellingen ondergebracht in het Klimaatakkoord. Hierin staat onder andere dat Nederland haar CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990 in 2030 met 49% terug wil hebben gebracht, en in 2050 met 95%. Om dit te bereiken is een aantal sectoren aangewezen waarin actie ondernomen wordt; de elektriciteitssector, de industrie, de gebouwde omgeving, de transportsector en de landbouw.

Grote uitdagingen

In de gebouwde sector is het streven om voor 2050 alle gebouwen energieneutraal te maken of deze zelfs energie op te laten wekken. Dit zou kunnen door middel van het installeren van warmtepompen, zonnepanelen en het beter isoleren van gebouwen. De gehele gebouwde omgeving zou daardoor op termijn van het gasnet afgesloten moeten kunnen worden. Om kosten te besparen streeft de overheid ernaar schaalvergroting toe te passen door middel van een wijkgerichte aanpak. Zo zou een wijk bijvoorbeeld in één keer in zijn geheel op een warmtenet kunnen worden aangesloten. Er is echter nog veel onduidelijk over hoe deze aanpak er precies uit zou moeten komen te zien. Om alle gebouwen in Nederland voor 2050 aan te pakken, zouden er vanaf 2021 50.000 woningen per jaar moeten worden aangepakt en vanaf 2030 zelfs 200.000. Het is bijvoorbeeld nog maar de vraag of gebouweigenaren in alle gevallen de benodigde financiering om de verduurzaming te bekostigen rond kunnen krijgen. Uit onderzoek van het Waarborgfonds Sociale Woningbouw (WSW)



is recentelijk bijvoorbeeld gebleken dat woningbouwcorporaties de verduurzamingsslag van hun vastgoed niet kunnen financieren zonder grote risico's te lopen.

Grote uitdaging voor de Nederlandse bouw

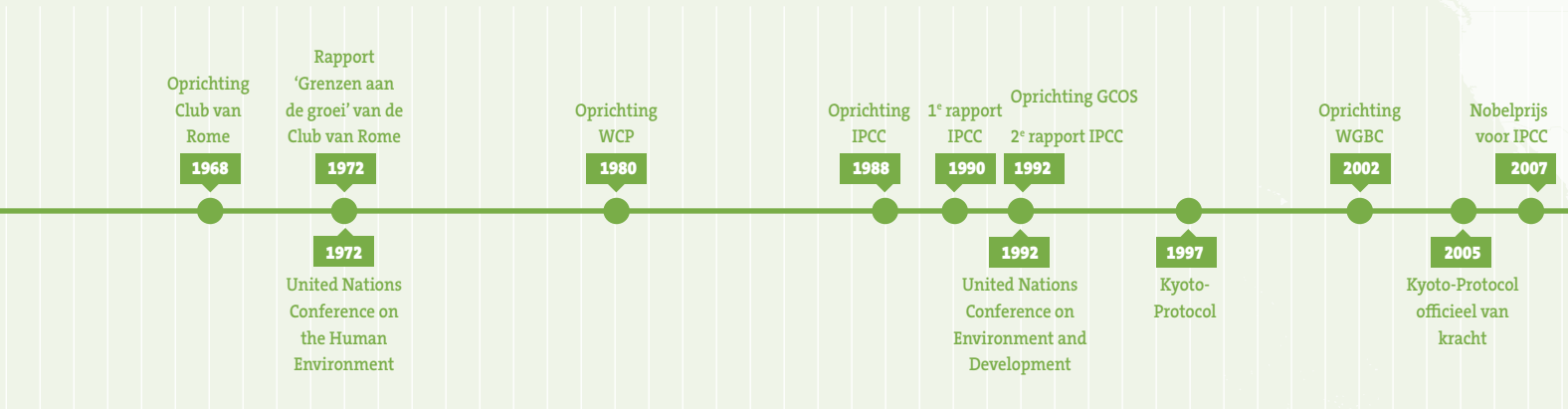
Daarnaast komen er ook nieuwe regels voor nieuwbouw. Met *bijna energieneutrale gebouwen* (BENG) zien we nieuwe regels die de oude EPC vervangen. De regels gelden vanaf 1 januari 2019 voor overheids-

gebouwen, en vanaf 1 januari 2020 voor alle nieuwbouw in Nederland. De precieze uitwerking van de nieuwe normen is eind 2018 pas gepubliceerd en dus ligt er een grote uitdaging voor de Nederlandse bouw om op deze korte termijn aan de nieuwe eisen op een kosteneffectieve wijze te gaan voldoen. De Bouwdetailwijzer Handboek BENG is daarbij de eerste handreiking aan ontwerpers en uitvoerders om de klimaatdoelstellingen voor de bouw op een economisch verantwoorde manier uit te voeren.

