



Planbureau voor de Leefomgeving

# OP WEG NAAR EEN KLIMAATNEUTRALE WONINGVOORRAAD IN 2050

INVESTERINGSOPTIES VOOR EEN KOSTENEFFECTIEVE ENERGIEVOORZIENING

## Achtergronden en uitgebreide resultaten

---

Achtergrondstudie

---



# Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050

Investeringsopties voor een kosteneffectieve energievoorziening

## Achtergronden en uitgebreide resultaten

Ruud van den Wijngaart, Rob Folkert en Manon van Middelkoop

**Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Achtergronden en uitgebreide resultaten**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving  
Den Haag, 2014

PBL-publicatienummer: 1333

Dit rapport is een achtergrondstudie bij de Beleidsstudie *Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Investeringsopties voor een kosteneffectieve energievoorziening.*

**Contact**

Ruud van den Wijngaart, ruud.vandenwijngaart@pbl.nl

**Supervisor**

Pieter Boot

**Modelruns**

Bas van Bommel

**Modelontwikkeling en data Vesta 2.0**

Cor Leguijt en Benno Schepers (beiden CE Delft), Maarten Hilferink (ObjectVision), Bas van Bommel en Rob Folkert (beiden PBL)

**Met dank aan**

De auteurs hebben dankbaar gebruikgemaakt van de review van een tussenversie van het rapport door Frans Rooijers (CE Delft), Marijke Menkveld en Casper Tichelaar (beiden ECN), Jan-Willem van de Groep, Jasper van den Munckhof en Ivo Opstelten (allen Platform31), Corjan van de Brink (PBL), Judith Borsboom, Wouter Borsboom, Sophie Jongeneel en Lucienne Krosse (allen TNO) en het commentaar op het conceptrapport van Leo Brouwer, Jos Verlinden, Willem Relou, Ronald Schillemans, Co Westerweel, David Benjamin van der Woude (allen ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties) en Frank van Dam, Anton van der Giessen, Dorien Manting, Robert Koelemeijer, Jacqueline Timmerhuis en Ries van der Woude (allen PBL).

**Beeldredactie**

Beeldredactie PBL

**Eindredactie en productie**

Uitgeverij PBL

**Opmaak**

VijfKeerBlauw, Martin Middelburg

U kunt de publicatie downloaden via de website [www.pbl.nl](http://www.pbl.nl).

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Wijngaart, R. van den et al. (2014), *Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Achtergronden en uitgebreide resultaten*. Den Haag: PBL.

Het PBL is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en altijd wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Het onderzoek	4
1.2	Onderzoeksmethode en uitgangspunten	7
1.3	Leeswijzer	10
<b>2</b>	<b>Investeringspaden voor 2050</b>	<b>11</b>
2.1	Kenmerken van investeringspaden	11
2.2	Kosten, energie-efficiëntie en leercurves van maatregelen	16
<b>3</b>	<b>Resultaten energiebesparing in 2050</b>	<b>20</b>
3.1	CO <sub>2</sub> -reductie en kosten van energiebesparing	20
3.2	Gevoeligheidsanalyse	25
<b>4</b>	<b>Betaalbaarheid van energie</b>	<b>27</b>
4.1	Variatie in energiegebruik, uitgaven en betaalbaarheid	27
4.2	Betaalbaarheid van energie in de toekomst	31
<b>5</b>	<b>Decentrale energieopwekking</b>	<b>32</b>
5.1	Warmtenetten en biogas	32
5.2	Zonnepanelen	33
<b>6</b>	<b>Klimaatneutrale routes</b>	<b>35</b>
6.1	CO <sub>2</sub> -reductie van de investeringspaden	35
6.2	Kosten van de investeringspaden	36
	<b>Literatuur</b>	<b>38</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>40</b>
	Bijlage 1 Theoretisch versus daadwerkelijk aardgasverbruik	40
	Bijlage 2 Onzekerheden in het energiegebruik	43
	Bijlage 3 Kosten isolatieverbetering naar verschillende labelniveaus	45

# Inleiding

## 1.1 Het onderzoek

De transitie naar een duurzame energievoorziening voor de gebouwde omgeving is complex en gaat gepaard met technologische en maatschappelijke onzekerheden. Zo is onduidelijk hoe snel de kosten van nieuwe technologieën gaan dalen, hoe de energieprijzen en het energiegebruik zich ontwikkelen en in hoeverre er bereidheid is voor een grootschalige renovatie. De Europese Unie stelt in de Europese Energie Efficiëntie Richtlijn (EER): ‘Het renovatietempo in de bouw moet worden verhoogd, aangezien het bestaande gebouwenbestand de grootste potentiële sector voor energiebesparingen vormt. Bovendien zijn gebouwen van cruciaal belang om de Unie doelstelling te halen die erin bestaat de broeikasgas-emissies in 2050 met 80-95 % te verminderen ten opzichte van 1990’ (overweging 17, EU 2012). De lidstaten moeten in dat verband ‘... een langetermijnstrategie uitstippelen die verder reikt dan 2020, en die erop gericht is te investeren in de renovatie van woningen en bedrijfsgebouwen, ter verbetering van de energieprestaties van het gebouwenbestand. Volgens die strategie moeten kosteneffectieve, ingrijpende renovaties worden uitgevoerd, bestaande uit een opknapbeurt waarbij zowel de geleverde energie als het eindenergieverbruik van een gebouw met een aanzienlijk percentage wordt verminderd ten opzichte van de niveaus van voor de renovatie, en aldus een zeer hoge energieprestatie wordt bereikt. Dergelijke ingrijpende renovaties kunnen ook in fases worden uitgevoerd’ (overweging 16, EU 2012). De lidstaten dienen een eerste versie van deze strategie uiterlijk 30 april 2014 bekend te maken; de strategie wordt vervolgens om de drie jaar geactualiseerd en telkens als onderdeel van de nationale energie-efficiëntieplannen aan de Europese Commissie voorgelegd (artikel 4, EU 2012).

In de afgelopen jaren zijn zowel op Europees als op nationaal niveau ambitieuze langetermijndoelstellingen voor klimaat, energiebesparing en hernieuwbare energieopwekking geformuleerd. Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) heeft het PBL verzocht om de langetermijnmogelijkheden te verkennen voor energiebesparing en hernieuwbare energie in de gebouwde omgeving. De verkenning kan worden gebruikt als bouwsteen voor het vormgeven en uitwerken van beleidstrajecten, bijvoorbeeld om te kunnen voldoen aan de afspraken die zijn gemaakt in het Nationale Energieakkoord voor Duurzame Groei (SER 2013). In dat akkoord is de doelstelling voor 2050 als volgt geformuleerd: ‘Partijen streven naar een energieneutrale gebouwde omgeving in 2050, die leidt tot terugdringing van CO<sub>2</sub>-emissies, verlaging van woon- en bedrijfslasten en vergroting van de werkgelegenheid in de bouw-, technologie- en installatiesector en aanpalende sectoren. Hierbij worden kosteneffectieve opties benut om de gewenste CO<sub>2</sub>-reductie te kunnen realiseren. Die ambitie kan alleen gerealiseerd worden als gebouweigenaren en -gebruikers fors gaan inzetten op energiebesparing in combinatie met duurzame decentrale energieopwekking. Partijen richten zich op intensivering van investeringen in energiebesparing in de gebouwde omgeving en decentrale hernieuwbare energieopwekking voor eigen gebruik en beogen daarmee structureel bij te dragen aan een duurzame energiehuishouding, werkgelegenheid in de bouw en het beter beheersbaar maken van energielasten voor burgers en bedrijven. Daarbij zal de trias energetica worden gevolgd, waar haalbaar, betaalbaar en efficiënt:

- (1) energiebesparing;
- (2) hernieuwbare energieopwekking;
- (3) zo schoon en efficiënt mogelijk opwekking van niet-hernieuwbare energie’ (SER 2013: 16-17).

Het ministerie van BZK heeft het PBL gevraagd om een bijdrage te leveren aan het in beeld brengen van de potentiële en kosten van de drie pijlers voor de gebouwde omgeving. De hoofdvraag hierbij is: *Welke intensivering van investeringen in energiebesparing en decentrale hernieuwbare energieopwekking voor eigen gebruik is het meest*

*costeneffectief om de woningvoorraad in Nederland klimaatneutraal te maken?*

In tegenstelling tot het Energieakkoord hanteren we het begrip 'klimaatneutraal' in plaats van 'energieneutraal'. De begrippen worden toegelicht in het tekstkader 'Wat is

### **Wat is klimaatneutraal?**

We noemen in dit rapport de woningvoorraad 'klimaatneutraal' als de energie die nodig is voor de warmtevraag van woningen en de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten en verlichting geen CO<sub>2</sub> uitstoot, of als de uitstoot wordt gecompenseerd door een vergelijkbare hoeveelheid CO<sub>2</sub> bij een andere sector te vermijden. Compenseren kan door de opwekking en levering van hernieuwbare energie aan een andere sector. In deze studie gaat het er dus niet om dat huishoudens CO<sub>2</sub>-arme energie van elders betrekken, maar dat ze de energie zelf of in hun directe omgeving opwekken.

De begrippen 'klimaatneutraal' en 'energieneutraal' worden in andere rapporten veelal naast elkaar gebruikt in verband met een duurzame energievoorziening. De uitwerking en invulling met opties als energiebesparing en hernieuwbare energie kennen dan ook veel overeenkomsten, maar ook verschillen. We lichten de begrippen hier toe.

Het begrip 'klimaatneutraal' refereert aan de benodigde vermindering van de uitstoot van broeikasgassen met het oog op het beperken van klimaatverandering. De Europese regeringsleiders hebben in de Europese Raad als doel gesteld dat de uitstoot van broeikasgassen binnen de Europese Unie in 2050 80 tot 95 procent lager moet zijn dan in 1990, in de context van de reducties die door ontwikkelde landen als groep nodig zijn om de tweegradendoelstelling te halen (zie EU 2009a; 2011). Het begrip wordt gebruikt in de *Klimaatbrief 2050* van het ministerie van Infrastructuur en Milieu: 'Deze brief vloeit voort uit de uitnodiging van de Europese Commissie aan de Lidstaten om nationale routekaarten te maken gericht op een klimaatneutrale economie. Hiermee wordt ook invulling gegeven aan de afspraak in VN-verband om *koolstofarme ontwikkelingsstrategieën* op te stellen. Het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Denemarken, Oostenrijk en Polen gingen ons hierin al voor en ook buiten Europa is men druk aan de slag. Het kabinet heeft daarom het initiatief genomen tot een verkenning van de mogelijkheden voor een klimaatneutrale samenleving, de economische gevolgen en de onzekerheden. Met klimaatneutraal wordt hier een binnenlandse emissiereductie van 80% in 2050 bedoeld' (IenM 2011: 3). In het Energieakkoord staan de volgende passages: 'Dit *Energieakkoord voor duurzame groei* wil een krachtige impuls geven aan de economie en het mogelijk maken om grote stappen te zetten richting een energievoorziening die in 2050 volledig klimaatneutraal is' (SER 2013: 13), en 'Idealiter zet dit akkoord stappen op weg naar een mondiaal level playing field met prikkels om decarbonisatie te stimuleren. Het wenkend perspectief op de lange termijn is een klimaatneutrale energievoorziening waarbij duurzame groei optimaal wordt gestimuleerd' (SER 2013: 44).

Het begrip 'energieneutraal' wordt vooral gebruikt voor de sectoren gebouwde omgeving en de glastuinbouw, en niet of nauwelijks bij de andere sectoren (overige landbouw, energiesector, industrie en transport). Binnen de sector gebouwde omgeving is het Europese beleid erop gericht dat vanaf 2020 alle nieuwbouw energieneutraal moet zijn. Het gaat hierbij om het energiegebruik dat nodig is voor de verwarming van gebouwen, en niet om bijvoorbeeld het elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparaten en verlichting. In het kader van de herziene Europese richtlijn Energieprestaties van gebouwen (EPBD, Energy Performance of Buildings Directive) (EU 2010), moeten lidstaten ervoor zorgen dat eind 2020 alle nieuwe gebouwen bijna-energieneutraal zijn. Onder een bijna-energieneutraal gebouw wordt verstaan: een gebouw met een zeer hoge energieprestatie. De dicht bij nul liggende of zeer lage hoeveelheid energie die is vereist, dient in zeer aanzienlijke mate te worden geleverd uit hernieuwbare bronnen, en dient energie te bevatten die ter plaatse of van dichtbij uit hernieuwbare bronnen wordt geproduceerd.

Ook in het Energieakkoord wordt het begrip 'energieneutraal' gebruikt. Daarbij is die term in sommige gevallen van toepassing op de warmtevraag van de gebouwde omgeving, bijvoorbeeld als hij wordt gebruikt bij bijna-energieneutraal voor de nieuwbouw in de context van de EPBD. In andere gevallen is niet aangegeven of het alleen de warmtevraag betreft of ook de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving.

klimaatneutraal?'. Er is voor gekozen om te werken met investeringspaden naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving, omdat daarmee de verschillende opties voor het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk kunnen worden gemaakt, bijvoorbeeld de optie om restwarmte van lokale bedrijven te benutten voor de warmtevraag van woningen. Ook een vergelijking met het betrekken van CO<sub>2</sub>-arme energie van elders wordt daarmee vergemakkelijkt. De CO<sub>2</sub>-reductie door elektriciteit op te wekken met zonnepanelen op de daken van woningen kan dan bijvoorbeeld worden vergeleken met de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de ingekochte elektriciteit die wordt geproduceerd door energiebedrijven. Opties om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van elektriciteit van energiebedrijven te verminderen, zijn wind op land en zee; biomassa; CO<sub>2</sub>-opvang en -opslag; en kernenergie. Deze opties hebben voldoende potentieel om de elektriciteit geproduceerd door energiebedrijven in Nederland in 2050 klimaatneutraal te maken (PBL 2011). In dit rapport beschouwen we de mogelijkheden binnen de gebouwde omgeving en leggen we daarmee de basis voor een vergelijking met opties buiten de sector.

Daarnaast richten we ons op de bestaande woningvoorraad en leggen daarbij het accent op energiebesparing op de warmtevraag. We focussen op de bestaande voorraad omdat hier de grootste en moeilijkste opgave voor de energietransitie ligt. Ook bij de nieuwbouw zijn nog drempels te overwinnen, maar deze betreffen vooral de praktische uitvoering van de technische bouwconcepten om te voldoen aan de energieprestatienormen van de nieuwbouw. Onder invloed van de EU-richtlijnen moeten nieuwe woningen vanaf 1 januari 2021 bijna-energie neutraal worden opgeleverd ('energie neutraal' betreft in dit geval alleen het warmtegebruik, zie het tekstkader). Nieuwe woningen worden daardoor al steeds energie-efficiënter gebouwd. Om bestaande woningen te laten voldoen aan vergelijkbare energieprestaties, moeten maatregelen worden genomen die veel duurder zijn. Bovendien mikt het huidige beleid voor de verduurzaming van de bestaande woningvoorraad vooral op 'verleiding' van woningeigenaren en is daardoor minder dwingend dan de normstelling voor de nieuwbouw. Toch zal van alle bestaande woningen in 2050 nog driekwart of meer aanwezig zijn. Met de herstructurering van wijken en sloop en vervanging van woningen kunnen deze woningen weliswaar energieneutraal worden gemaakt, maar het daadwerkelijke aantal energieneutrale woningen zal beperkt zijn. Herstructurering en sloop vinden namelijk vaak om andere redenen plaats, zoals krimp van regio's en leefbaarheidsaspecten. Bovendien zijn herstructurering en sloop relatief (te) dure ingrepen om energiebesparing en decentrale hernieuwbare energie te realiseren.

Het onderzoek beperkt zich dus tot de bestaande woningvoorraad, en daarbinnen vooral tot de energiebesparing op de warmtevraag. Voor de warmtevraag die resteert na energiebesparing schetsen we indicatief de mogelijkheden van kansrijke decentrale energieopties voor een klimaatneutrale warmtevoorziening. Wat betreft het elektriciteitsverbruik van de woningvoorraad laten we de mogelijkheden voor elektriciteitsbesparing buiten beschouwing, omdat die voor het grootste deel afhankelijk zijn van internationale en Europese ontwikkelingen. De mogelijkheid om hernieuwbare elektriciteit op te wekken met vooral zonnepanelen op de daken en gevels van woningen nemen we wel mee in het onderzoek. Uiteindelijk laten we zien hoeveel potentieel moet worden gerealiseerd om de woningvoorraad voor 100 procent klimaatneutraal te maken, en welke kosten hiermee zijn gemoed.