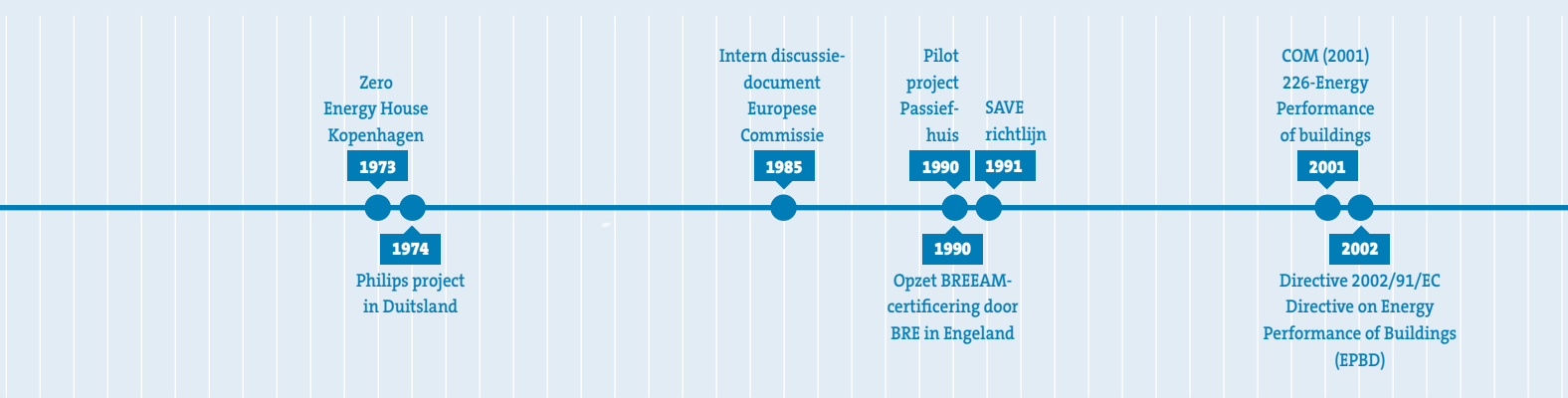
Tijdlijn

De weg naar energieneutrale gebouwen

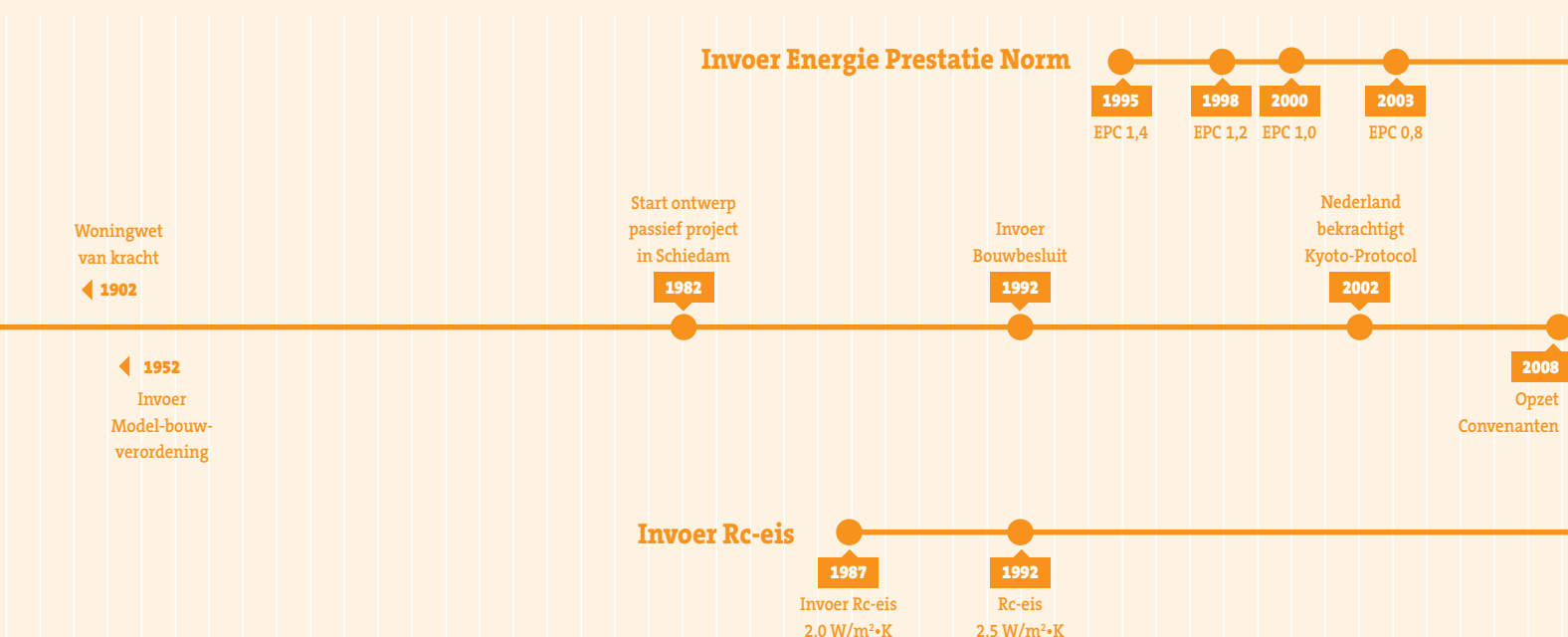
Wereld

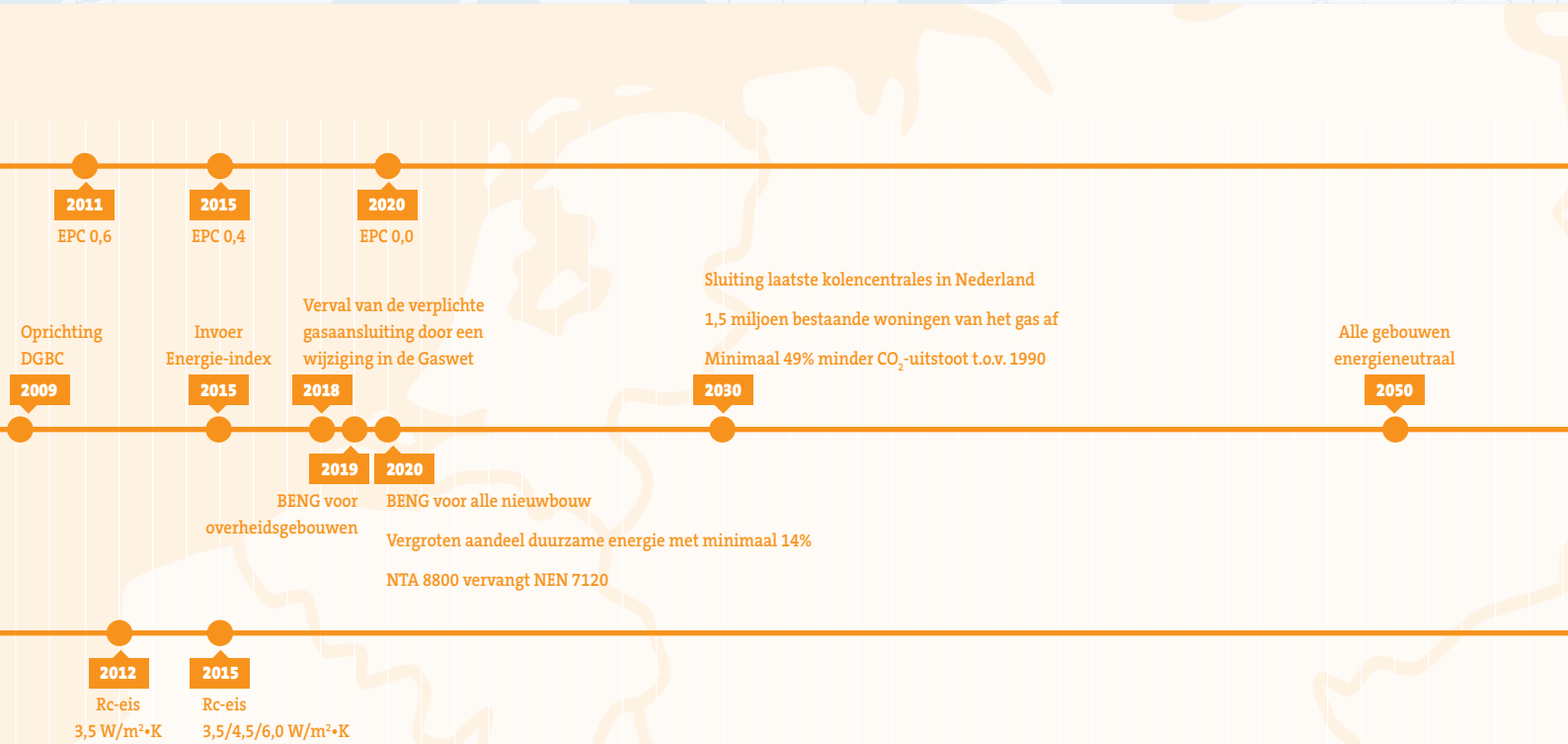
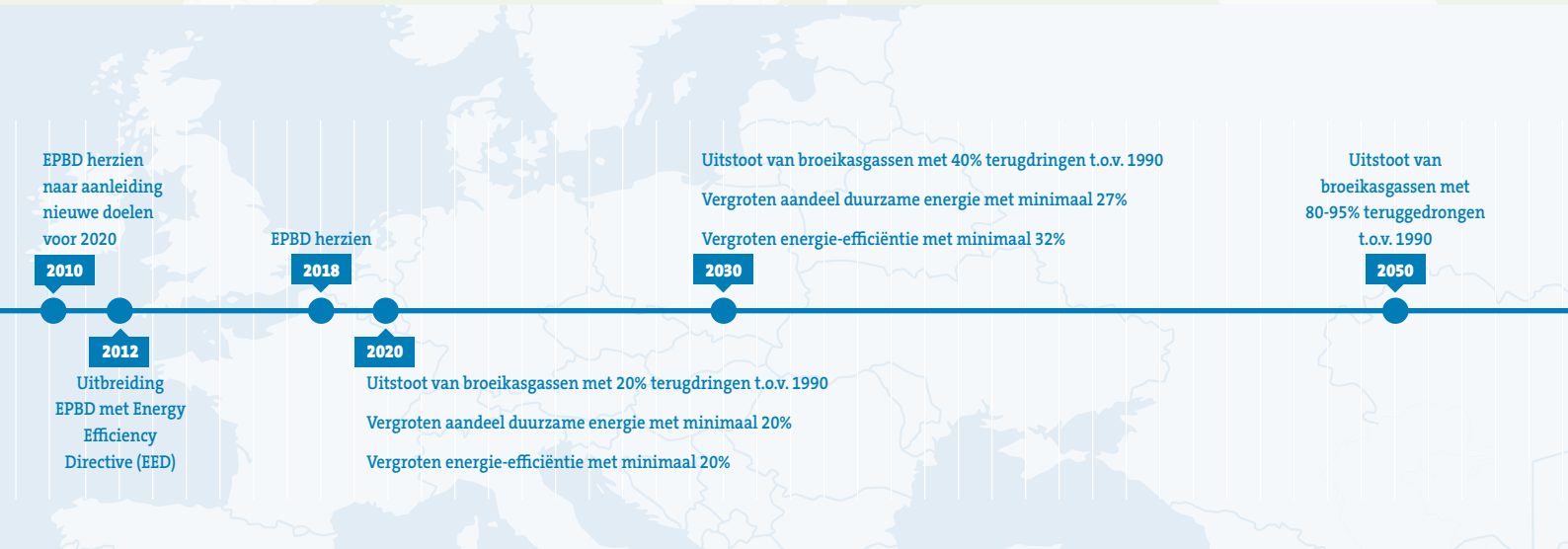
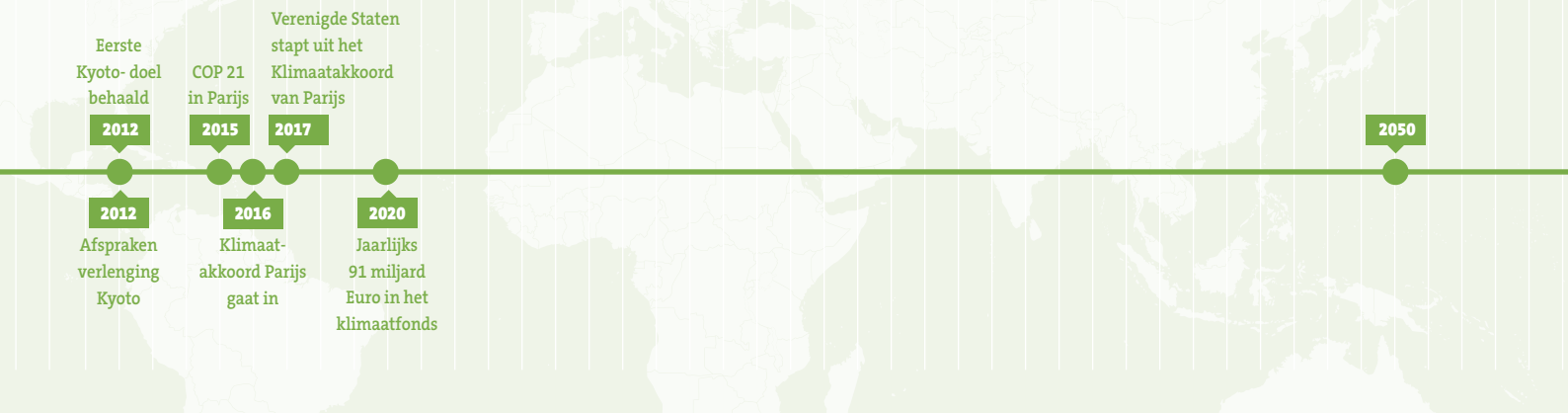


Europa



Nederland





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

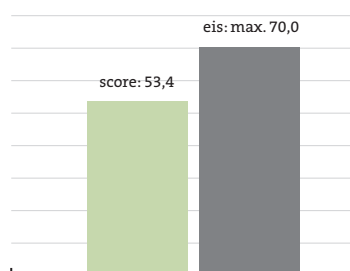


achtergevel

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



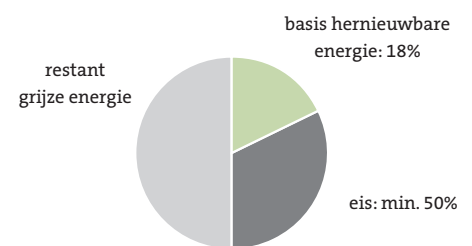
BENG 1:

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.

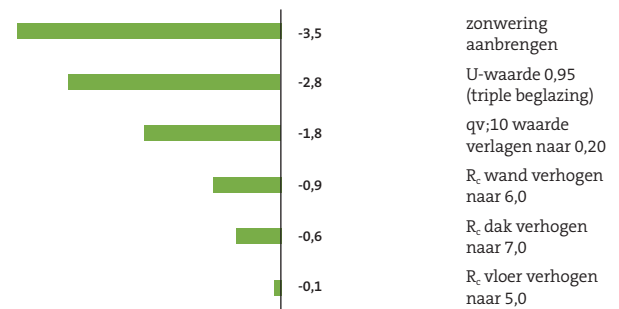
Het basis EPC 0,4 concept is voorzien van ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer). Het vervangen van dit systeem door systeem D (mechanische aan- en afvoer), vermindert het energiegebruik met 8,7 kWh/m².

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

BENG 3, aandeel hernieuwbare energie

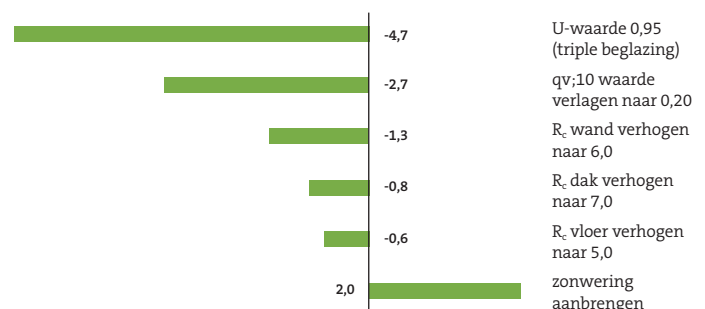
Hernieuwbare energie kan grotendeels worden opgewekt door het

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



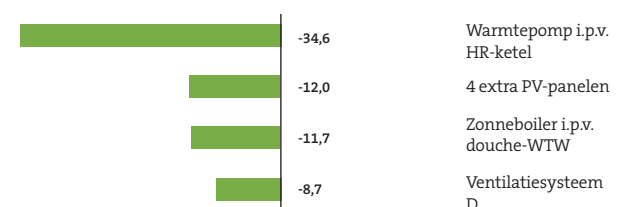
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. tussenwoning basis EPC 0,4

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)

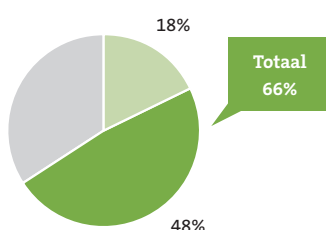


Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. tussenwoning basis EPC 0,4

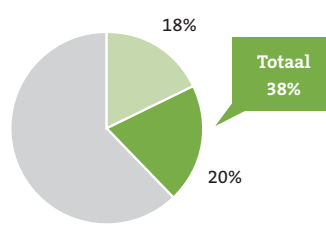
toepassen van een warmtepomp, die het aandeel van hernieuwbare energie van 18% naar 66% verhoogt. Met deze maatregel voldoet de referentiewoning ruimschoots aan de eis van 50%. Het vervangen van de douche-WTW door een zonneboiler resulteert in een aandeel van 38% hernieuwbare energie.

BENG 3: Effecten installatietechnische maatregelen (%)

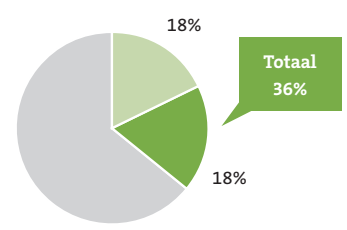
Warmtepomp i.p.v. HR-ketel



Zonneboiler i.p.v. douche-WTW



4 extra PV-panelen (totaal 8)



Legend: Basis hernieuwbare energie (light green), Extra hernieuwbare energie na aanpassing (dark green), Restant grijze energie (grey)

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%	-

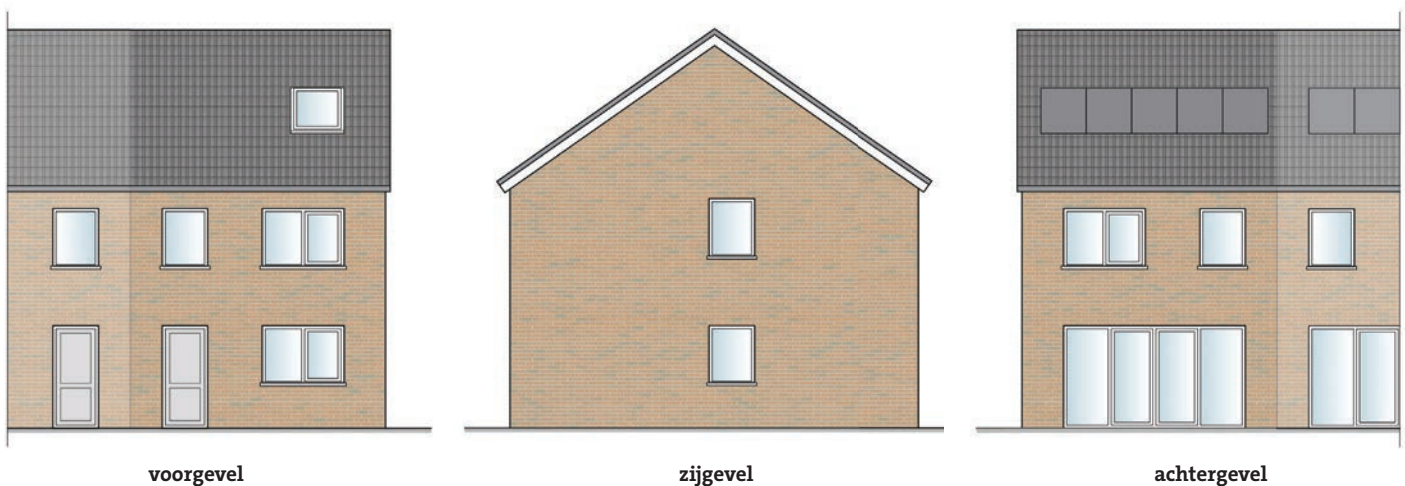
Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.280
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-8,7	€ 15
BENG 3	18% -> 21%	-

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				

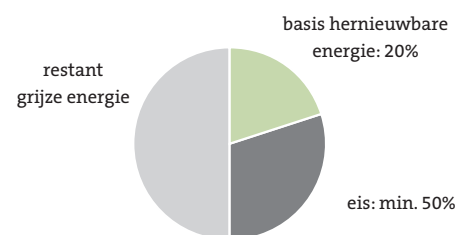
BENG score hoekwoning basis EPC 0,4



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.