De hoofdvraag van het onderzoek is daarmee tweeledig:

1. *Welke investeringen in energiebesparing zijn op de lange termijn het meest kosteneffectief om de warmtevraag van de woningvoorraad te verminderen? En hoe ontwikkelen zich de energiekosten voor huishoudens tot 2050?.*
2. *Welke bijdrage van decentrale energieopwekking is nodig voor de resterende opgave om het totale energiegebruik van de woningvoorraad klimaatneutraal te maken?*

Hierbij merken we op dat we ons beperken tot de technische potentiëlen van energiebesparing en decentrale energieopwekking. Naast de meest gangbare maatregelen zijn nieuwe en innovatieve technieken meegenomen voor zover met de huidige kennis betrouwbare uitspraken mogelijk zijn. Door een beeld te geven van de technische mogelijkheden voor en kosten van de woningvoorraad beogen we bij te dragen aan de ontwikkeling van een perspectief op een duurzame energievoorziening van de gebouwde omgeving. Het beeld van de kosten is van belang met het oog op de bereidheid en het financiële draagvlak van eigenaren en bewoners om maatregelen te nemen; hiervoor hanteren we de eindgebruikersbenadering. Om kosteneffectieve maatregelen te benoemen voor de samenleving als geheel, worden ook de nationale kosten berekend. Hierbij rekenen we met een lagere rente voor de afschrijving van de investeringen en zonder financiële overdrachten tussen sectoren en overheid, zoals energiebelasting en btw. We realiseren ons dat er nog veel technische, financiële, economische en niet-economische belemmeringen – die we niet hebben onderzocht – moeten worden overwonnen om de geschetste potentiëlen te kunnen laten slagen. Hoewel het onderzoek niet is gericht op de beleidsinstrumenten waarmee de technische potentiëlen kunnen worden gerealiseerd, hopen we dat het kan bijdragen aan de



keuzes die beleidsmakers en belanghebbenden moeten maken voor het slagen van kansrijke opties en een perspectiefvol beleidsinstrumentarium. Omdat alleen is gekeken naar de technische mogelijkheden binnen de gebouwde omgeving, zijn de mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-vermindering van het centrale elektriciteitsproductiepark, zoals wind op land en zee, biomassa; CO<sub>2</sub>-opvang en -opslag en kernenergie, buiten beschouwing gelaten.

## 1.2 Onderzoeksmethode en uitgangspunten

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen zijn de mogelijkheden en kosten verkend van verschillende investeringspaden die kunnen leiden tot een klimaatneutrale woningvoorraad in Nederland. 'Klimaatneutraal' betekent daarbij dat de woningvoorraad per saldo geen bijdrage levert aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot door het gebruik van warmte (vooral gasverbruik) en elektriciteit voor huishoudelijke apparatuur en verlichting. De elektriciteit die wordt gebruikt voor de elektrische auto is hier niet in meegenomen.

Voor de warmtevraag zijn technische maatregelen onderzocht die een representatief beeld geven van de kosten en potentiële van klimaatneutraliteit: energiebesparing, warmtenetten, groen gas en zonnepanelen. Gedragsverandering om de warmtevraag te verminderen is niet meegenomen. Voor het beperken van elektriciteitsverbruik is alleen gekeken naar de inzet van zonnepanelen. De verbetering van de energieefficiëntie van apparaten en verlichting is niet bekeken, omdat deze door specifiek Nederlands beleid niet goed is te beïnvloeden.

Het uitgangspunt in deze studie zijn investeringspaden met verschillende niveaus van energiebesparing, die door aanvulling met decentrale energieopwekking tot een klimaatneutrale woningvoorraad leiden. Onderzocht is wat de verschillende energiebesparingsniveaus betekenen voor de kosten en benodigde inzet van decentrale energieopwekking. Zo is gekeken of de benodigde CO<sub>2</sub>-reductie voordeliger via maatregelen buiten de woning kan worden gehaald. Als de decentrale energieopwekking (warmtenetten, groen gas en zonnepanelen op daken en gevels van woningen) voordeliger is (of wordt), dan kan er met een lager energiebesparingstempo worden volstaan. De CO<sub>2</sub>-reductie kan dan worden gerealiseerd met de inzet van zulke decentrale energieopties. Daarnaast is er gekeken naar fasering van maatregelen. Zo is een investeringsroute onderzocht waarbij dure innovatieve energiebesparingsmaatregelen pas op grote schaal worden genomen als ze door ontwikkeling van de

technologie en ervaring in kleinschalige projecten goedkoper zijn geworden. Hiermee is in beeld gebracht of het bijvoorbeeld voordeliger is om energiebesparing te faseren in de tijd omdat innovatieve diepgaande energiebesparingsmaatregelen inmiddels goedkoper zijn geworden.

### Het Vesta-model

De berekeningen van het energiegebruik, de CO<sub>2</sub>-uitstoot en van de kosten van het energiegebruik en de energie-maatregelen zijn berekend op basis van scenarioanalyses met het Vesta 2.0-model. Het PBL heeft samen met CE Delft en ObjectVision het Vesta-model ontwikkeld om voor Nederland mogelijke routes te verkennen naar een CO<sub>2</sub>-arme gebouwde omgeving en glastuinbouw in 2050 (Folkert & Van den Wijngaart 2012; Leguijt & Schepers 2011). Met het model kan worden nagegaan welke mix en fasering van energiebesparing en decentrale energieopwekking het meest kosteneffectief is.

Ten opzichte van versie 1.0 is het model op enkele punten aangepast (Leguijt & Schepers 2013). Het model is uitgebreid om scenario's van woningverbeteringen met verschillende energetische diepgang te kunnen doorrekenen. Het gaat hierbij om een verbetering met twee energielabelsprongen, naar een label B-niveau of naar een CO<sub>2</sub>-loze woning met energielabel Eigenwarmte. Daarnaast biedt het model de mogelijkheid te kunnen rekenen met verschillende inzichten over leereffecten op de kostenontwikkeling van toekomstige technologieën (leercurves). Als laatste is een nieuwe methode gebruikt voor het bepalen van een realistischer gasverbruik in woningen (zie bijlage 1). Het berekende totale verbruik van aardgas door huishoudens in Nederland (op basis van de Voorbeeldwoningen 2011) wijkt namelijk af van het daadwerkelijke verbruik in de praktijk (Van den Wijngaart et al. 2012): het daadwerkelijke verbruik ligt 40 procent lager. Hiervoor is in versie 1.0 van Vesta een uniforme correctiemethode gebruikt voor alle woningtypen en bouwjaren. In dit rapport is een correctie gebruikt op basis van meetgegevens van het daadwerkelijke gasverbruik per woningtype en bouwjaar op basis van de database van WoON 2012. Door deze correctie valt de verdeling van het gasverbruik over de woningtypen (en vooral bouwjaarklassen) anders uit en neemt de overschatting van het gasverbruik met circa de helft af. Om aan te sluiten bij het daadwerkelijke energiegebruik is daarom alsnog een aanvullende uniforme correctie toegepast op alle woningtypen en bouwjaren.

### Eindgebruikerskosten en nationale kosten

Voor alle investeringspaden zijn de kosten van de maatregelen in kaart gebracht en onderling vergelijkbaar gemaakt. Hiervoor zijn de investeringen, onderhoudskosten en opbrengsten door uitgespaard energiegebruik die in de verschillende jaren worden gemaakt

Tabel 1.1  
Gehanteerde rentevoeten

Groep	Rentevoet (%)
Woningeigenaar	5,5
Warmtebedrijven	6,0
Samenleving	4,0

Bron: Ministerie van VROM (1998)

Tabel 1.2  
CO<sub>2</sub>-uitstoot en energiegebruik van de bestaande woningvoorraad bij een bevroren efficiëntieontwikkeling

	2010	2050
CO <sub>2</sub> (megaton)		
Warmtevraag	19	17
Elektriciteitsvraag huishoudelijke apparaten en verlichting	14	14
Energie (petajoule)		
Warmtevraag	335	310
Elektriciteitsvraag huishoudelijke apparaten en verlichting	88	88

Bron: PBL Vesta-model (2013)

verdisconteerd (netto contante waarde) naar het eerste jaar waarin de maatregelen in de investeringspaden worden genomen (2015). Vervolgens zijn zij op basis van annuïteiten omgerekend naar een constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050. De kosten worden berekend volgens twee benaderingen van de MilieukostenMethodiek (VROM 1998): de nationale kostenbenadering en de eindgebruikersbenadering. In de eindgebruikersbenadering worden de energiebelasting en btw meegenomen. De rentevoet wordt gebaseerd op praktijkgemiddelde sectorale rentevoeten (tabel 1.1). De nationale kostenbenadering biedt het perspectief voor de gehele Nederlandse samenleving. Hiertoe wordt een lage rentevoet gehanteerd voor de jaarlijkse kapitaallasten van investeringen en worden overhevelingen tussen sectoren en overheid, zoals energiebelasting en btw, niet meegerekend. Er wordt geen rekening gehouden met werkgelegenheidseffecten in de bouw.

### Bevroren efficiëntieontwikkeling en energieprijzen

De investeringspaden geven de energieverbetering met energiebesparing (tempo en diepgang) en de inzet van decentrale energieopwekking in de woningvoorraad in Nederland. De investeringspaden zijn geanalyseerd ten opzichte van een bevroren efficiëntieontwikkeling. In die ontwikkeling zijn er geen verbeteringen in de isolatie (gevel, vloer, dak en glas) van woningen, noch in de warmte-installaties, zoals de cv-ketel. Ook wordt geen verandering verondersteld in de warmtevraag door andere oorzaken, zoals demografische ontwikkelingen,

de samenstelling van huishoudens of gedrag. Wel wordt rekening gehouden met de invloed op de warmtevraag van de stijging van de buitentemperatuur door de opwarming van de aarde als gevolg van klimaatverandering. Door de stijging van de buitentemperatuur nemen de energievraag voor warmte en de hiermee samenhangende CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland af. De langjarig gemiddelde temperatuurstijging over de periode tot 2050 is verondersteld op 1,3 °C. Hierdoor is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag in 2050 1,5 megaton lager dan bij een bevroren efficiëntieontwikkeling (Folkert & Van den Wijngaart 2012). Het elektriciteitsverbruik van de woningvoorraad blijft gelijk in de periode tot 2050. Hierbij is verondersteld dat de stijging van het elektriciteitsverbruik door nieuwe en meer huishoudelijke apparaten en verlichting teniet wordt gedaan door verbeteringen in de energie-efficiëntie.

De energieprijzen zijn belangrijk bij het bepalen van de energiekosten en de baten van energiebesparing. Omdat niet bekend is hoe de energieprijzen zich in de toekomst gaan ontwikkelen, zijn er verschillende varianten opgesteld. Bij de basisberekeningen is uitgegaan van de actualisatie van de Referentieraming uit 2012 waarin de energieprijzen eerst sterk stijgen tot 2020 en daarna afvlakken tot het zichtjaar (2030) van de raming (Verdonk & Wetzels 2012). Omdat voor de periode daarna geen onderbouwde referenties beschikbaar zijn, is uitgegaan van gelijkblijvende prijzen voor de periode na 2030 tot 2050. In varianten voor een gevoeligheidsanalyse is

Tabel 1.3  
Ontwikkeling van de energieprijzen voor verschillende varianten

	2010	2030	2050
Gasprijs kleinverbruik (euro per m <sup>3</sup> )			
Sterk stijgend	0,64	0,81	0,99
Basisberekening	0,64	0,81	0,81
Gelijkblijvend	0,64	0,64	0,64
Dalend	0,64	0,57	0,57
Elektriciteit kleinverbruik (euro per kWh)			
Sterk stijgend	0,25	0,32	0,39
Basisberekening	0,25	0,32	0,32
Gelijkblijvend	0,25	0,25	0,25
Dalend	0,25	0,23	0,23

Bron: PBL Vesta-model (2013)

gerekend met verder stijgende energieprijzen na 2030 tot 2050, gelijkblijvende energieprijzen in de gehele periode van 2010 tot 2050 en met dalende energieprijzen (tabel 1.3).

### Onzekerheden

Naast de basisberekeningen met gemiddelde waarden voor investeringskosten en ontwikkelingen is er ook een gevoeligheidsanalyse voor enkele onzekerheden gemaakt. Van veel van deze ontwikkelingen zijn de inschattingen onzeker; de marges waarbinnen de waarden zich kunnen ontwikkelen zijn dan ook groot. Deze afwijkingen kunnen een groot effect hebben op de kosten van investeringspaden. Voor de gevoeligheidsanalyse zijn de investeringspaden beoordeeld voor dalende, gelijkblijvende en nog verder stijgende energieprijzen die zijn gegeven in tabel 1.3. Ook zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de minimale en maximale investeringskosten van de energiebesparingsmaatregelen, zoals de verbeteringen van de woningschil en de installatie van zonnepanelen, zonneboiler en elektrische warmtepomp (zie paragraaf 2.2). Daarbij is ook gevarieerd in de ontwikkeling van de investeringskosten in de loop van de tijd onder invloed van materiaalprijzen, arbeidskosten, productiviteit en voortgang van de technologie (paragraaf 2.2.). Tevens is er een variant doorgerekend voor de eindgebruikerskosten waarbij met een hogere rentevoet (8 procent) voor de woningeigenaren is gerekend dan in de basisberekening (5,5 procent).

Daarnaast is het optreden van zogenoemde rebound-effecten bij besparingsmaatregelen in kaart gebracht. Dit is het effect dat een besparing aanzet tot meer consumptie, waardoor een deel van de besparing weer teniet wordt gedaan. Een huishouden kan bijvoorbeeld na het aanbrengen van isolatie en het vervangen van de

ketel (al dan niet bewust) besluiten om meer ruimten te verwarmen, vanuit de gedachte dat dit nu toch niet (of minder) uitmaakt of omdat de comfortwinst nu relatief 'goedkoper' is geworden. Ook kan het budget dat wordt uitgespaard op de elektriciteitsrekening na de installatie van zonnepanelen worden aangewend voor de aanschaf van extra apparaten, zoals een wasdroger. Door zulke reboundeffecten (zie ook PBL 2013; Stern 2013) gaat een deel van de potentiële energiebesparing verloren (of wellicht beter: wordt omgezet in meer comfort), en wordt de investering minder snel terugverdiend. Er zijn echter weinig gegevens bekend over reboundeffecten bij energiebesparing in woningen, en al helemaal niet over het effect van specifieke omstandigheden. De definities die in de verschillende studies zijn gehanteerd, zijn niet consistent, de waargenomen effecten verschillen. Het gaat hierbij bovendien om onderzoek in het buitenland, verricht onder andere omstandigheden dan in Nederland. Het reboundeffect bij energiebesparing in woningen wordt geschat op 10 tot 30 procent (Gotttron 2001; Sorrell 2007). In de reboundvariant is de gemiddelde waarde van 20 procent uit de studie van Sorrell (2007) toegepast als inschatting van het reboundeffect bij isolatiemaatregelen en de aanschaf van een HR107-ketel.

Andere onzekerheden komen voort uit kennislacunes over relaties en ontwikkelingen die bepalend zijn voor het energiegebruik. De belangrijkste onzekerheden hierbij betreffen de volgende uitgangspunten en invoergegevens van het Vesta-model:

- het aardgasgebruik van de woningen in het startjaar;
- de ontwikkeling van klimaatverandering en het effect op het energiegebruik;
- de ontwikkeling van het slooptempo van woningen;
- de ontwikkeling van het aantal huishoudens;
- de ontwikkeling van het inkomen van huishoudens.

De onzekerheden die samenhangen met deze aspecten worden toegelicht in bijlage 2.

In het algemeen geldt dat de resultaten van het Vesta-model gelden voor gemiddelden van grote groepen. Uiteindelijk geldt voor investeringsbeslissingen dat deze alleen kunnen worden genomen op basis van de specifieke omstandigheden van zowel de woning als het huishouden dat daarin woont. Hierin kan een grote variatie optreden ten opzichte van het gemiddelde.

### 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 bespreken we de kenmerken van de investeringspaden. Het gaat hierbij om de investeringspaden die zijn opgesteld om de mogelijkheden en kosten te verkennen van verschillende energiemaatregelen die kunnen resulteren in een klimaatneutrale woningvoorraad in Nederland. De resultaten van de energiebesparing in de investeringspaden worden besproken in hoofdstuk 3. De CO<sub>2</sub>-reductie en de kosten komen daar aan bod, evenals de gevoeligheid voor de onzekerheid in de ontwikkeling van energieprijzen en leereffecten van de investeringskosten. In hoofdstuk 4 kijken we naar de betaalbaarheid van energie voor huishoudens en hoe die zich in de toekomst ontwikkelt. Dit gebeurt op basis van een analyse van het energiegebruik en de bestedingen naar woning- en huishoudenskenmerken. In hoofdstuk 5 gaan we in op de resterende opgave van de CO<sub>2</sub>-reductie met decentrale energieopwekking. Ten slotte evalueren we in hoofdstuk 6 de klimaatneutrale routes.

# Investeringspaden voor 2050

In dit hoofdstuk bespreken we de uitgangspunten, methode en invoerdata die zijn gebruikt om de verschillende mogelijkheden voor een klimaatneutrale woningvoorraad in kaart te brengen. Hiervoor zijn verschillende investeringspaden opgesteld, om de hoofdvraag te beantwoorden welke investeringsroute het meest kosteneffectief is om de woningvoorraad in 2050 klimaatneutraal te laten zijn. Klimaatneutraal wil zeggen dat de woningvoorraad per saldo geen CO<sub>2</sub>-uitstoot veroorzaakt door de vraag naar warmte en elektriciteit. In paragraaf 2.1 gaan we in op de kenmerken van de investeringspaden, waarbij het gaat om het tempo, het soort en de diepgang van de maatregelen. Vervolgens bespreken we in paragraaf 2.2 het potentieel en de kosten van de maatregelen, en behandelen we in paragraaf 2.3 het referentiescenario en de invoerdata. In paragraaf 2.4, tot slot, gaan we in op de onzekerheden bij het bepalen van de kosten van de investeringspaden.