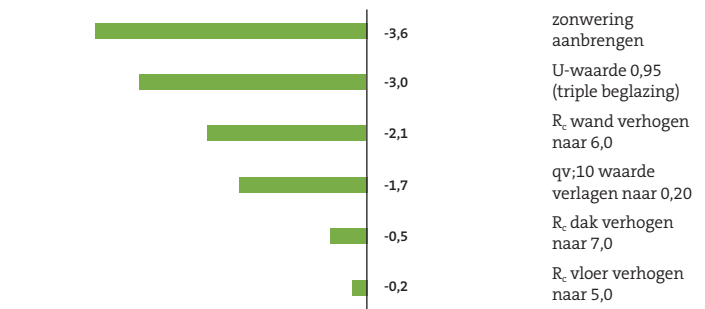
Het toepassen van een warmtepomp brengt het primair energiegebruik flink naar beneden, met 41,4 kWh/m². Het primair energiegebruik komt met deze maatregel uit op 18,5 kWh/m² en de hoekwoning voldoet dan net als de tussenwoning, aan de eis van maximaal 30,0 kWh/m².

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.

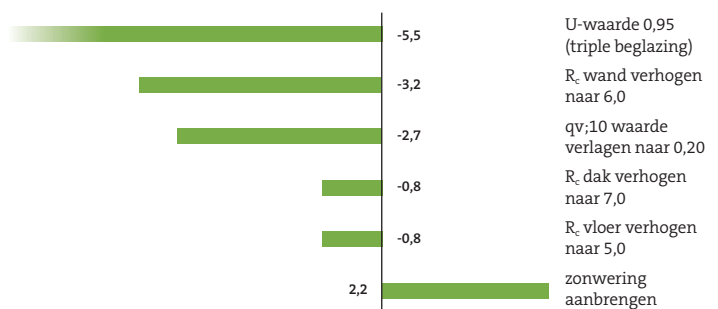
Het toepassen van vier extra PV-panelen brengt het primair energiegebruik van 59,9 naar 47,9 kWh/m².

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



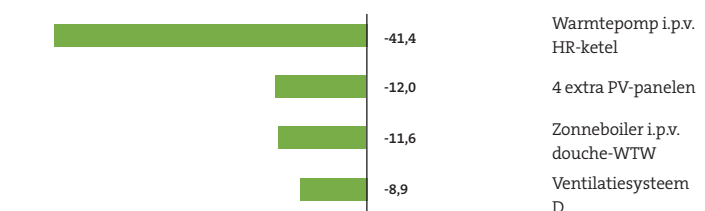
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. hoekwoning basis EPC 0,4

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)

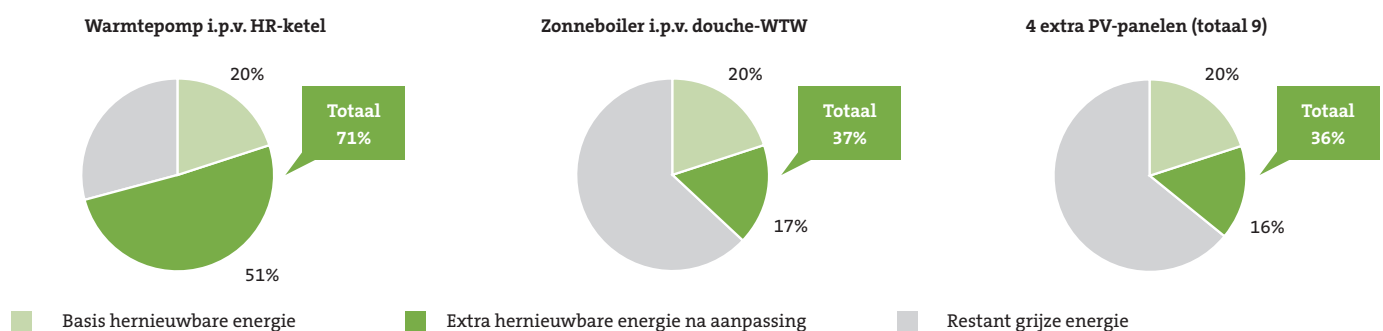


Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. hoekwoning basis EPC 0,4

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%	-

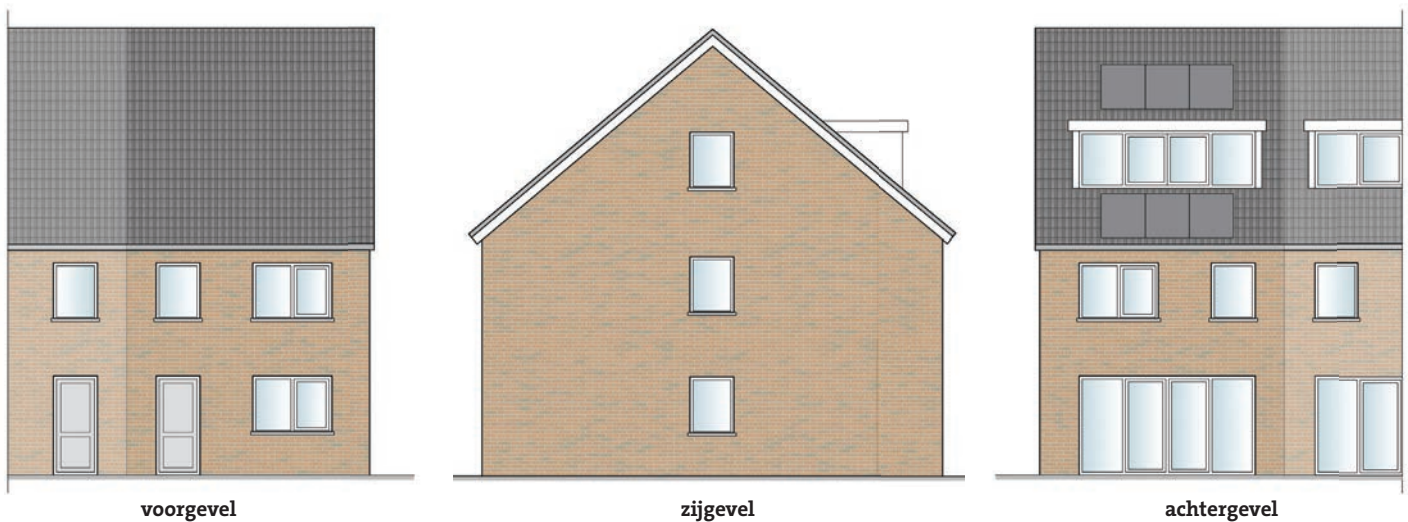
Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.280
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-8,9	€ 14
BENG 3	20% -> 23%	-

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.