## 2.1 Kenmerken van investeringspaden

Voor de woningvoorraad zijn tot 2050 vier investeringspaden opgesteld, die alle vier als uitgangspunt hebben dat de voorraad in 2050 klimaatneutraal is. De investeringspaden bestaan uit verschillende maatregelen, die ruimtelijk zijn geïnclassificeerd in enerzijds maatregelen voor binnen of op de woning (het gebouw) die de woningeigenaar zelfstandig kan uitvoeren, en anderzijds

maatregelen die in collectief verband en/of door marktpartijen lokaal voor een groep van woningen worden genomen (zogenoemde gebiedsmaatregelen). Het gaat hierbij om de volgende maatregelen:

- Energiebesparing op de warmtevraag van de woning (energiebesparing): isolatie van de woning (gevel, dak, vloer en glas), efficiëntere warmte-installatie (elektrische warmtepomp) en opwekking van hernieuwbare energie op het gebouw (zonnepanelen en zonneboiler).
- Decentrale energieopties (gebiedsmaatregelen) voor de warmtevraag: warmtenetten (restwarmte, warmtekrachtkoppeling (WKK), geothermie), groen gas en zonnepanelen op de woning om de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten te dekken en ter compensatie van de resterende CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag.

De verschillen tussen de investeringspaden worden bepaald door de uitgangspunten voor de energiebesparing op de warmtevraag. Het effect van de energiebesparing op de CO<sub>2</sub>-uitstoot bepaalt de resterende benodigde inzet van de decentrale energieopties die nodig is voor een klimaatneutraal resultaat. De decentrale energieopties fungeren hierbij als sluitstuk van het investeringspad voor een klimaatneutrale woningvoorraad. Vooral zonnepanelen worden hierbij als een sluitpost ingezet: het tekort aan CO<sub>2</sub>-reductie wordt gecompenseerd door elektriciteit geproduceerd met zonnepanelen te leveren aan andere sectoren, zoals transport (elektrische auto) en industrie.

Tabel 2.1

**Energetische verbetering bij renovatie per investeringspad, uitgedrukt in energielabel**

Investeringspad	Tot 2030	Na 2030
Beperkt	tussenlabel en B	tussenlabel en B
Breed	tussenlabel en B	B en Eigenwarmte
Diep	B en Eigenwarmte	B en Eigenwarmte
Gefaseerd diep	B en Eigenwarmte (zonder installatieverbeteringen)	B en Eigenwarmte

Tabel 2.2

**Tempo van de renovatie per investeringspad, uitgedrukt in woningen per jaar**

Investeringspad	Tot 2030	Na 2030
Beperkt	100.000	100.000
Breed	300.000	170.000
Diep	170.000	170.000
Gefaseerd diep	170.000	170.000

Dat wil zeggen dat eerst wordt gekeken in hoeverre met de andere maatregelen klimaatneutraliteit kan worden bereikt. Het tekort aan CO<sub>2</sub>-reductie wordt vervolgens gecompenseerd met elektriciteit uit zonnepanelen. In hoeverre die elektriciteit inpasbaar is in het elektriciteits-net, is in deze studie buiten beschouwing gelaten.

**Energiebesparing**

De investeringspaden verschillen in het renovatietempo van en de diepgang van maatregelen in woningen. Het gaat bij het tempo om het aantal woningen dat per jaar wordt aangepakt. Bij grote energieverbeteringen moet dit vanwege het ingrijpende karakter en de kosten aansluiten bij natuurlijke momenten voor grootschalig onderhoud (eenmaal in de 30 à 40 jaar). De diepgang van de maatregelen heeft betrekking op de mate van energiebesparing en wordt uitgedrukt in energielabel-sprongen. Voor alle investeringspaden geldt dat de huidige cv-ketels in 2020 vervangen zijn door de HR 107-ketel. Bij de labelsprongen gaat het om verbeteringen met twee labelstappen en een verbetering tot label B (totale warmteweerstand (Rc) =2,5). Bij een nog verdergaande verbetering wordt de woning zodanig aangepast dat die helemaal zelf in de warmte kan voorzien. Nog betere isolatie (Rc=5,0) wordt gecombineerd met een zelfvoorzienende warmte-installatie. Deze bestaat uit een elektrische warmtepomp met een lagetemperatuur-afgiftesysteem (vloerverwarming en/of grote radiatoren). De stroom die de elektrische warmtepomp gebruikt, wordt dan door de woning zelf opgewekt (op jaarbasis) door zonnepanelen op het dak of de gevel van de woning. Een woning die op een dergelijke wijze in de eigen warmte voorziet zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot te veroorzaken, noemen we in dit rapport een woning met energielabel Eigenwarmte. Het is echter ook mogelijk om van de

warmte-installatie (inclusief de zonnepanelen) af te zien en alleen de woningschil op Eigenwarmte-isolatie-niveau te brengen. Dit wordt hier aangeduid als ‘label Eigenwarmte (zonder installatieverbeteringen)’. Er zijn vier investeringspaden die, zoals gezegd, worden gekenmerkt door de keuzes bij de energiebesparing:

1. Beperkt: het energiebesparingstempo van de woningvoorraad ligt iets lager dan in de afgelopen jaren.
2. Breed: het energiebesparingstempo van de woningvoorraad ligt een- tot tweemaal zo hoog als in de afgelopen jaren.
3. Diep: het energiebesparingstempo van de woningvoorraad sluit aan bij natuurlijke momenten voor grootschalig onderhoud, waarbij richting 2050 een toenemend aandeel naar energielabel Eigenwarmte wordt gebracht.
4. Gefaseerd diep: dit is een variant op Diep, met als verschil dat bij renovaties naar label Eigenwarmte tot 2030 de relatief dure warmte-installatieverbeteringen niet worden toegepast.

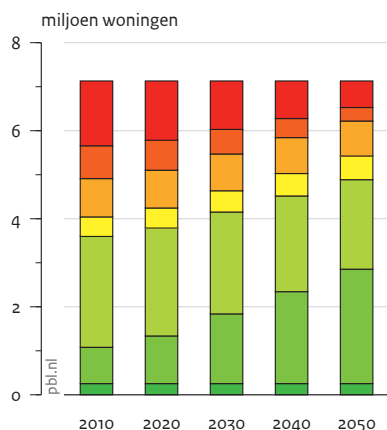
We bespreken de kenmerken van de vier investeringspaden hierna meer in detail.

**Beperkt**

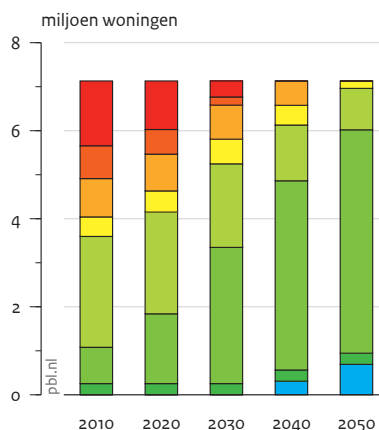
- De energieverbeteringen liggen in dit investeringspad, met 100.000 woningen en twee labelsprongen per jaar, onder het niveau van de afgelopen jaren (Hezeman et al. 2012). De woning wordt tot maximaal label B-niveau verbeterd (zie tabel 2.1 en 2.2).
- De verbeteringen vinden evenredig over de gehele woningvoorraad en tijdsperiode plaats. In 2050 is 25 procent van de woningen verbeterd naar label B, en is 30 procent met twee energielabels verbeterd naar C-, D- of E-niveau. Het resultaat van de verbeteringen in

Figuur 2.1  
Energie labels van woningvoorraad

Investeringspad Beperkt



Investeringspad Breed



Bron: PBL Vesta-model 2013

aantallen woningen per energielabel is weergeven in figuur 2.1.

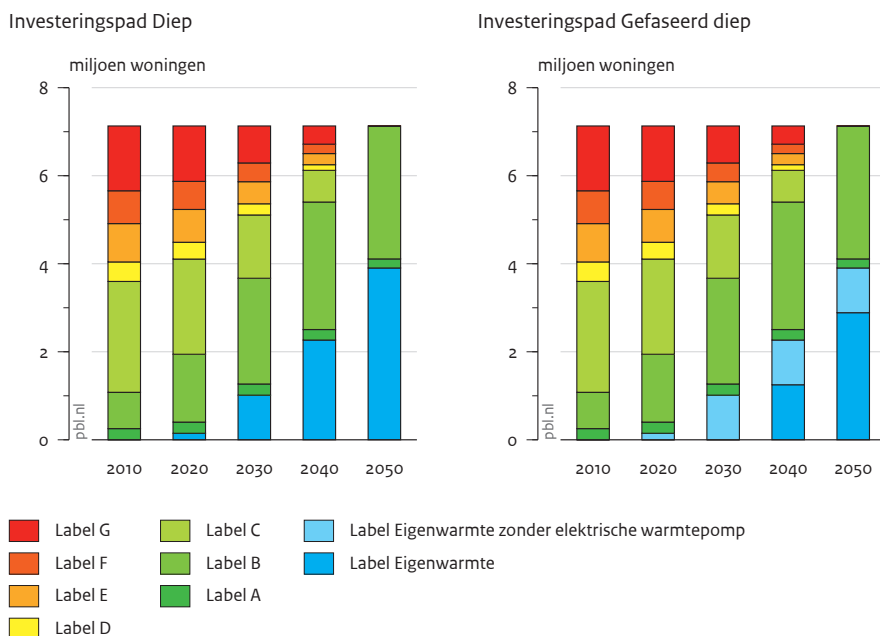
**Breed**

- Het verbeteringsniveau sluit in dit pad aan bij de doelstelling uit de nationale aanpak voor energiebesparing in bestaande woningen ‘Meer met minder’ (300.000 woningen per jaar met twee labelsprongen verbeteren), waarbij het tempo een- tot tweemaal zo hoog is als in de afgelopen jaren. Na ongeveer twintig jaar zijn alle woningen aangepakt en wordt een deel voor een tweede keer verbeterd. Het betreft in beperkte mate maximale energieverbeteringen tot woningen met een klimaatneutrale warmtevraag (zie tabel 2.1 en 2.2).
- Tot 2030 is 75 procent van de renovaties een verbetering met twee labelsprongen en 25 procent verbetert naar energielabel B, evenredig over alle woningtypen. In 2040 verbetert 10 procent en in 2050 40 procent van de gerenoveerde woningen naar energielabel Eigenwarmte. De overige woningen gaan naar label B. Het grootste aandeel van de renovaties naar energielabel Eigenwarmte wordt ingenomen door boerderijen, vrijstaande woningen, twee-onder-een-kapwoningen en rijtjeshuizen. Het resultaat van de verbeteringen in aantallen woningen per energielabel is weergeven in figuur 2.1.

**Diep**

- In dit investeringspad is de energiebesparingsverbetering in woningen maximaal. De woningverbeteringen leiden tot label B-niveau en richting 2050 voor een toenemend aandeel tot label Eigenwarmte. Het renovatietempo sluit om praktische en financiële redenen aan bij het tempo van groot-schalig onderhoud aan de woning (om de 30 à 40 jaar), zodat in 2050 vrijwel alle woningen zijn verbeterd (zie tabel 2.1 en 2.2).
- Bij boerderijen, vrijstaande woningen, twee-onder-een-kapwoningen en rijtjeshuizen van voor 2000 loopt het aandeel dat verbetert naar Eigenwarmte-niveau op van 10 tot 25 procent in 2020 naar 100 procent in 2050. Bij de overige woningtypen (hoofdzakelijk meergezinswoningen) is dit aandeel lager en loopt dit op van 0 tot 5 procent in 2020 naar 30 tot 50 procent in 2050. Dit komt door de veronderstelling dat de opschaling naar meergezinswoningen meer tijd nodig heeft. In de eerste plaats moeten technologieën die nog in ontwikkeling zijn problemen overwinnen om te kunnen worden toegepast in meergezinswoningen. Bij grootschalige binnenstedelijke toepassing gaat het om compacte seizoenopslag van warmte en koude om binnen de perceelgrens te blijven en het gebruik van de ondergrond bij de elektrische warmtepomp, de zonneboiler en zonnepanelen op gevels en daken waarvoor bij meergezinswoningen minder ruimte

**Figuur 2.2**  
**Energielabels van woningvoorraad**



Bron: PBL Vesta-model 2013

beschikbaar is. In de tweede plaats is de procesmatige aanpak vaak lastiger vanwege de verschillende motieven van huurders en verhuurder bij meergezinswoningen. In 2050 is 55 procent van de huidige woningvoorraad verbeterd naar Eigenwarmte-niveau en 42 procent naar label B (figuur 2.2). Het overige aandeel (3 procent) is op label A-niveau gebleven.

**Gefaseerd diep**

- In dit pad gaat het om een hoge energiebesparingsverbetering in woningen, maar net niet maximaal. De woningverbetering leidt tot label B en tot 2030 bij een toenemend aandeel tot label Eigenwarmte, maar dan zonder installaties (dus niet CO<sub>2</sub>-neutraal). Na 2030 wordt de (meest kostbare) stap naar de 100 procent eigenwarmtevoorziening (CO<sub>2</sub>-neutraal) wel gezet, analoog aan het investeringspad Diep. Het renovatietempo sluit om praktische en financiële redenen aan bij het tempo van grootschalig onderhoud (om de 30 à 40 jaar) (zie tabel 2.1 en 2.2).
- Tot 2030 vinden de renovaties naar Eigenwarmte-niveau plaats zonder plaatsing van een elektrische warmtepomp met lagetemperatuurafgiftesysteem, zonneboiler en zon-PV. De renovaties na 2030 zijn mét deze installaties en dus wel CO<sub>2</sub>-neutraal. In figuur 2.2 staat het resultaat weergegeven in aantallen woningen per energielabel. Bij boerderijen, vrijstaande woningen,

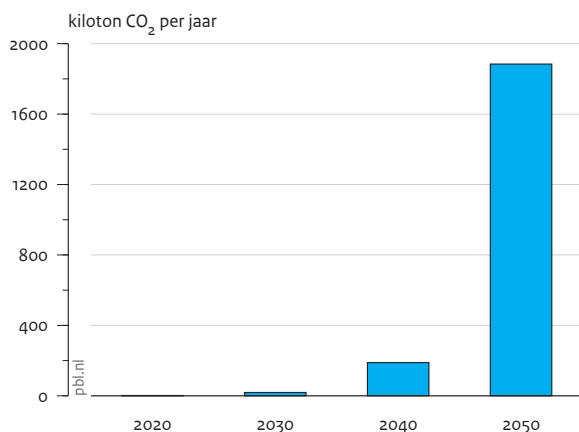
twee-onder-een-kapwoningen en rijtjeshuizen van voor 2000 loopt het aandeel dat verbetert naar Eigenwarmte-niveau (tot 2030 zonder installatieverbeteringen) op van 10 tot 25 procent in 2020 naar 100 procent in 2050. Bij de overige woningtypen (hoofdzakelijk meergezinswoningen) is dit aandeel lager en loopt dit op van 0 tot 5 procent in 2020 naar 30 tot 50 procent in 2050. Het aandeel van de meergezinswoningen is lager dan dat van de eengezinswoningen, om dezelfde redenen als bij investeringspad Diep. Omdat na 2030 wordt gestart met de CO<sub>2</sub>-neutrale woningrenovaties, is in 2050 40 procent van de huidige woningvoorraad verbeterd naar label Eigenwarmte, 14 procent naar ‘Eigenwarmte (zonder installatieverbetering)’ en 42 procent naar label B (figuur 2.2). Het overige aandeel (3 procent) is op label A-niveau gebleven.

**Decentrale energieopwekking**

Zoals gezegd, bepaalt de mate van inzet van energiebesparing de resterende opgave en daarmee de benodigde inzet van decentrale energieopwekking. De investeringspaden worden namelijk aangevuld met decentrale energieopwekking, zodat dit leidt tot een per saldo klimaatneutraal resultaat voor de gehele woningvoorraad. De keuze voor de mate van energiebesparing op woningniveau bepaalt daarmee impliciet ook de inzet van decentrale energieopwekking in het



Figuur 2.3  
CO<sub>2</sub>-reductie door inzet van groen gas



Bron: PBL 2013

investeringspad. Om te komen tot een klimaatneutrale woningvoorraad worden verschillende decentrale energieopties ingezet. Het gaat hierbij om de volgende maatregelen:

- warmtenetten (restwarmte, WKK, geothermie)
- groen gas (uit lokale reststromen)
- zonnepanelen

Warmtenetten worden ingezet om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren die samenhangt met de warmtevoorziening in woningen. De meeste warmtenetten worden aangelegd in 2020 en 2030, op locaties waar dat op dat moment rendabel is indien van een in de toekomst gelijkblijvende warmtevraag wordt uitgegaan. Hierbij is aangenomen dat er geen nieuwe warmtebronnen bij komen en dat de huidige restwarmtebronnen tot 2050 volledig beschikbaar blijven. In de context van de investeringspaden is vooral belangrijk dat de warmtevraag tot 2050 afneemt, omdat de meerderheid van de woningen wordt gerenoveerd. De snelheid en diepgang van de renovatie hangen hierbij af van het investeringspad. Dit heeft tot gevolg dat de warmtenetten over de gehele periode bekeken in een aantal gevallen niet rendabel zijn doordat er in de toekomst minder warmte nodig is dan ten tijde van de aanleg van het warmtenet is uitgegaan. Hierdoor kent deze maatregel, afhankelijk van het investeringspad, veelal kosten per eenheid vermeden CO<sub>2</sub>.

Ook groen gas wordt ingezet om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren die samenhangt met de warmtevoorziening in woningen. Dit gas kan worden ingevoerd in het bestaande lokale of landelijke aardgasnet. Groen gas vervangt het aardgas. We gaan in het onderzoek uit van een CO<sub>2</sub>-neutraal gebruik van groen gas in het lokale

aardgasnet, en rekenen de uitgespaarde CO<sub>2</sub>-emissie door de vervanging van aardgas toe aan de gebouwde omgeving. Het potentieel in 2050 is hierbij beperkt tot 10 procent van het huidige aardgasverbruik per jaar. Deze 10 procent is gebaseerd op Agentschap NL (2006) en Leguijt en Schepers (2013). Er is hierbij aangenomen dat woningen maximaal hun aandeel van 10 procent kunnen gebruiken. Omdat groen gas een nieuwe technologie is die zich nog moet ontwikkelen, is aangenomen dat de inzet hiervan in de eerste periode tot 2030 beperkt is tot experimenten en relatief kleine projecten. Hierdoor wordt er kennis en ervaring met deze technologie opgedaan. De productie van groen gas komt daardoor na 2030 op gang en pas in 2050 wordt het volledige potentieel benut (zie figuur 2.3).

#### Zonnepanelen

Zonnepanelen nemen een bijzondere plaats in, omdat zij op drieërlei wijze worden ingezet. In de eerste plaats produceren ze schone elektriciteit voor het verbruik van de elektrische warmtepomp. Op deze wijze zorgen ze (indirect) voor een CO<sub>2</sub>-neutrale productie van de warmtevraag. In de tweede plaats worden ze ingezet om schone elektriciteit te produceren voor – en eventueel te salderen<sup>2</sup> met – het eigen verbruik. Ten slotte worden de zonnepanelen ingezet als klimaatcompensatie voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het aardgasverbruik voor de warmtevraag die resteert nadat de energiebesparing en alle andere decentrale energieopties zijn genomen. Het benodigde potentieel van zonnepanelen kan daardoor flink oplopen. In deze studie geven we aan hoe groot de bijdrage van zonnepanelen in de investeringspaden zou moeten zijn opdat de woningvoorraad in 2050

Tabel 2.3  
Mogelijke verbeteringsniveaus van de energieprestaties van woningen door isolatie

Verbetering	Twee labelsprongen naar label C, D of E	Label B	Label Eigenwarmte
Startniveau			
Huidig niveau E, F of G	X	X	X
Tussenlabel E, D, C		X	X
Huidig D of C		X	X
Label B			X

klimaatneutraal is. Het benodigde dakoppervlak voor de zonnepanelen kan worden gerelateerd aan het totale dakoppervlak van de woningvoorraad. Het totale dakoppervlak schatten we in op 350 tot 550 vierkante kilometer. Verderop zal blijken dat het benodigde dakoppervlak kleiner is dan onze schatting van het totale dakoppervlak; zie paragraaf 5.2. We zijn echter niet nagegaan in hoeverre er daadwerkelijk plaats is voor de benodigde zonnepanelen. Het dakoppervlak zal namelijk veelal niet geheel kunnen worden benut vanwege obstakels (liftkokers, schoorstenen, dakkapellen, dakgoten). Daarnaast zal de oriëntatie van de daken van invloed zijn op de energieopbrengst. In onze berekening gaan we uit van een oriëntatie van de zonnepanelen op het zuiden, maar daken met de schuine kant op het noorden zullen een veel lagere opbrengst hebben (hoewel dit ook wel weer kan worden voorkomen met systeemaanpassingen). We hebben geen zonnepanelen ingezet op de daken van utiliteitsgebouwen, omdat deze daken nodig zijn om de utiliteit zelf klimaatneutraal te maken. In hoeverre de elektriciteit uit zonnepanelen inpasbaar is in het elektriciteitsnet, is in deze studie buiten beschouwing gelaten.

## 2.2 Kosten, energie-efficiëntie en leercurves van maatregelen

Bij de investeringspaden onderscheiden we energiebesparing en decentrale energieopwekking. Bij energiebesparing gaat het om isolatie en om verbeteringen aan installaties. De investeringspaden zijn opgebouwd uit energiebesparing met een verschillend niveau voor verbetering van de energieprestatie van de woning.

### Energiebesparing: isolatie

In de investeringspaden worden de volgende niveaus voor verbeteringen door isolatie van muur, dak, vloer en glas gehanteerd:

- Tussenlabel C, D of E: een verbetering met twee labelstappen, van label E, F of G naar respectievelijk C,

D of E. De efficiëntie verbetert met een factor tussen de 1,3 en 2,4.

- Label B: een verbetering tot label B. De woning wordt hierbij op een isolatiekwaliteit met Rc-waarde 2,5 gebracht.
- Label Eigenwarmte: een verbetering naar label Eigenwarmte. De woning wordt hierbij op een isolatiekwaliteit met Rc-waarde 5,0 gebracht. De efficiëntie verbetert hier met factor 1,7 ten opzichte van label B-niveau.

In tabel 2.3 zijn de verschillende verbeteringen weergegeven die kunnen worden doorlopen door isolatiemaatregelen te treffen aan gevel, dak, vloer en glas. In dit rapport bespreken we de kosten die zijn verbonden aan een verbetering ten opzichte van het huidige niveau met twee labels, een verbetering van huidig naar label B en van huidig naar label Eigenwarmte. De overige combinaties zijn weergegeven in Leguijt en Schepers (2011) en grotendeels ook af te leiden uit het verschil tussen deze niveaus. De verbeteringen in efficiëntie zijn afgeleid van de voorbeeldwoningen 2011 van Agentschap NL (2011). Detailgegevens hierover zijn te vinden in Folkert en Van den Wijngaart (2012) en Leguijt en Schepers (2013). De kosten zijn weergegeven voor een individuele aanpak (particulier) en voor een projectmatige aanpak (zie bijlage 2). De kosten voor een projectmatige aanpak liggen lager vanwege de schaalvoordelen. In deze studie is het gemiddelde van deze waarden genomen. De maatregelen voor een verbetering met twee labels betreffen relatief beperkte ingrepen, zoals spouwmuurisolatie en isolerend glas. Deze renovatiemaatregelen hoeven vanwege hun kosten en beperkte overlast niet per se aan te sluiten bij grootschalig onderhoud. Bij de ingrepen voor verbetering naar label B en label Eigenwarmte gaat het om innovatieve maatregelen in de woning, die we vanwege hun ingrijpende karakter doen plaatsvinden op een natuurlijk moment, zoals grootschalig onderhoud van de woning, waardoor de kosten kunnen worden beperkt. Deze kosten voor de woningverbeteringen kunnen veranderen door ontwikkelingen in materiaalprijzen, arbeidskosten en productiviteit. Zo kunnen door innovaties de kosten voor bepaalde materialen dalen.

Tabel 2.4

**Ontwikkeling kosten (percentage ten opzichte van 2010) voor woningverbetering met twee labelsprongen en een verbetering naar label B**

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	85	73	63	54
Max	100	101	104	109	115

Bron: Leguijt & Schepers (2013)

Tabel 2.5

**Ontwikkeling kosten (percentage ten opzichte van 2010) voor woningverbetering naar label Eigenwarmte**

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	72	58	49	43
Max	100	80	70	64	59

Bron: Leguijt & Schepers (2013)

De kosten kunnen echter ook toenemen, bijvoorbeeld door schaarste en stijgende lonen. De ontwikkeling van de kosten kan worden weergegeven in zogenoemde leercurves (tabel 2.4 en 2.5). De curves geven de ontwikkeling van de kosten weer in de tijd, uitgedrukt in een percentage van de kosten in het basisjaar. De ontwikkeling wordt hierbij weergegeven in een lage (min) en hoge (max) inschatting van de kostenontwikkeling (Leguijt & Schepers 2013). Voor de analyse is gebruikgemaakt van een gemiddelde waarde hiertussen. De minimum- en maximumwaarden zijn gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse.

De kostenontwikkeling voor woningverbetering naar label Eigenwarmte (tabel 2.5) daalt veel sterker dan die van de woningverbeteringen met twee labelsprongen en een verbetering naar label B (tabel 2.4). De verbetering naar label Eigenwarmte bestaat namelijk uit relatief nieuwe integrale concepten met innovatieve technieken voor isolatie waar het leren als het ware nog moet beginnen. De kostenontwikkeling volgt dan ook de generieke leercurve uit Leguijt en Schepers (2013), met startpunt op nul jaar.

**Energiebesparing: installaties**

Naast isolatiemaatregelen kunnen in woningen installaties worden geplaatst voor efficiënter en duurzamer verwarmen (zonneboiler of elektrische warmtepomp) en de opwekking van elektriciteit (zon-PV). In deze studie worden deze technieken onder andere toegepast om woningen CO<sub>2</sub>-neutraal te maken. De woningen worden geïsoleerd tot het niveau van label Eigenwarmte en de resterende warmtevraag wordt voorzien door een zonneboiler en een elektrische warmtepomp. Om de elektriciteitsvraag van deze warmtepomp te compenseren, worden er zonnepanelen

(6,3 vierkante meter) op het dak gelegd. Deze hoeveelheid is exclusief de ruimte voor zonnepanelen voor het elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparaten en – indien nodig – de compensatie van de CO<sub>2</sub>-emissie van het aardgasverbruik voor de resterende warmtevraag. In tabel 2.6 staan de kosten voor deze technieken. Bij de elektrische warmtepomp zijn ook de kosten voor de aanpassing van de woning meegenomen, omdat deze geschikt moet worden gemaakt voor laagtemperatuurverwarming; denk bijvoorbeeld aan de aanlegkosten voor een vloerverwarmingssysteem. In de berekeningen voor de investeringspaden is de gemiddelde waarde van de minimale en maximale schatting gebruikt. De kosten voor zon-PV zijn exclusief de kosten voor inpassing in het net; deze kosten zijn in deze studie niet meegenomen.

De zonneboiler, zon-PV en de elektrische warmtepomp worden naar verwachting door innovaties in het productieproces goedkoper (Leguijt & Schepers 2013). De ontwikkeling van de kostprijs is weergegeven in tabel 2.7, met een minimale en maximale inschatting. Voor de analyse is gebruikgemaakt van een gemiddelde waarde hiertussen. De minimum- en maximumwaarden zijn gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse.

Als de zonnestroom wordt gebruikt voor het elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparaten of wanneer hiermee wordt gesaldeer, is voor de opbrengsten van de zonnestroom uitgegaan van de uitgespaarde inkoopkosten van elektriciteit (0,30 euro per kilowattuur in 2020 en 0,32 euro per kilowattuur vanaf 2030). Indien de zonnestroom dient ter compensatie van de CO<sub>2</sub>-emissie van het aardgasverbruik van de (resterende) warmtevraag, dan wordt het teruglevertarief voor elektriciteit gehanteerd. Dit was in de eerste helft van 2013 voor de meeste energiebedrijven gemiddeld

Tabel 2.6

**Kosten en kenmerken zon-PV, zonneboiler en elektrische warmtepomp voor woningen (exclusief btw)**

	Oppervlak per dak (m <sup>2</sup> )	Opbrengst per jaar	Kosten aanschaf en installatie (euro*m <sup>-2</sup> )	Kosten woningaanpassing
Zon-PV	6,3	180 (kWh*m <sup>-2</sup> )	265-595 (euro*m <sup>-2</sup> )	Nvt
Zonneboiler	3	1,5 (GJ* m <sup>-2</sup> )	950-1.050 (euro*m <sup>-2</sup> )	Nvt
Elektrische warmtepomp	Nvt	Nvt	9.350-12.650	1.506-7.635 (euro per woning)

Bron: Leguijt & Schepers (2013)

Tabel 2.7

**Ontwikkeling kosten (percentage ten opzichte van 2010) voor zon-PV, zonneboiler en Ewp**

		2010	2020	2030	2040	2050
Zon-PV	Min	100	40	28	25	21
Zon-PV	Max	100	52	37	32	27
Zonneboiler	Min	100	85	75	67	62
Zonneboiler	Max	100	91	85	80	77
Elektrische warmtepomp	Min	100	72	58	49	43
Elektrische warmtepomp	Max	100	80	70	64	59

Bron: Leguijt & Schepers (2013)

ongeveer 0,07 euro per kilowattuur, hetgeen hoger is dan het wettelijk minimum (0,05 euro per kilowattuur). Voor de berekening van de nationale kosten wordt uitgegaan van 0,05 tot 0,07 euro per kilowattuur voor elektriciteit opgewekt door het centrale elektriciteitsproductiepark.

**Decentrale energieopwekking**

De investeringspaden worden aangevuld met decentrale energieopwekking, met als einddoel een klimaatneutrale woningvoorraad. Hiervoor worden verschillende decentrale energieopties ingezet. Het gaat hierbij om warmtenetten (restwarmte, geothermie en WKK) en groen gas (uit lokale reststromen).

Bij warmtenetten gaat het om de inzet van restwarmte, geothermie of WKK voor de warmtevoorziening in woningen. In deze volgorde van prioriteit is gekeken naar de inzetbaarheid van deze bronnen voor warmtenetten. De berekeningsmethode van de kosten van deze maatregelen is gelijk aan die uit een eerdere studie met het Vesta-model (Van den Wijngaart et al. 2012).

Groen gas kan worden ingezet als vervanging van aardgas in HR-ketels voor de warmtevoorziening van gebouwen, of worden ingezet in warmtekrachtinstallaties voor warmte en elektriciteit. Het gaat hierbij om groen gas uit lokale bronnen (biomassa, mest). Het potentieel van groen gas is beschreven in de vorige paragraaf. De kosten van groen gas variëren momenteel tussen de 25 en 63

euro per gigajoule (Leguijt & Schepers 2013). In deze studie is het gemiddelde van deze waarden genomen voor 2010. Door technologieontwikkelingen dalen de kosten naar 13 euro per gigajoule in 2050. Dit zijn de gemiddelde kosten van twee technologieën (vergassing en co-vergisting) om groen gas te maken, gebaseerd op de uitgangspunten in tabel 2.8. De specifieke CO<sub>2</sub>-reductiekosten van groen gas zijn dan 786 euro per ton vermeden CO<sub>2</sub> in 2010, en 226 euro per ton vermeden CO<sub>2</sub> in 2050.

Tabel 2.8

**Kosten van groen gas en investeringskosten, onderhoud en bediening, conversierendement en biomassaprijs voor vergassing en co-vergisting van reststromen van biomassa in 2050**

	Investering (euro/GJ/jaar)	Onderhoud en bediening (euro/GJ)	Conversie- rendement (GJbiomassa/ GJmethaan)	Biomassaprijs (euro/GJ)	Kosten (euro/GJ)
Vergassing	36,7	1,9	1,44	5	12
Co-vergisting	66,6	6,1	2,3	1	14

Bron: ECN/PBL E-design energiemodel

**Noten**

- 1 Hoewel er CO<sub>2</sub> vrijkomt bij de verbranding van biogas, is in IPCC-verband afgesproken dat biogas CO<sub>2</sub>-neutraal is omdat de CO<sub>2</sub> kortcyclisch is. Kortcyclisch betekent dat de vrijkomende CO<sub>2</sub> daarvoor door de planten en bomen is opgenomen uit de atmosfeer.
- 2 De elektriciteit die wordt opgewekt met zonnepanelen op het eigen dak van de woning kan rechtstreeks in de woning worden gebruikt. Bij grootschalige toepassing van zonnepanelen is het elektriciteitsverbruik in de woning echter veelal niet gelijktijdig met de opwekking door de zonnepanelen. En andersom kan de opwekking plaatsvinden als de woning geen elektriciteit verbruikt. Op deze momenten kan de elektriciteitsproductie worden gesaldeerd met het verbruik.

# Resultaten energiebesparing in 2050

In dit hoofdstuk presenteren we voor de vier investeringspaden (Beperkt, Breed, Diep, Gefaseerd diep) de resultaten van de energiebesparing. In paragraaf 3.1 bespreken we de CO<sub>2</sub>-reductie en kosten van energiebesparing. In paragraaf 3.2 gaan we in op de resultaten van de gevoeligheidsanalyse van onzekerheden in de ontwikkelingen van energieprijzen en investeringskosten.

## 3.1 CO<sub>2</sub>-reductie en kosten van energiebesparing

Voor de CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtevraag door energiebesparing wordt de elektriciteit voor de elektrische warmtepomp geproduceerd door zonnepanelen op het dak van de woning. De kosten van de zonnepanelen zijn hierbij meegenomen.