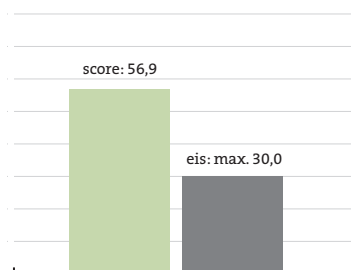
Uitgangspunten twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

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				

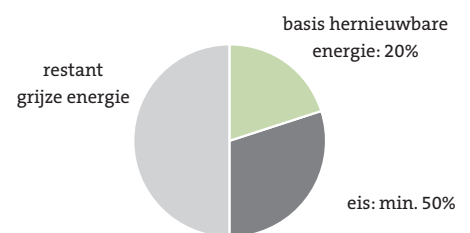
BENG score twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4



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.

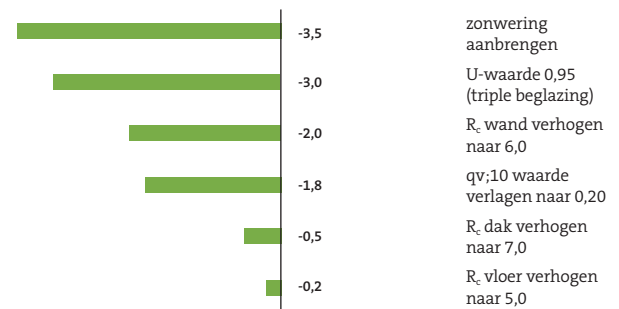
Het toepassen van een warmtepomp brengt het primair energiegebruik flink naar beneden, met 40,1 kWh/m². Het primair energiegebruik komt met deze maatregel uit op 16,8 kWh/m² en de twee-onder-een-kapwoning voldoet daarmee aan de eis van maximaal 30,0 kWh/m².

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.

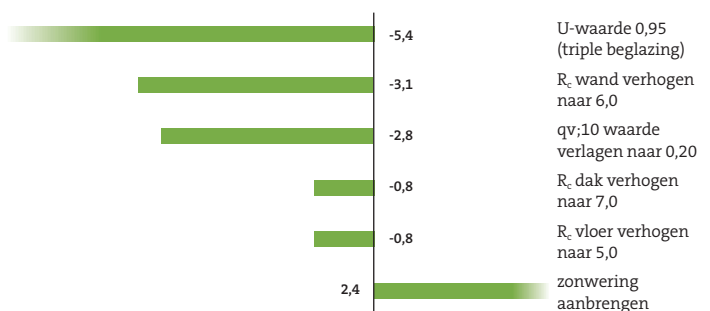
Het toepassen van vier extra PV-panelen verlaagt het primair energiegebruik van 56,9 naar 47,6 kWh/m².

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



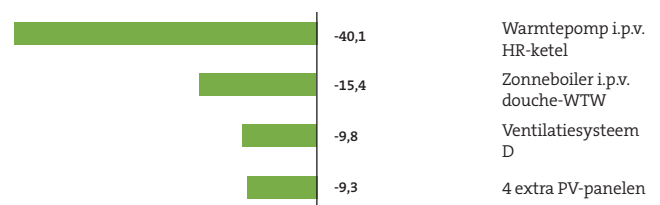
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

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)

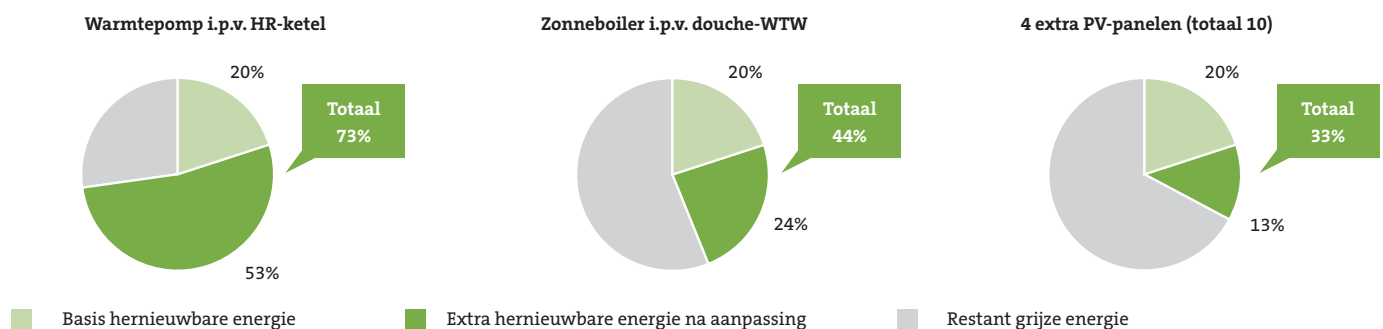


Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. twee-onder-een-kapwoning basis EPC 0,4

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%	-

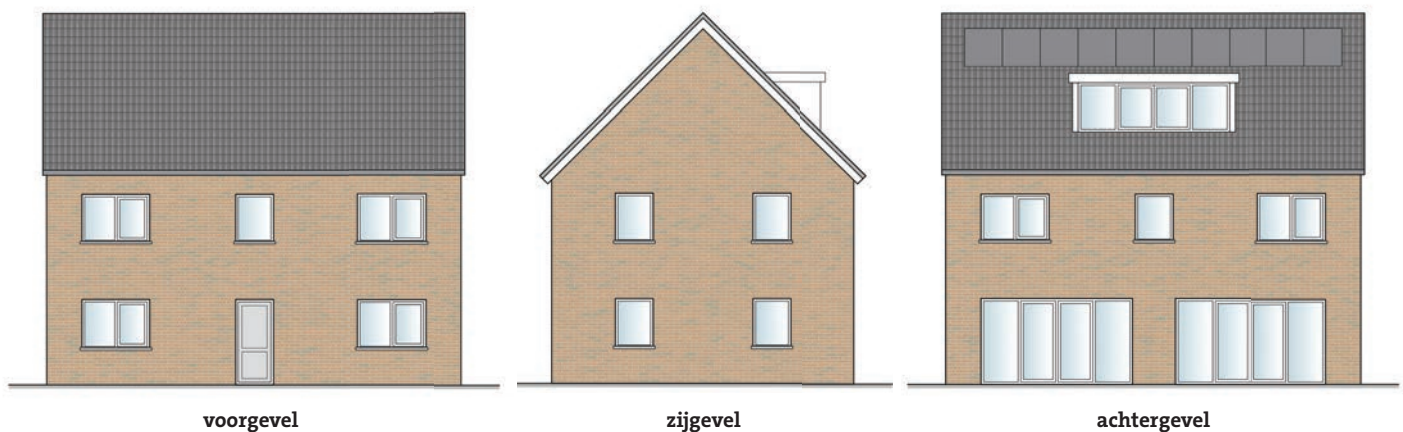
Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.300
Besparing (kWh/m ²)	€ per -0,1 kWh/m ²	
BENG 1	-	-
BENG 2	-9,8	€ 13
BENG 3	20% -> 23%	-