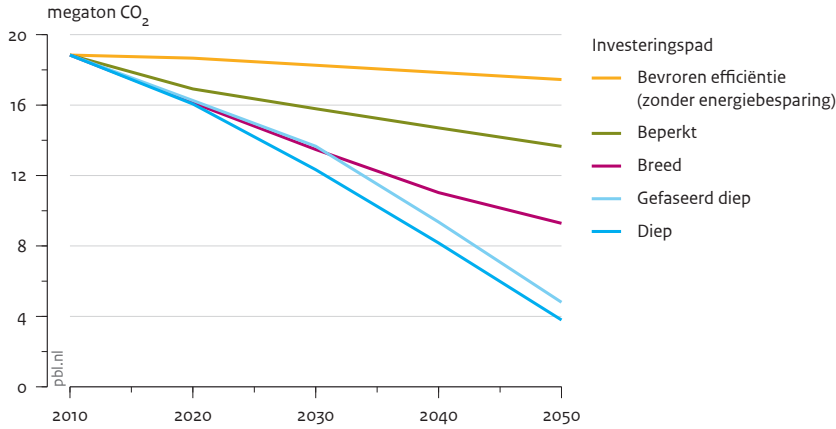
### CO<sub>2</sub>-reductie

Bij een bevroren efficiëntieontwikkeling (zonder energiebesparing) daalt de CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtevraag in 2050 met ongeveer 7 procent ten opzichte van 2010 door de hoger wordende temperatuur in Nederland. In de investeringspaden daalt door de energiebesparing de CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtevraag in 2050 met 28 tot 80 procent ten opzichte van 2010 (figuur 3.1). In investeringspad Beperkt is de daling het eerste decennium het grootst, omdat is verondersteld dat alle cv-ketels in 2020 zijn vervangen door de efficiëntere HR107-ketel.

De daling in het pad Breed neemt na 2040 licht af, omdat vrijwel alle woningen dan al zijn gerenoveerd. Wel wordt een aantal woningen voor een tweede maal gerenoveerd, maar de energieverbetering is dan relatief kleiner. De daling in investeringspad Diep wordt in de loop van de tijd steeds groter, omdat bij een gelijkblijvend aantal renovaties het aandeel Eigenwarmte-renovaties toeneemt (ten koste van de renovaties naar label B). De daling van de CO<sub>2</sub>-emissie in het pad Gefaseerd diep blijft tot 2030 iets achter bij die in Breed, omdat het aantal renovaties kleiner is. Na 2030 is er een versnelling omdat dan bij de Eigenwarmte-renovaties ook de elektrische warmtepomp wordt geïnstalleerd. Bovendien neemt net als bij Diep het aandeel Eigenwarmte-renovaties toe.

De jaarlijkse investeringen zijn in investeringspad Beperkt ongeveer 700 miljoen euro per jaar. Voor de vervanging van de cv-ketel door de efficiëntere HR107-ketel zijn geen investeringen gerekend, omdat wordt uitgegaan van de vervanging op een natuurlijk moment en de HR107-ketel tegenwoordig de standaardketel is. In het pad Breed dalen de investeringen tussen 2020 en 2030 vanwege het leereffect van de technologische ontwikkeling. Na 2030 worden geen woningen meer met twee labelsprongen gerenoveerd. In plaats hiervan gaan alle renovaties naar label B en een beperkt aantal naar label Eigenwarmte. De investeringen stijgen daardoor tussen 2030 en 2040. Na 2040 dalen de investeringen vanwege het leereffect van de technologie ontwikkeling. Het aanvagniveau van de investeringen is in 2020 het hoogst in investeringspad Diep vanwege de relatief hoge

Figuur 3.1  
CO<sub>2</sub>-emissie door warmtevraag

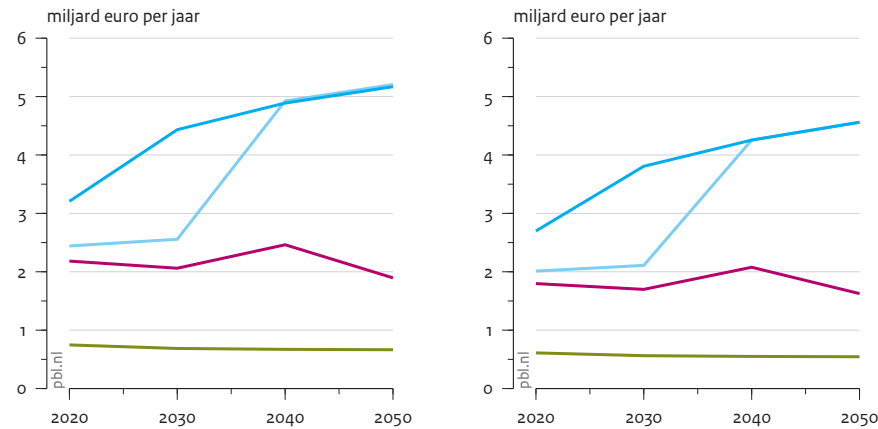


Bron: PBL Vesta-model 2013

Figuur 3.2  
Investerings voor energiebesparing in woningen

Eindgebruikers

Nationaal



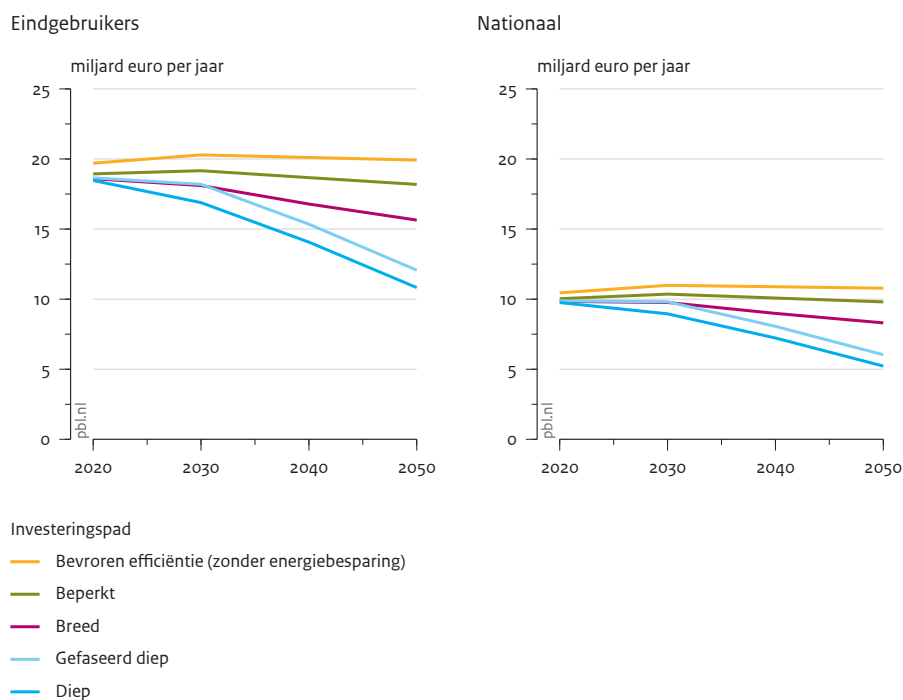
Investeringsspad  
 — Beperkt  
 — Breed  
 — Gefaseerd diep  
 — Diep

Bron: PBL Vesta-model 2013

investerings van de Eigenwarmte-woningen. In de periode 2020-2030 stijgen de investeringen sterk vanwege de toename van het aandeel renovaties naar label Eigenwarmte. In de periode 2030-2050 nemen deze investeringen verder toe, maar wordt de stijging afgevlakt door het leereffect van de technologische ontwikkeling (zie figuur 3.2).

In figuur 3.2 is bij investeringsspad Gefaseerd diep goed te zien dat de investeringen in de periode 2020-2030 lager liggen dan in pad Diep vanwege het achterwege laten van de elektrische warmtepomp en de zonnepanelen. In de periode 2030-2040 neemt de inzet van warmtepompen en zonnepanelen toe, tot de investeringen gelijk zijn aan die in het pad Diep.

Figuur 3.3  
Inkoopkosten van energie voor woningen



Bron: PBL Vesta-model 2013

### Besparing op de uitgaven

Door de energiebesparingen hoeft er minder aardgas en elektriciteit te worden ingekocht, waardoor er aanzienlijk wordt bespaard op de inkoopkosten. Bij een bevroren efficiëntieontwikkeling nemen de inkoopuitgaven in de periode 2020-2030 licht toe onder invloed van de stijging van de energieprijzen. Tussen 2030 en 2050 dalen de uitgaven licht; de energieprijzen blijven in deze periode weliswaar gelijk, maar door de stijging van de buitentemperatuur neemt de warmtevraag iets af.

De uitgaven voor de inkoop van aardgas, warmte en elektriciteit volgen hetzelfde patroon als hiervoor beschreven bij de CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtevraag (figuur 3.3). Dit is logisch, omdat de uitgaven worden bepaald door het energiegebruik (dat op zijn beurt weer bepalend is voor de CO<sub>2</sub>-emissie). Er zijn echter twee verschillen. In de eerste plaats zijn de dalingen van de uitgaven in de grafieken van figuur 3.3 minder extreem (vooral in 2050) dan de dalingen in de CO<sub>2</sub>-emissie (figuur 3.1). Dit komt omdat het bij de CO<sub>2</sub>-emissie alleen over de warmtevraag gaat, en bij de uitgaven ook over het elektriciteitsverbruik. Het elektriciteitsverbruik van apparaten en verlichting is in de periode 2010-2050 constant verondersteld. In de tweede plaats stijgen de uitgaven in de periode 2020-2030 of nemen ze minder af dan de CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtevraag vanwege de stijging van de energieprijzen.

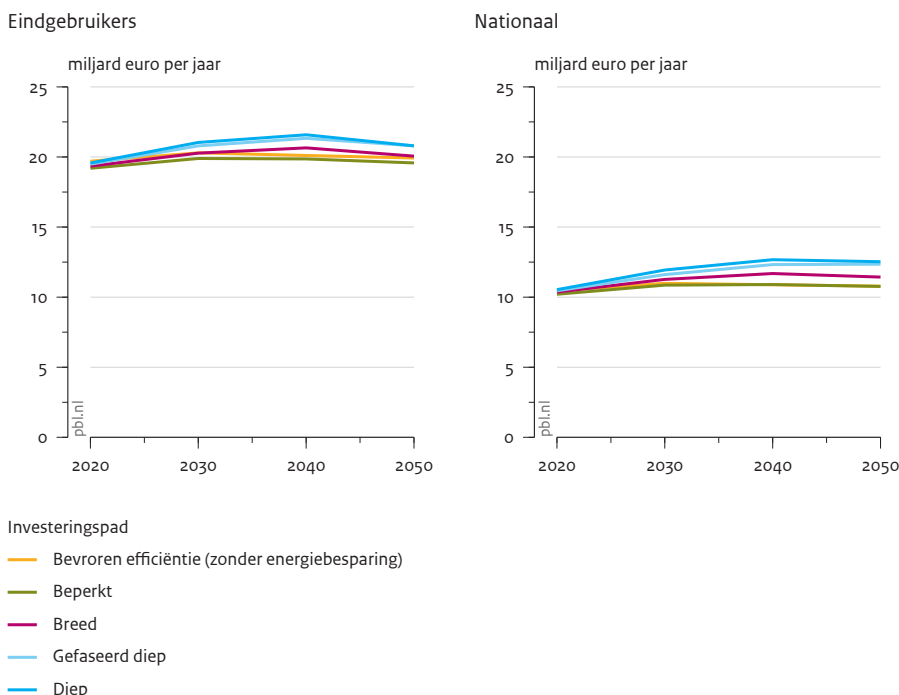
De uitgaven van de inkoop van aardgas zijn inclusief het jaarlijkse vastrecht en de afschrijving van de kosten van de aansluiting van de woning op het aardgasleidingennet. Bij Eigenwarmte-renovatie is er naast het verminderde energiegebruik nog een kostenvoordeel in de uitgaven omdat het vastrecht en de aansluitkosten voor het aardgasnet vervallen. De warmte wordt immers via de elektrische warmtepomp geleverd. Tevens wordt aangenomen dat er voor de resterende warmtevraag voor warm water en koken niet langer aardgas wordt gebruikt, maar dat de zonneboiler en elektrisch koken in die vraag voorzien.

### Totale uitgaven

De totale uitgaven worden bepaald door de afschrijvingskosten van de investeringen en de uitgaven aan de inkoop van energie. Bij een bevroren efficiëntieontwikkeling zijn de jaarlijkse totale uitgaven van de eindgebruikers in de periode 2020-2050 ongeveer 20 miljard euro. De totale uitgaven in de investeringspaden Beperkt en Breed zijn ten opzichte daarvan vergelijkbaar en iets lager respectievelijk hoger. De totale uitgaven in de investeringspaden Diep en Gefaseerd diep zijn in 2020 iets hoger dan bij een bevroren efficiëntieontwikkeling. Het verschil neemt echter toe tot 5 procent (circa 1 miljard euro) in 2050 (figuur 3.4). Bij de nationale kostenbenadering neemt het verschil relatief en absoluut meer



Figuur 3.4  
**Totale uitgaven aan energie voor woningen**



Bron: PBL Vesta-model 2013

toe. Tot en met 2050 wordt zeker in investeringspad Beperkt wel CO<sub>2</sub> gereduceerd, maar per saldo zonder extra kosten. Opgemerkt zij dat hierbij niet met een CO<sub>2</sub>-prijs is gerekend en dat aan verbetering van de luchtkwaliteit geen waarde is toegekend.

**Kosten in 2050**

De kosten van de investeringspaden zijn in 2050 bepaald als meerkosten ten opzichte van de situatie bij een bevroren efficiëntieontwikkeling; de kosten worden bepaald door het verschil in de totale uitgaven (die hiervoor zijn beschreven). De kosten zijn opgebouwd uit het saldo van de afschrijvingen van investeringen in voorgaande jaren en de uitgespaarde inkoopkosten van energie.

In investeringspad Beperkt zijn de eindgebruikerskosten in de gehele periode 2020-2050 lager dan bij een bevroren efficiëntieontwikkeling. De nationale kosten zijn in het begin lager en worden dan vrijwel nul. In het pad Breed leveren de energiebesparingen in 2020 een kostenvoordeel op voor de eindgebruikers. In 2040 slaat het kostenvoordeel om in een kostennadeel door de relatief dure Eigenwarmte-renovaties. Na 2040 dalen de kosten echter weer vanwege nieuwe renovaties die goedkoper zijn geworden door het leereffect van de technologieontwikkeling.

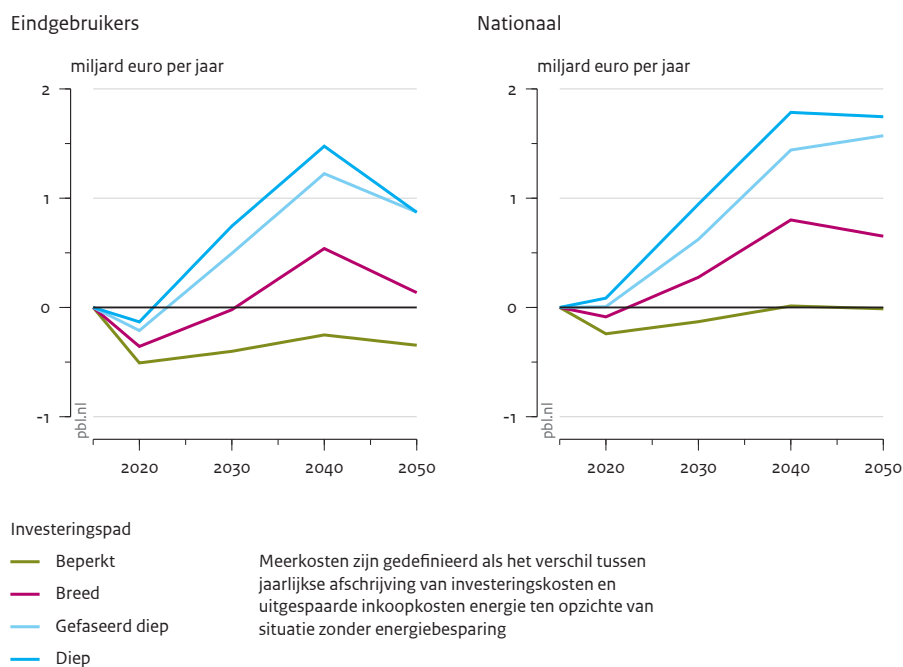
In investeringspad Diep stijgen de kosten tot 2040 vanwege de toename van de Eigenwarmte-renovaties. Na 2040 nemen de kosten af door het leereffect. In het pad Gefaseerd diep zijn de kosten lager dan in Diep, omdat er tot 2030 geen elektrische warmtepompen en zonnepanelen worden geïnstalleerd (figuur 3.5).

**Kosten in constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050**

De jaarlijkse kosten van een investeringspad lopen van jaar tot jaar veelal sterk uiteen. Om toekomstige kosten met het heden te kunnen vergelijken, zijn de toekomstige kosten verdisconteerd naar de huidige waarde (netto contante waarde) en vervolgens op basis van annuïteiten omgerekend naar een constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050 (tabel 3.1).

Een laag tempo met eenvoudige energiebesparingen (investeringspad Beperkt) levert in de periode tot 2050 een eindgebruikerskostenvoordeel op van 381 miljoen euro per jaar, terwijl de CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtevraag met 28 procent afneemt. Bij een hoog tempo van eenvoudige energiebesparingen met na 2030 een beperkt aantal vergaande energiebesparingen (investeringspad Breed) halveert de CO<sub>2</sub>-emissie, maar heeft geringe eindgebruikerskosten van 28 miljoen euro per jaar. Als alle woningen ingrijpend worden gerenoveerd naar label B of Eigenwarmte-niveau (investeringspad Diep), lopen

Figuur 3.5  
Meerkosten door energiebesparing in woningen



Bron: PBL Vesta-model 2013

Tabel 3.1  
CO<sub>2</sub>-reductie van de investeringsspaden en kosten (constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050)

Investeringsspad		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductie in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Eindgebruikerskosten	<i>mIn euro/jaar</i>	-381	-28	517	364
Eindgebruikerskosten per woning	<i>euro/jaar</i>	-54	-4	73	51
Eindgebruikerskosten per vermeden ton CO <sub>2</sub>	<i>euro/ton CO<sub>2</sub></i>	-72	-3	37	24

Investeringsspad		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductiepotentieel in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Nationale kosten	<i>mIn euro/jaar</i>	-117	285	855	640
Nationale kosten per woning	<i>euro/jaar</i>	-16	40	120	90
Nationale kosten per vermeden ton CO <sub>2</sub>	<i>euro/ton CO<sub>2</sub></i>	-22	30	61	42

Bron: PBL Vesta-model (2013)

Tabel 3.2

**Gevoeligheidsanalyse van gemiddelde kosten per woning van energiebesparing (constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050) per investeringspad**

Investeringspad Eindgebruikerskosten		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductie in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Basisberekening	euro/jaar	-54	-4	73	51
Dalende prijzen	euro/jaar	-14	73	180	141
Gelijkblijvende prijzen	euro/jaar	-27	48	146	112
Stijgende prijzen tot 2050	euro/jaar	-61	-21	45	27
Optimistische investeringskosten	euro/jaar	-74	-69	-77	-38
Pessimistische investeringskosten	euro/jaar	-31	69	244	153
Rebound	euro/jaar	-27	43	120	100
Hoge rente (8% woningen)	euro/jaar	8	109	229	190

Investeringspad Nationale kosten		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd Diep
CO <sub>2</sub> -reductie in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Basisberekening	euro/jaar	-16	40	120	90
Dalende prijzen	euro/jaar	8	89	190	148
Gelijkblijvende prijzen	euro/jaar	-3	67	159	122
Stijgende prijzen tot 2050	euro/jaar	-22	29	102	74
Optimistische investeringskosten	euro/jaar	-32	-10	-1	17
Pessimistische investeringskosten	euro/jaar	1	97	259	174
Rebound	euro/jaar	-1	67	144	118

Bron: PBL Vesta-model (2013)

de eindgebruikerskosten op tot 517 miljoen euro per jaar. De CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtevraag wordt dan met 80 procent verminderd. Bij een gefaseerde aanpak van de diepe energiebesparingen (investeringspad Gefaseerd diep) zijn de eindgebruikerskosten 364 miljoen euro jaarlijks, en is de CO<sub>2</sub>-reductie 75 procent.

Gemiddeld over alle woningen variëren de kosten van -54 euro per jaar in investeringspad Beperkt tot 73 euro per jaar in Diep. De specifieke reductiekosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> variëren van -72 euro per ton (Beperkt) tot 37 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub> (Diep).

De nationale kosten zijn in alle investeringspaden hoger dan de eindgebruikerskosten. Weliswaar zijn de jaarlijkse afschrijvingskosten lager door de lagere rentevoet die wordt gehanteerd bij de nationale kostenbenadering, maar zijn ook de uitgespaarde kosten van de inkoop van energie lager omdat de energiebelasting en btw niet meetellen bij de nationale kostenbenadering. Per saldo zijn de nationale kosten dan hoger dan de eindgebruikerskosten.

De nationale kosten zijn alleen negatief in investeringspad Beperkt. De besparingen op de energie-uitgaven wegen dus alleen in dat investeringspad op tegen de afschrijving van de investeringskosten.

### 3.2 Gevoeligheidsanalyse

De in de vorige paragraaf gepresenteerde resultaten zijn berekend met middenwaarden voor investeringskosten en prognoses van energieprijzontwikkelingen. In deze paragraaf voeren we een gevoeligheidsanalyse uit voor de onzekerheden in de ontwikkelingen van (onder andere) de investeringskosten en energieprijzen. Hiertoe zijn varianten van de basisberekening doorgerekend met dalende, gelijkblijvende en nog verder stijgende energieprijzen (zie paragraaf 1.2), met optimistische en pessimistische veronderstellingen over de kosten voor investeringen (zie paragraaf 2.2) en voor de situatie dat er een reboundeffect optreedt bij besparingsmaatregelen (zie paragraaf 1.2). De kosten zijn doorgerekend voor het

perspectief van zowel de eindgebruikers als de samenleving als geheel. Voor de eindgebruikers is tevens het effect nagegaan als er een hogere dan gemiddelde rentevoet wordt gehanteerd (zie paragraaf 1.2).

In tabel 3.2 zijn de kosten van de basisberekening en de varianten weergegeven. Bedacht moet worden dat de kosten van de investeringspaden steeds zijn gepresenteerd ten opzichte van een pad zonder investering in energiebesparing, de zogenoemde bevroren efficiëntieontwikkeling. Vergeleken met de basisberekening zijn de eindgebruikerskosten van de investeringspaden in de meeste varianten hoger. Dit geldt voor de varianten met dalende en gelijkblijvende energieprijzen, pessimistische investeringskosten, rebound en hoge rente. Bij twee varianten zijn de eindgebruikerskosten lager: in de varianten met stijgende energieprijzen tot 2050 en optimistische investeringskosten. Hetzelfde effect is zichtbaar bij de nationale kosten.

Uit het perspectief van de eindgebruikers is de eerste conclusie dat investeringspad Beperkt niet alleen in de basisberekening een financieel voordeel heeft, maar ook in alle beschouwde varianten. De tweede conclusie is dat het financiële voordeel van het pad Breed in twee varianten (stijgende energieprijzen tot 2050 en optimistische investeringskosten) groter is dan in de basisberekening, maar in de andere varianten een financieel nadeel heeft voor de eindgebruikers. De laatste en meest opvallende conclusie vanuit eindgebruikersperspectief is dat investeringspad Diep een financieel voordeel heeft in de variant met optimistische investeringskosten. Het financiële voordeel van dat pad is zelfs groter dan of vergelijkbaar met de andere investeringspaden, dus inclusief de gefaseerde aanpak van ingrijpende renovaties.

Voor de samenleving als geheel is wellicht de opvallendste conclusie dat de nationale kosten in het pad Diep negatief zijn in de variant met optimistische investeringskosten.

# Betaalbaarheid van energie

In dit hoofdstuk gaan we na hoe de energiekosten zich in de toekomst ontwikkelen en in hoeverre energie ook in de toekomst voor huishoudens betaalbaar zal zijn. In paragraaf 4.1 gaan we daartoe eerst in op het begrip 'betaalbaarheid' en bespreken we de samenhang met kenmerken van woningen en huishoudens. In paragraaf 4.2 gaan we na welke effecten energiebesparingen hebben op de betaalbaarheid in de toekomst.

## 4.1 Variatie in energiegebruik, uitgaven en betaalbaarheid

Volgens het WoON 2012-onderzoek gebruikten particuliere huishoudens in 2012 in zelfstandige woningen gemiddeld 1.645 kubieke meter gas en bijna 3.300 kilowattuur elektriciteit.<sup>1</sup> Dat kostte hen zo'n 1.840 euro en besloeg gemiddeld 6,4 procent van het besteedbare inkomen. Dit laatste percentage noemen we hier de (residentiële) *energiequote*. Deze quote wordt vaak gebruikt als indicator voor de betaalbaarheid van energie. Een gemiddelde energiequote van 6,4 procent zegt echter nog niet alles, omdat er in Nederland geen norm of concrete doelstelling is als het gaat om welke energiequote nog wel, en welke niet meer betaalbaar is. Bovendien varieert zowel het energiegebruik als de energiequote sterk per huishouden. De variatie in het energiegebruik wordt veroorzaakt door kenmerken van woningen én de kenmerken en het gedrag van de huishoudens die er in wonen. De variatie in de energiequote wordt vooral bepaald door het inkomen. We gaan in deze paragraaf verder in op de samenhang tussen woning- en huishoudenskenmerken, het energiegebruik

en de energiequote en op welke groepen het meest kwetsbaar zijn als het gaat om energie.

### Variatie en woningkenmerken

In grotere woningen wordt meer gas en elektriciteit gebruikt. Dit komt niet alleen doordat de woningen groter zijn (vooral gas voor ruimteverwarming) of meer buitenzijden hebben, maar ook omdat de huishoudens die er wonen vaak groter zijn of meer verdienen. Hierdoor is zowel het gasverbruik voor ruimteverwarming, koken en douchen als het elektriciteitsverbruik voor apparaten en verlichting hoger. Tabel 4.1 toont dat huishoudens in twee-onder-een-kapwoningen gemiddeld 2.225 euro per jaar uitgeven aan gas en elektriciteit. De energierekening van huishoudens in kleinere galerijflats en portiekwoningen bedraagt maar iets meer dan de helft daarvan. Toch is de betaalbaarheid van energie voor deze laatste huishoudens niet gunstiger, want gemiddeld geven beide groepen huishoudens iets meer dan 6 procent van hun besteedbare inkomen aan energie uit. Als alleen wordt gekeken naar woningtype (en het daarmee sterk gerelateerde woonoppervlak) en de variatie in de energiequote als maat voor de betaalbaarheid van energie, zou de conclusie kunnen luiden dat huishoudens gemiddeld genomen wonen in de woning die bij hun (energie)budget past.

Naast de variatie in woningtype en woonoppervlak speelt ook de energetische kwaliteit van de woning een rol. Omdat dit woningkenmerk niet beschikbaar is in de woningmarktmodule van WoON 2012, gebruiken we de bouwjaarperiode als indicator. Oudere woningen presteren in de regel energetisch minder goed dan recentere woningen, waardoor vooral het gasverbruik

Tabel 4.1

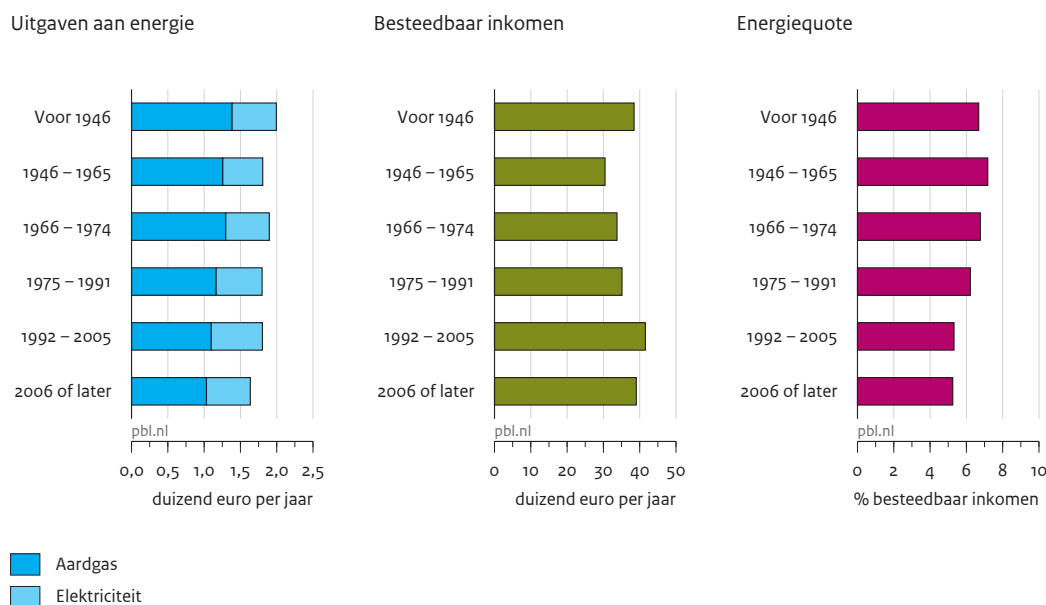
**Gemiddeld gas- en elektriciteitsverbruik, energiekosten, besteedbaar inkomen, energiequote en woonoppervlak, naar woningtype, 2012**

	Vrijstaand	2-onder-1-kap	Rijwoning	Maisonnette	Galerijflat	Portiekwoning	Overige appartementen	Totaal
Gasverbruik (m <sup>3</sup> )	2.619	1.990	1.627	1.206	1.061	1.118	1.261	1.647
Elektriciteitsverbruik (kWh)	4.599	4.032	3.411	2.570	2.257	2.240	2.351	3.285
Uitgaven aan energie (euro), incl. heffingskorting	2.750	2.225	1.856	1.401	1.239	1.271	1.387	1.840
Besteedbaar inkomen (x 1000 euro)	50,4	44,5	36,2	30,7	24,8	26,1	26,6	36,0
Energiequote (%)	7,2	6,2	6,3	5,7	6,1	6,1	6,6	6,4
Aantal personen in huishouden	2,68	2,72	2,47	1,91	1,51	1,62	1,64	2,25
Woonoppervlakte (m <sup>2</sup> )	177	147	116	88	77	75	79	116

Bron: WoON 2012, bewerking PBL

Figuur 4.1

**Betaalbaarheid van energie in rijwoningen, gemiddeld naar bouwjaarperiode, 2012**

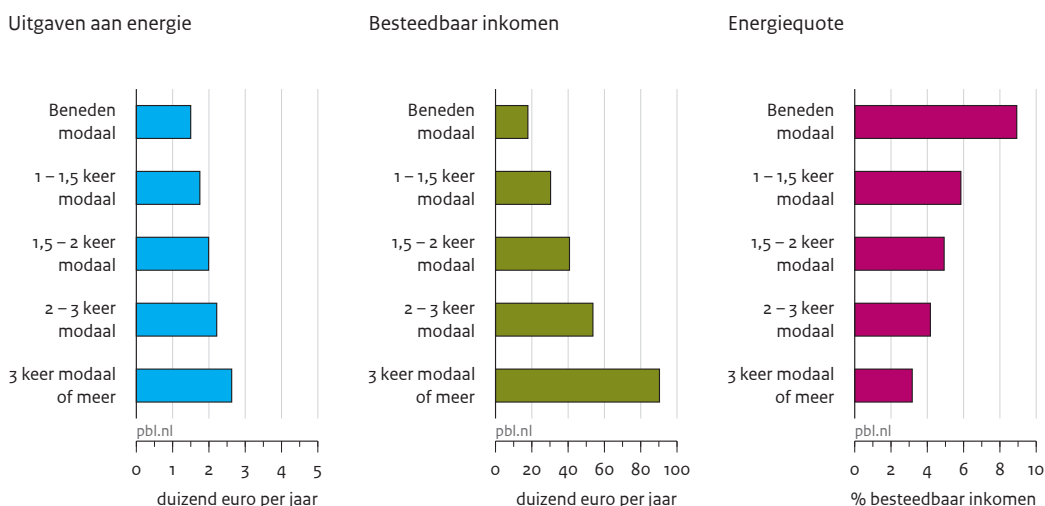


Bron: WoON 2012; bewerking PBL

hoger is. Sinds de twee oliecrises in de jaren zeventig zijn woningen steeds energiezuiniger gebouwd, mede onder invloed van het overheidsbeleid. De in de afgelopen twee decennia gebouwde woningen gebruiken wel iets meer elektriciteit. Toch zijn de energielasten van de recent gebouwde woningen gemiddeld lager dan in oudere woningen, hoewel de woningen vanaf 1992 gemiddeld groter zijn. Figuur 4.1 laat dit zien voor rijwoningen, het meest voorkomende woningtype in Nederland. Als

indicator van de betaalbaarheid komen de energiequotes van nieuwbouwwoningen nog gunstiger uit dan op basis van het energiegebruik kan worden verwacht. Dit komt doordat huishoudens met hogere inkomens vaker in de energetisch betere (nieuwbouw)woningen wonen (zie ook Ministerie van BZK 2013).

Figuur 4.2  
**Betaalbaarheid van energie in woningen, gemiddeld naar inkomensklasse, 2012**



Bron: WoON 2012; bewerking PBL

### Variatie en huishoudenskenmerken

In figuur 4.2 zijn de energie-uitgaven in relatie tot het besteedbare inkomen uitgesplitst naar inkomensgroepen. Deze figuur laat duidelijk zien dat de laagste inkomensgroep in absolute zin het minste uitgeeft aan energie, maar ook dat energie het grootste beslag legt op het besteedbare inkomen: de energiequote bedraagt gemiddeld bijna 9 procent. Bij de groep met de hoogste inkomens is dit net andersom: die geeft in absolute zin het meeste uit aan energie, maar de energiequote is, met 3 procent, het laagst. Dit omgekeerde verband is ook zichtbaar als huishoudens worden gegroepeerd naar andere kenmerken. Zo geven zelfstandig wonende 75-plussers gemiddeld zo'n 200 euro minder uit aan energie dan het landelijk gemiddelde, maar is hun energiequote bovengemiddeld (7,8 procent). Evenzo gebruiken alleenstaanden minder gas en elektriciteit dan grotere huishoudens, maar geven zij toch een groter deel van hun besteedbare inkomen uit aan energie (7,7 procent). Dit geldt, ten slotte, ook voor huurders bij corporaties in vergelijking met eigenaren-bewoners (7,4 respectievelijk 5,7 procent).