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

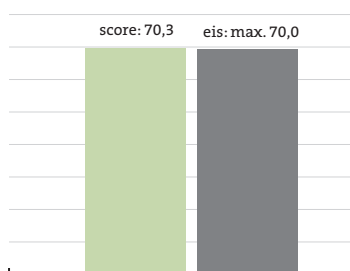
De vrijstaande woning heeft een totaal gebruiksoppervlak van bijna 200 m². De referentiewoning is, evenals de twee-onder-een-kapwoning, voorzien van een dakkapel. In de basis is de woning voorzien van 10 PV-panelen. In onderstaande tabel is de invulling van deze referentiewoning verder toegelicht. Van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



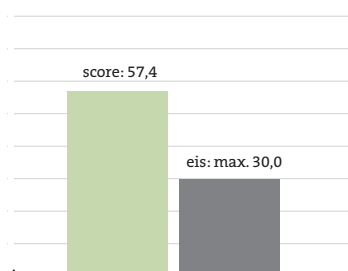
Uitgangspunten vrijstaande woning basis EPC 0,4

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				

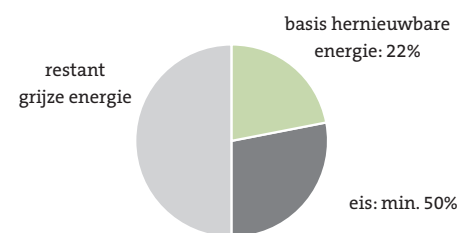
BENG score vrijstaande woning basis EPC 0,4



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

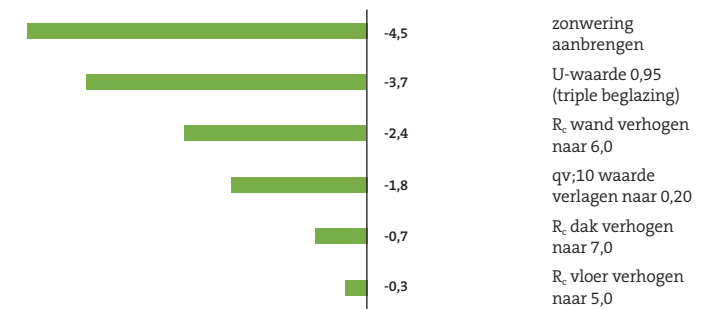
De bij BENG 1 genomen bouwkundige maatregelen voor het verlagen van de energiebehoefte hebben een iets hogere invloed in kWh/m² op het primair energiegebruik. De invloeden zijn verder vergelijkbaar, behalve voor de zonwering geldt een verhoging in plaats van een verlaging. Dit komt door het beperken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

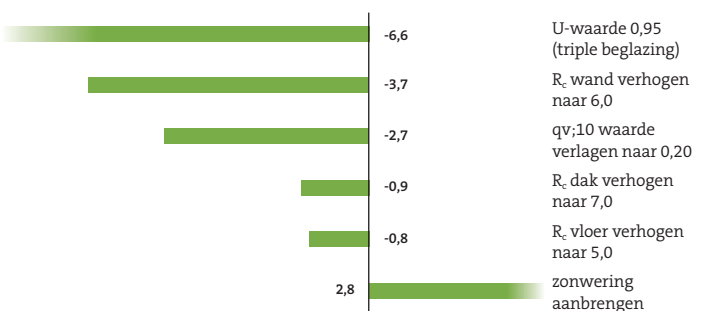
De EPC 0,4 referentiewoning is voorzien van ventilatiesysteem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer). Het vervangen van dit systeem door systeem D (mechanische aan- en afvoer), vermindert het energiegebruik met 10,4 kWh/m².

BENG 1: effecten bouwkundige maatregelen (kWh/m²)



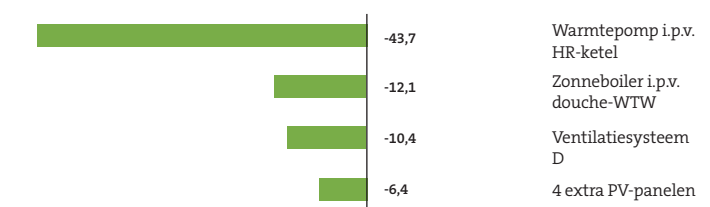
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. vrijstaande woning basis EPC 0,4

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)



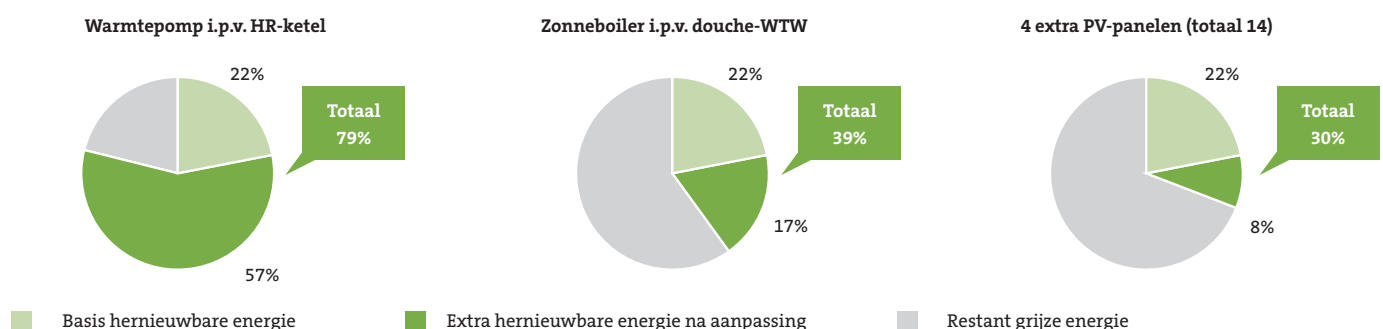
Verskil in kWh/m² per maatregel t.o.v. vrijstaande woning basis EPC 0,4