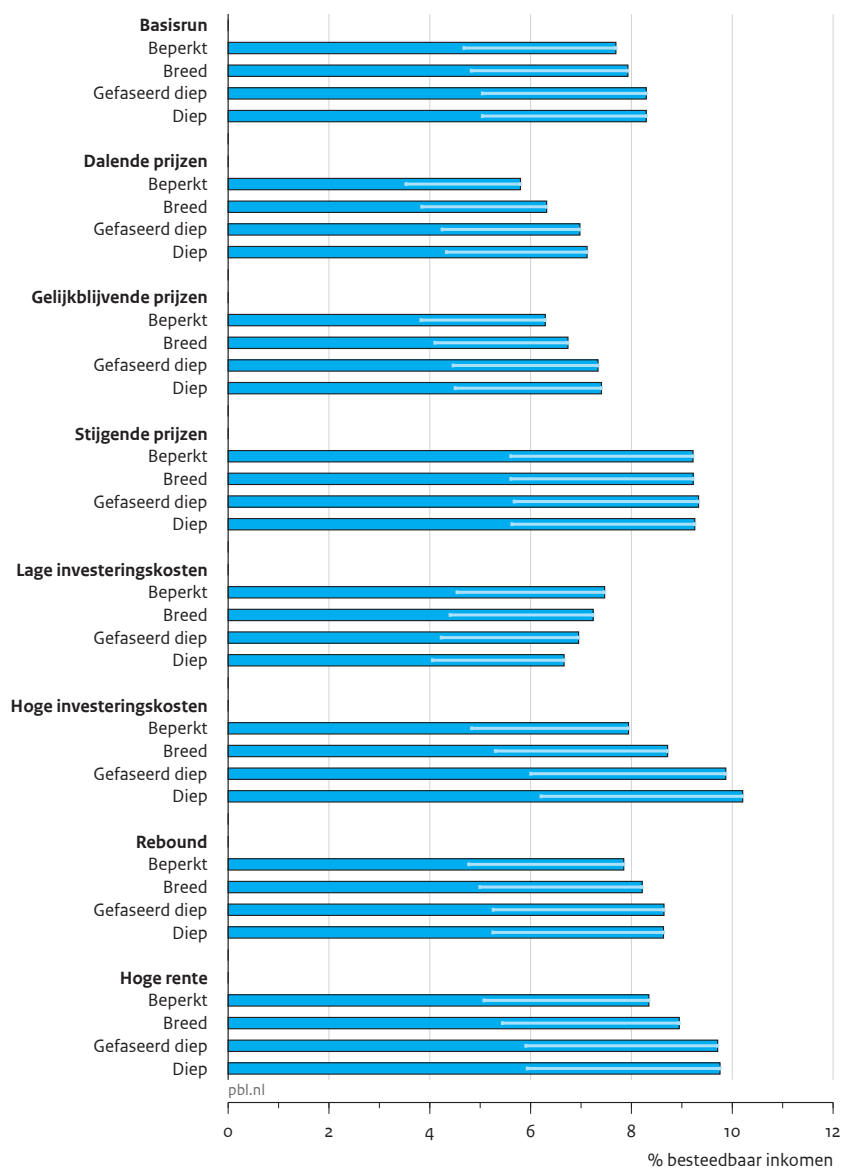
### Samenvattend beeld

De relatie tussen woning- en huishoudenskenmerken, energiekosten en energiequote laat zien dat het niet per se de huishoudens met de hoogste energierekening zijn die de hoogste energiequote hebben. Het zijn juist de huishoudens met een laag inkomen die, ondanks het gemiddeld lagere energiegebruik, de hoogste energiequotes hebben. Met het oog op de investeringspaden betekent dit enerzijds dat de meeste CO<sub>2</sub>-reductie per

woning te behalen valt in de woningen van huishoudens met hogere inkomens. De hogere inkomensgroep verbruikt immers meer energie, waardoor er ook meer energie valt te besparen. Daarnaast is het aannemelijker dat de investeringen financieel kunnen worden gedragen. De hogere inkomensgroep woont relatief vaak in de wat modernere woningen, waarvan de energetische kwaliteit al beter is en ingrijpendere maatregelen nodig zijn voor verdergaande energiebesparing.

Anderzijds vragen de woningen van de lagere inkomensgroepen vooral aandacht vanuit betaalbaarheid. Deze huishoudens wonen vaker in de oudere, energetisch slechtere delen van de woningvoorraad (zie Ministerie van BZK 2013 en bijvoorbeeld de bouwjaarclassen 1946-1965 in figuur 4.1). Toch is het energiegebruik van deze huishoudens gemiddeld lager dan dat van andere inkomensgroepen, mede doordat de woningen én de huishoudens gemiddeld kleiner zijn. Bovendien blijken huishoudens in energetisch slechte woningen vaker met energiezuinig gedrag hun energierekening binnen de perken te houden (zie ook bijlage 1), al is niet uitgezocht of er daarbij nog verschillen zijn tussen lage en hogere inkomensgroepen. Per saldo zijn het besparingspotentieel en investeringsrendement hierdoor in elk geval kleiner, maar biedt de ouderdom van de woningen wel meer kansen voor (het meenemen van) energetische verbeteringen bij onderhoud en renovatie. Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op gemiddelden voor grote groepen. Uiteindelijk geldt voor investeringsbeslissingen dat deze alleen kunnen worden genomen op basis van de specifieke omstandigheden van zowel de woning als het huishouden dat daarin woont.

Figuur 4.3  
 Gevoeligheidsanalyse van energiequotes van huishoudens per investeringspad, 2050



■ Energiequote bij reëel gelijkblijvend besteedbaar inkomen  
 ■ Afname van energiequote door reëel stijgend besteedbaar inkomen (1% per jaar)

Bron: PBL Vesta-model 2013

Bij de berekening van de energiequotes is uitgegaan van een 'statische' toestand van de bevolking: hoofdkostwinnaars in huishoudens veranderen niet van baan, krijgen geen promotie, worden niet werkloos of arbeidsongeschikt, gaan niet trouwen of scheiden en worden zelfs niet ouder. De grafiek geeft dus geen getrouw beeld van mogelijke energiequotes in 2050, maar geeft een indicatie van het effect van de verschillende investeringspaden en onzekerheden op de betaalbaarheid van energie.



## 4.2 Betaalbaarheid van energie in de toekomst

Eén van de zorgen voor de toekomst is dat energieprijzen verder blijven stijgen, waardoor de betaalbaarheid van energie in het gedrang kan komen. In de doorrekening van de investeringspaden is tot 2030, in navolging van de Referentieraming 2012 (Verdonk & Wetzels 2012), een reële energieprijsstijging gehanteerd. Dit zullen vooral de laagste inkomensgroepen het hardst voelen, omdat zij nu al een aanzienlijk deel van hun inkomen aan energie besteden.<sup>2</sup> De betaalbaarheid van energie hangt echter niet alleen af van de energieprijsstijging, maar ook van de ontwikkeling van het besteedbare inkomen. Indien de koopkrachtstijging namelijk groter is dan de energieprijsstijging, wordt energie relatief goedkoper. Daarbovenop is het de vraag hoe de investeringspaden kunnen bijdragen aan het betaalbaar houden van energie. In aanvulling op de al eerder verkende onzekerheden (paragraaf 3.2), bekijken we met het oog op de betaalbaarheid van energie daarom ook twee inkomensscenario's. In het eerste scenario is de inkomensontwikkeling inflatievolgend. Dit wil zeggen dat het reële besteedbare inkomen constant is en de koopkracht van huishoudens door de jaren heen gelijk blijft. In het tweede scenario gaan we uit van een reële stijging van het besteedbare inkomen van 1 procent per jaar tot 2050. Dit is een behoudend scenario ten opzichte van bijvoorbeeld de aannames in de Referentieraming 2012, die tot 2015 uitgaan van een licht dalende koopkracht, gevolgd door koopkrachtstijgingen van 1,5 tot 1,6 procent voor de jaren daarna (Verdonk & Wetzels 2012; Drissen, persoonlijke mededeling).

Als indicator voor de betaalbaarheid zijn de gemiddelde energiequotes voor huishoudens berekend, per investeringspad en onder verschillende aannames voor de energieprijzen, investeringskosten, reboundeffecten en financieringskosten (figuur 4.3). De energiequote representeert hierbij de kosten voor energiegebruik *inclusief* de kosten voor de investeringen volgens elk pad, in relatie tot het besteedbare inkomen in 2050.<sup>3</sup> Uit tabel 3.2 (zie paragraaf 3.2) met de eindgebruikerskosten van de investeringspaden is bekend dat de basisdoorrekening voor de paden Beperkt en Breed gunstiger uitpakt dan niets doen, terwijl investeringspad Diep duurder uitvalt. Toch zijn bij gelijkblijvende inkomens (rechterkant van het staafje in figuur 4.3) de energiequotes voor de investeringspaden Beperkt en Breed in 2050 hoger in vergelijking met nu (bijna 8 procent tegen ruim 6 procent). Dit komt doordat de energieprijzen in de basisdoorrekening conform de Referentieraming tot 2030 stijgen. In het scenario met licht stijgende inkomens (linkerkant van de lichtblauwe inkeping van het staafje in

figuur 4.3) daarentegen, neemt de betaalbaarheid van energie voor alle vier de investeringspaden toe ten opzichte van de huidige situatie. Dat geldt bovendien niet alleen voor de basisberekening, maar voor alle onzekerheidsdoorrekeningen die uitgaan van koopkrachtstijging, terwijl zonder die stijging de betaalbaarheid van energie in bijna alle gevallen zal verslechteren. Bedacht moet worden dat de kosten van energie inclusief de financiering van investeringen in de woning zijn. Zonder koopkrachtverbetering laten alleen de investeringspaden Beperkt en Breed bij gelijkblijvende of dalende energieprijzen een betere betaalbaarheid zien. Dit benadrukt dat de inkomensontwikkeling minstens zo belangrijk is voor de betaalbaarheid van energie als de ontwikkeling van de energieprijzen en investeringskosten (leercurven). Verder zijn de conclusies die op basis van figuur 4.3 kunnen worden getrokken vergelijkbaar met die uit tabel 3.2, met eindgebruikerskosten van de investeringspaden en enkele onzekerheden daarbij.

### Noten

- 1 Tenzij anders vermeld, zijn de cijfers in deze paragraaf gebaseerd op analyses van de woningmarktmodule van WoON 2012, een driejaarlijkse survey waaraan ongeveer 70.000 personen deelnemen (Ministerie van BZK 2013). Het gasverbruik in WoON 2012 is afkomstig uit registraties van energieleveranciers en gecorrigeerd voor temperatuurinvloeden. Voor huishoudens met stadsverwarming is een equivalent gasverbruik berekend. In de analyses zijn alleen particuliere huishoudens meegenomen die in een zelfstandige woning wonen en waarvan het inkomen minimaal gelijk is aan het bijstandsniveau voor een alleenstaande (vergelijk: Nibud 2009). Bovendien zijn huishoudens die in een boerderij of tuinderij wonen uitgesloten, evenals woningen met kantoor of winkel.
- 2 Er bestaat in Nederland geen algemeen aanvaarde of beleidsmatig vastgelegde norm voor de maximaal aanvaardbare energie- of woonquote. Het NIBUD heeft wel een methode ontwikkeld waarbij geredeneerd vanuit de overige uitgaven van huishoudens wordt bepaald of er voldoende budget overblijft om de energienota te voldoen (Weevers et al. 2013). Uit deze benadering volgt dat een energiequote voor lage inkomensgroepen in absolute zin eerder als 'te hoog' wordt bestempeld dan bij hoge inkomensgroepen, omdat de vaste lasten en andere uitgaven voor het basale levensonderhoud bij de lagere inkomensgroepen een groter beslag leggen op het huishoudensinkomen.
- 3 Dit is niet helemaal zuiver volgens de definitie van de energiequote, omdat de investeringskosten niet op de energienota staan. Maar in ESCO-achtige constructies is dat ook nu al mogelijk. En in de toekomst kan dit zelfs gebruikelijker worden als bijvoorbeeld de financiering van investeringen via de energierekening kan worden verrekend, zoals in het Energieakkoord is afgesproken.

# Decentrale energieopwekking

## 5.1 Warmtenetten en biogas

Bij toepassing van de energiebesparingen uit de investeringspaden, beschreven in hoofdstuk 3, vermindert de warmtevraag. De resterende warmtevraag van de woningvoorraad kan decentraal schoon worden geproduceerd via gebiedsmaatregelen. Warmtenetten zorgen voor het transport en de distributie van duurzame warmte uit diepe aardlagen (geothermie) en efficiënt geproduceerde warmte uit warmtekrachtkoppeling in de wijk (wijk-WKK) en restwarmte van elektriciteitscentrales en de industrie. In de wijk-WKK's kan ook biogas worden ingezet, en biogas kan ook worden opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit, waardoor het als groen gas kan worden ingezet in het aardgasnet zonder dat aanpassingen nodig zijn van leidingen en installaties als gasfornuizen. Het potentieel van rendabele<sup>1</sup> warmtenetten is bepaald op basis van de warmtevraag in het investeringspad, vooral in de jaren 2020 en 2030. Door de energiebesparing die in de loop van de jaren toeneemt, is de warmtevraag na 2020 en 2030 te veel afgenomen om nog nieuwe warmtenetten aan te leggen. Voor de warmtenetten die dan al zijn aangelegd, geldt dat ze in de loop der tijd minder warmte afzetten door de energiebesparing die plaatsvindt na de aanleg van de warmtenetten. Omdat warmtenetten over een lange periode worden afgeschreven, geldt voor een aantal netten dat er uiteindelijk geen baten maar kosten zijn verbonden aan de inzet. Het resultaat in investeringspad Beperkt is dat de warmtenetten de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag in

2050 met 17 procent verminderen, tegen specifieke CO<sub>2</sub>-reductiekosten van 42 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub> (zie tabel 5.1) De CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtenetten in het pad Breed is minder groot, omdat er al meer energie is bespaard en er daardoor minder CO<sub>2</sub> met de warmtenetten kan worden gereduceerd. De belangrijkste oorzaak is dat er nog veel energiebesparing plaatsvindt in de jaren nadat de warmtenetten zijn aangelegd. Daarnaast worden er minder warmtenetten aangelegd. Om deze redenen neemt de CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtenetten af, en nemen de specifieke kosten toe naarmate via de investeringspaden meer energie wordt bespaard. De CO<sub>2</sub>-reductie van warmtenetten is daardoor in investeringspad Diep nog maar 4 procent van de (oorspronkelijke) CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag, en de specifieke kosten zijn opgelopen tot 131 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub>. Concluderend zien we dat warmtenetten het goedkoopst zijn als er in het investeringspad weinig energiebesparingen zijn, en omgekeerd dat ze relatief duur zijn als er veel energiebesparingen zijn. Daarnaast is het zowel voor het CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van de warmtenetten als voor de rentabiliteit van de netten van belang om zo snel mogelijk te beginnen met de aanleg van de warmtenetten, omdat de opbrengsten in latere jaren afnemen door de energiebesparingen op de warmtevraag.

Voor groen gas geldt het omgekeerde, namelijk dat het beste zo lang mogelijk kan worden gewacht met de inzet ervan op grote schaal. Hoewel het potentieel onzeker is,

Tabel 5.1

**CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtevraag in 2050 en eindgebruikerskosten (uitgedrukt in een constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050)**

Investeringspad	Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
<b>CO<sub>2</sub>-reductie (%)</b>				
Maatregelen	55%	72%	94%	91%
- Besparing warmtevraag <sup>1</sup>	28%	51%	80%	75%
- Warmtenetten	17%	11%	4%	6%
- Groen gas	10%	10%	10%	10%
<b>Kosten (mln euro/jaar)</b>				
Maatregelen	-164	135	695	533
- Besparing warmtevraag	-381	-28	517	364
- Warmtenetten	136	82	97	88
- Groen gas	81	81	81	81
<b>CO<sub>2</sub>-reductiekosten (euro/ton)</b>				
Maatregelen	-16	10	39	31
- Besparing warmtevraag	-72	-3	34	26
- Warmtenetten	42	39	131	82
- Groen gas	43	43	43	43

<sup>1</sup>De warmtevraag van de Eigenwarmte-woning wordt gedekt door de elektrische warmtepomp. De benodigde elektriciteit wordt opgewekt door zonnepanelen. De kosten van deze zonnepanelen worden meegenomen bij de besparing van de warmtevraag van de Eigenwarmte-woning.

wordt aangenomen dat 5 tot 10 procent van de CO<sub>2</sub>-emissie in heel Nederland kan worden vermeden met groen gas uit binnenlandse restproducten van biomassa en mestvergisting (zie hoofdstuk 2). Het zo lang mogelijk uitstellen van grootschalige inzet van groen gas dient ertoe om te kunnen profiteren van de technologische ontwikkeling die nodig is om deze technologie volwassen te maken en grootschalig te benutten. Kleinschalige inzet is uiteraard wel eerder nodig, omdat de technologische ontwikkeling zonder leerervaring niet zal plaatsvinden. Daarnaast is het vanuit kosten oogpunt gunstig om zo lang mogelijk te wachten vanwege de relatief hoge kosten van groen gas. Een uitzondering zijn projecten waarbij (veel) mest wordt vergist en de methaanuitstoot reduceert, waardoor deze projecten ook op dit moment lage CO<sub>2</sub>-reductiekosten hebben. Door technologie-ontwikkeling dalen de specifieke CO<sub>2</sub>-reductiekosten van grootschalige toepassing van groen gas van 786 euro per ton vermeden CO<sub>2</sub> in 2010 naar 226 euro per ton vermeden CO<sub>2</sub> in 2050 (zie ook paragraaf 2.2). Aangenomen is dat groen gas langzaam doordringt en pas aan het einde van de periode tot 2050 grootschalig wordt ingezet. De specifieke CO<sub>2</sub>-reductiekosten (constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050) zijn dan 43 euro per ton.

## 5.2 Zonnepanelen

In deze paragraaf kijken we naar de inzet van zonnepanelen als sluitstuk voor het tekort aan CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel (zie ook paragraaf 2.2 voor de gebruikte kentallen). Na de inzet van de energiebesparingen, warmtenetten en groen gas is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag nog niet met 100 procent gereduceerd. Verder geldt dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de elektriciteitsvraag nog niet is gereduceerd. Het tekort aan CO<sub>2</sub>-reductie van zowel de warmtevraag als de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten (en verlichting) wordt daarom opgevuld met zonnepanelen. In investeringspad Beperkt moet nog 45 procent van de CO<sub>2</sub>-emissie van de warmtevraag worden gecompenseerd met zonnepanelen. In Diep is dit afgenomen tot 6 procent, vooral door de hogere inzet van energiebesparing. Wel zijn voor de Eigenwarmte-renovaties al zonnepanelen geplaatst. Het benodigde oppervlak aan zonnepanelen in 2050 varieert in de investeringspaden tussen de 200 tot 300 vierkante kilometer. Hierbij is uitgegaan van een gunstige ontwikkeling van de energie-efficiëntieopbrengst van zonnepanelen en een gunstige oriëntatie van de zonnepanelen op de zon. Het dakoppervlak van de woningvoorraad wordt geschat op 350 tot 550 vierkante kilometer (paragraaf 2.2). We kunnen dus concluderen dat het benodigde oppervlak

aan zonnepanelen kleiner is dan het dakoppervlak van de woningvoorraad. Een deel van het dakoppervlak is echter niet geschikt voor de plaatsing van de zonnepanelen vanwege obstakels (schoorstenen, dakramen, dakkapellen, liftkokers) en een slechte oriëntatie op de zon. Daar staat tegenover dat in de toekomst waarschijnlijk ook flexibele zonnepanelen makkelijk plaatsbaar zijn op de gevels van woningen. Welk deel van het dak- en geveloppervlak beschikbaar is voor de plaatsing van zonnepanelen is niet nagegaan.

Een mogelijk tweede beperking voor de grootschalige inzet van zonnepanelen is de inpasbaarheid van zonnestroom in het elektriciteitsnet. Omdat de productie van de zonnestroom in de zomer voor het grootste deel niet gelijktijdig plaatsvindt met de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten en verlichting, moet de zonnestroom aan het openbare elektriciteitsnet worden geleverd. De inpasbaarheid van het fluctuerende aanbod van de zonnepanelen in het landelijke elektriciteitsnet kan een groot probleem worden. Het is op dit moment onduidelijk in hoeverre oplossingen, zoals slimme netten, opslagsystemen en loadmanagement, mogelijk zijn. Dit zal ook afhangen van de verdere elektrificatie van andere sectoren en toepassingen als de elektrische auto.

De CO<sub>2</sub>-reductiekosten van de zonnepanelen voor eindgebruikers, uitgedrukt in een constant jaarlijks bedrag in de periode tot 2050, zijn 3 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub> voor de compensatie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de resterende warmtevraag en -169 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub> voor de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten. Voor de samenleving als geheel zijn de CO<sub>2</sub>-reductiekosten -5 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub> bij een elektriciteitsprijs (van centraal opgewekte elektriciteit) van 0,07 euro per kilowattuur, en 9 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub> bij een prijs van 0,05 euro per kilowattuur. Hierbij geldt zowel voor de eindgebruikers als voor de samenleving als geheel dat de kosten van de inpasbaarheid van de zonnestroom in het elektriciteitsnet niet zijn meegenomen; hier is meer onderzoek voor nodig. Daarnaast geldt voor de eindgebruikerskosten dat de vergoeding van teruglevering en saldering waarschijnlijk wordt aangepast als de kosten van de zonnepanelen sterk dalen en op grote schaal worden toegepast.

#### Noot

- 1 Warmtenetten die rendabel zijn, hebben een positieve netto contante waarde gerekend over de levensduur van het warmtenet (30 jaar bij een discontovoet van 6 procent voor het energiebedrijf).

# Klimaatneutrale routes

Energiebesparing en decentrale energieopwekking kunnen beide een bijdrage leveren aan het klimaatneutraal maken van de woningvoorraad. In dit hoofdstuk gaan we na in hoeverre het via de vier onderscheiden investeringspaden mogelijk is voldoende CO<sub>2</sub> te reduceren om de woningvoorraad klimaatneutraal te maken en wat dit betekent voor de kosten van de eindgebruikers.

## 6.1 CO<sub>2</sub>-reductie van de investeringspaden

Energiebesparing en decentrale energieopwekking leveren in alle investeringspaden beide een substantiële bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-reductie. De bijdrage van de energiebesparing varieert van 16 procent in het investeringspad met eenvoudige energiebesparingen (Beperkt) tot 46 procent in het investeringspad met vergaande energiebesparingen (Diep). Het overige deel van de CO<sub>2</sub>-reductie moet dus via decentrale energieopwekking worden bewerkstelligd. Warmtenetten leveren met 10 procent een substantiële bijdrage in investeringspad Beperkt, maar dat aandeel slinkt tot 2 procent in het pad Diep. Aangenomen is dat groen gas in alle investeringspaden een bescheiden maar constante bijdrage kan leveren van 6 procent. In alle investeringspaden moet dus (in absolute zin) de grootste bijdrage worden geleverd door zonnepanelen, die als sluitpost dienen om de woningvoorraad klimaatneutraal

te maken; zonnepanelen zorgen voor het klimaatneutraal maken van de elektriciteitsvraag voor huishoudelijke apparaten en verlichting. Zonnepanelen leveren hiermee in alle investeringspaden een bijdrage van 42 procent van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot. Daarnaast compenseren zonnepanelen de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag – door het gebruik van aardgas – die resteert na de beschouwde warmtemaatregelen. De compensatie varieert van 4 procent in investeringspad Diep tot 26 procent in het pad Beperkt. Het dakoppervlak van de woningvoorraad is voldoende groot voor deze zonnepanelen, maar niet nagegaan is in hoeverre het dakoppervlak ook geschikt is en de zonnestroom kan worden ingepast in het openbare elektriciteitsnet.

### Warmtevraag

Warmtevraagmaatregelen leveren een variabele bijdrage aan de vermindering van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van de woningvoorraad: van 32 procent in investeringspad Beperkt tot 54 procent in Diep (tabel 6.1). De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag zelf vermindert in 2050 met 55 procent (Beperkt) tot 94 procent (Diep) ten opzichte van 2010 (tabel 5.1). De vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt geleverd door energiebesparingen, warmtenetten en groen gas.

In investeringspad Beperkt is de gezamenlijke bijdrage van warmtenetten en groen gas aan de CO<sub>2</sub>-reductie gelijk aan die van de energiebesparing. In de drie overige investeringspaden is de bijdrage van de energiebesparing groter dan die van de warmtenetten en groen gas. Hoewel het aantal woningen met een aansluiting op het

Tabel 6.1  
CO<sub>2</sub>-reductie voor een klimaatneutrale woningvoorraad 2050

Investeringspad	Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductie (%)				
Maatregelen warmtevraag	32%	42%	54%	53%
- Besparing warmtevraag <sup>1</sup>	16%	29%	46%	43%
- Warmtenetten	10%	6%	2%	3%
- Groen gas	6%	6%	6%	6%
Compensatie warmtevraag <sup>2</sup>	26%	16%	4%	5%
Zonnepanelen elektriciteitsvraag <sup>3</sup>	42%	42%	42%	42%
Totaal	100%	100%	100%	100%

<sup>1</sup> De warmtevraag van de Eigenwarmte-woning wordt gedekt door de elektrische warmtepomp. De benodigde elektriciteit wordt opgewekt door zonnepanelen. De kosten van deze zonnepanelen worden meegenomen bij de besparing van de warmtevraag van de Eigenwarmte-woning.

<sup>2</sup> De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag die na de maatregelen resteert, wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van aardgas. Deze uitstoot wordt gecompenseerd door elektriciteitsproductie van zonnepanelen die wordt geleverd aan een andere sector.

<sup>3</sup> De elektriciteit voor het gebruik van huishoudelijke apparaten en verlichting van de woningen wordt geproduceerd door zonnepanelen. Voor de ongelijke momenten van verbruik en productie wordt gesaldeerd.

warmtenet in de investeringspaden niet veel verschilt, neemt de CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtenetten af naarmate een investeringspad meer energiebesparingen bevat. Door de energiebesparing is er minder vraag naar warmte uit het gebied.

In investeringspad Diep is de CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtevraag door energiebesparingen 80 procent. Deze reductie wordt veroorzaakt doordat 55 procent van de bestaande woningvoorraad is gerenoveerd tot energielabel Eigenwarmte en 45 procent tot energielabel B. Door warmtenetten en groen gas neemt de reductie toe tot 94 procent.

### Elektriciteitsverbruik

Om te voldoen aan de elektriciteitsvraag van apparaten en verlichting en om de resterende CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag te compenseren, moet 110 tot 162 procent van de benodigde elektriciteit met zonnepanelen worden opgewekt. Hiertoe moeten op alle daken van de woningen zonnepanelen worden geïnstalleerd (30 tot 40 vierkante meter per woning). In investeringspad Diep zijn daarbovenop zonnepanelen (6 vierkante meter per woning) nodig voor de elektriciteitsvraag van de elektrische warmtepomp als onderdeel van Eigenwarmte-renovaties.

## 6.2 Kosten van de investeringspaden

De kosten om de warmtevraag klimaatneutraal te maken, zijn negatief in investeringspad Beperkt en positief in de overige investeringspaden. De kosten lopen op naarmate in de investeringspaden meer energie wordt bespaard. In het investeringspad met de meest vergaande energiebesparingsmaatregelen (Diep) zijn de totale kosten dan ook het hoogst: 517 miljoen euro per jaar. Dit wordt vooral veroorzaakt door de relatief hoge kosten van deze maatregelen, maar ook omdat de warmtevraag door de energiebesparing afneemt, waardoor ook de warmtenetten relatief duur zijn. Opvallend is dat de gefaseerde aanpak van de vergaande energiebesparingen (investeringspad Gefaseerd diep) een kostenvoordeel oplevert ten opzichte van een ongefaseerde aanpak. De eindgebruikerskosten van energiebesparing zijn negatief in de investeringspaden Beperkt en Breed, en positief in de investeringspaden Diep en Gefaseerd diep. Dit geldt wanneer de berekeningen uitgaan van de middenschatting van de investeringskosten (tabel 5.1). Als wordt uitgegaan van de optimistische schatting van de investeringskosten (waarbij de investeringskosten door technologieontwikkeling sterk dalen (paragraaf 3.2), zijn deze eindgebruikerskosten echter in alle investeringspaden negatief.

De kosten van de grootschalige inzet van zonnepanelen zijn om twee redenen niet gegeven. Ten eerste vanwege de onbekendheid over de mogelijkheden en kosten van de inpasbaarheid van de zonnestroom in het

elektriciteitsnet; hier is meer onderzoek voor nodig. De tweede reden is dat de vergoeding van teruglevering en saldering van zonnestroom in de toekomst kan worden aangepast (SER 2013). Bij grootschalige inzet, zoals in dit onderzoek geschetst, is dat hoogstwaarschijnlijk het geval.

# Literatuur

- Agentschap NL (2006) *Vol gas vooruit! De rol van groen gas in de Nederlandse energiehuishouding*. Platform nieuw gas.
- Agentschap NL (2011a) *Voorbeeldwoningen 2011 – EPA detailgegevens per woningtype, subtype en bouwperiode*. Online beschikbaar: <http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Voorbeeldwoningen%202011%20-%20EPA%20detailgegevens%20site%20-%2009%20dec%202010.pdf>.
- Agentschap NL (2011b) *Voorbeeldwoningen 2011. Bestaande bouw*. Sittard: Agentschap NL.
- Agentschap NL (2011c) *Voorbeeldwoningen 2011. Onderzoeksverantwoording*. Sittard: Agentschap NL.
- Aedes (2012) *Energieconvenant: in 2021 naar energielabel B*. Online beschikbaar: <http://www.aedes.nl/content/artikelen/bouwen-en-energie/energie-en-duurzaamheid/Energieconvenant--in-2021-naar-energielabel-B.xml>.
- CBS, PBL & Wageningen UR (2012a) *Energieverbruik door huishoudens, 1990-2011 (indicator 0035, versie 16, 1 augustus 2012)*. Online beschikbaar: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0035-Energieverbruik-door-de-huishoudens.html?i=6-40>.
- CBS, PBL & Wageningen UR (2012b) *Energieverbruik per sector, 1990-2011 (indicator 0052, versie 16, 21 augustus 2012)*. Online beschikbaar: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0052-Energieverbruik-per-sector.html?i=6-40>.
- CPB, MNP & RPB (2006) *Welvaart en Leefomgeving. Achtergronddocument*, [www.welvaartenleefomgeving.nl](http://www.welvaartenleefomgeving.nl).
- DECC (2013), *Fuel Poverty Statistics*. London: Department of Energy and Climate Change. Online beschikbaar (geraadpleegd op 26 juni 2013): [http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/fuelpov\\_stats/fuelpov\\_stats.aspx](http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/fuelpov_stats/fuelpov_stats.aspx).
- Desmedt, J., G. Vekemans & D. Maes (2009) 'Ensuring effectiveness of information to influence household behaviour', *Journal of Cleaner Production* 17(2009), 455-462.
- ECN & PBL (2010) *Referentieraming energie en emissie 2010-2020*. ECN en PBL.
- ECN, Energie-Nederland & Netbeheer Nederland (2012) *Energie Trends 2012*. Petten: ECN, Energie-Nederland en Netbeheer Nederland. Online beschikbaar: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2012/b12005.pdf>.
- EEA (2012), *Energy efficiency and energy consumption in the household sector (ENER 022) - Assessment published Apr 2012*. Online beschikbaar: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-5/assessment>, accessed 5 June 2013.
- Elzenga, H. & M. Menkveld (2013) *Startnotitie gebouwde omgeving en lokale hernieuwbare energieopwekking*. ECN/PBL.
- EnergieNed (2005) *Evaluatie gewogen graaddagen methode*. Eco 95-08, EnergieNed, Arnhem.
- EU (2009a) Raad van de Europese Unie, Brussel, 1 december 2009 (03.12), (OR. en), 15265/1/09, REV 1.
- EU (2009b) Richtlijn 2009/125/EG Van het Europees Parlement en de Raad van 21 oktober 2009 betreffende de totstandbrenging van een kader voor het vaststellen van eisen inzake ecologisch ontwerp voor energiegerelateerde producten, Publicatieblad van de Europese Unie 31.10.2009.
- EU (2010) Herziening van de Europese richtlijn energieprestatie van gebouwen, Energy Performance Building Directive 2010/31/EU, 18 juni 2010.
- EU (2011) Europese Raad, Brussel, 4 februari 2011, (OR. en), EUCO 2/1.
- EU (2012) Richtlijn 2012/27/EU van het Europees Parlement en de Raad van 25 oktober 2012, Publicatieblad van de Europese Unie, 14.11.2012, Energy Efficiency Directive.
- Folkert, R.J.M. & R.A. van den Wijngaart (2012) *Vesta Ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving, Data en methoden*. Den Haag: PBL. Online beschikbaar: <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL-2012-vesta-ruimtelijk-energiemodel-voor-de-gebouwde-omgeving-data-en-methoden-500264001.pdf>.
- Gotttron, F., (2001) *Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?* National Council for Science and the Environment.
- Groot, C. de, F. van Dam & F. Daalhuizen (2013) *Vergrijzing en woningmarkt*. The Hague: PBL. Online beschikbaar: <http://www.pbl.nl/publicaties/vergrijzing-en-woningmarkt>.
- Guerra