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/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
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/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
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/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-0,3	€ 73
BENG 2	-0,8	€ 28
BENG 3	-	-

Drievoudige beglazing (HR+++)		
Van HR++ naar HR+++		€ 1.230
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
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/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
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/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-12,1	€ 21
BENG 3	22% -> 39%	-

Ventilatiesysteem D		
In plaats van ventilatiesysteem C		€ 1.300
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-10,4	€ 13
BENG 3	22% -> 25%	-

4 extra PV-panelen		
Van 10 naar 14 panelen		€ 1.100
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-	-
BENG 2	-6,4	€ 17
BENG 3	22% -> 30%	-

Luchtdicht bouwen

Naast de warmteweerstand van de schil, de warmtedoorgang van de kozijnen en de koudebruggen, wordt de bouwphysieke kwaliteit van de buitenschil beïnvloed door de luchtdichtheid. Door de verhoging van de thermische isolatie wordt de luchtdichtheid van de schil belangrijker. Door niet goed afgedichte naden en kieren treedt een ongewenste luchtstroom op. Hierdoor vindt vermenging plaats van de koude buitenlucht met warme binnenlucht, waardoor temperatuurschommelingen ontstaan. Luchtdicht bouwen is het terugdringen van deze onbedoelde luchtlekken.

Over dit onderzoek

Ook hier zijn wij uitgegaan van een theoretische benadering, waarbij er gebruik is gemaakt van referentiewoningen om de kosten te onderzoeken van de luchtdichtheidsmaatregelen. De in dit onderzoek gebruikte referentiewoningen betreffen een tussenwoning en een hoekwoning. Het uitgangspunt van de referentiewoningen is een energieconcept volgens de huidige praktijk met een EPC van 0,4 en een luchtdichtheid ($qv;10$) van $0,40 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$.

In dit voorbeeld gaan wij uit van een verlaging van de $qv;10$ naar respectievelijk $0,20 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$ en $0,15 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$.

Locatie van de luchtlekken

Uit ons onderzoek is gebleken dat de luchtlekken bij onze referentie-

Infiltratie per locatie in procenten	
Vloeraansluiting	circa 2%
Wandaansluiting	circa 6%
Dakaansluiting	circa 41%
Kozijnaansluiting	circa 51%

woningen ter plaatse van de kozijnaansluitingen en de dakaansluitingen het grootst zijn. Rondom deze aansluiting ontstaat circa 92% van de totale infiltratie. Het aanpakken van deze luchtlekken zal daarom veel impact hebben op de $qv;10$ van de gehele woning.

Bouwmethodiek

In totaal bevinden zich in een tussenwoning, uitgevoerd in stapelbouw, bijna 200 m^2 aansluitingen die gevoelig zijn voor luchtlekken. De toegepaste bouwmethode is uiteindelijk bepalend voor de hoeveelheid luchtlekken. Bij prefab casco's en gietbouw zijn de luchtlekken beperkt, terwijl bij HSB de meeste maatregelen nodig zijn.

Maatregelen

Keuze is mogelijk uit een breed scala aan maatregelen bestaande uit het aanbrengen van foam, compriband, tape, liquid en folies of een combinatie van deze oplossingen. De uiteindelijke kosten zijn afhankelijk van de gemaakte keuzes en de betreffende bouwmethodiek.



Infiltratie per locatie

Locaties luchtlekken

Aansluitingen	Tussenwoning	Hoekwoning
Begane grondvloer	m¹	m¹
Aansluiting begane grondvloer - fundering	11,8	19,8
Vloerluik en doorvoeren	2,8	2,8
Aansluiting scheidingswand - begane grondvloer	18,0	9,0
Gevel	m¹	m¹
Aansluiting verdiepingsvloer - gevel	10,8	28,8
Aansluiting verdiepingsvloer - scheidingswand	36,0	18,0
Stelruimtes bij kozijnen	41,4	49,6
Stelruimtes bij deuren	6,5	6,5
Hoekaansluiting scheidingswand - gevel	22,4	11,2
Hoekaansluiting langsgevel - eindgevel	0,0	11,2
Dak	m¹	m¹
Aansluiting dakvoet - langsgevel	10,8	10,8
Aansluiting dak - eindgevel	0,0	11,0
Aansluiting dak - woningscheidende wand	22,0	11,0
Nok	5,4	5,4
Dakraam	5,7	5,7
Dak doorvoeren	0,3	0,3
Totaal	193,9	201,1

Extra investering luchtdicht bouwen t.o.v. basis qv;10 waarde 0,40 dm³/s per m² - verlaging naar qv;10 waarde 0,20 / 0,15 dm³/s per m²

	Tussenwoning		Hoekwoning	
Bouwmethodiek	0,20	0,15	0,20	0,15
Stapelbouw	€ 1.270	€ 2.230	€ 1.360	€ 2.510
Prefab casco*	€ 830	€ 1.800	€ 850	€ 2.000
Gietbouw	€ 1.270	€ 2.070	€ 1.360	€ 2.140
HSB	€ 1.220	€ 2.360	€ 1.420	€ 3.050

* kozijnen gemonteerd in fabriek

Tussenwoning - kosteneffectiviteit luchtdicht bouwen

Luchtdichtheid qv;10 waarde 0,20 dm ³ /s per m ²		
extra investering bij stapelbouw		€ 1.270
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-1,8	€ 71
BENG 2	-2,7	€ 47

Luchtdichtheid qv;10 waarde 0,15 dm ³ /s per m ²		
extra investering bij stapelbouw		€ 2.230
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-2,2	€ 101
BENG 2	-3,3	€ 68

Hoekwoning - kosteneffectiviteit luchtdicht bouwen

Luchtdichtheid qv;10 waarde 0,20 dm ³ /s per m ²		
extra investering bij stapelbouw		€ 1.360
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-1,7	€ 80
BENG 2	-2,7	€ 50

Luchtdichtheid qv;10 waarde 0,15 dm ³ /s per m ²		
extra investering bij stapelbouw		€ 2.510
	Besparing (kWh/m²)	€ per -0,1 kWh/m²
BENG 1	-2,1	€ 120
BENG 2	-3,3	€ 76

 **ARCHIDAT
BOUWFORMATIE**

Vliegveld Valkenburg, gebouw 377

1^e Mientlaan

2223 LA Katwijk

Tel.: 071 - 5191960

E-mail: info@bouwformatie.nl

Website: www.bouwformatie.nl

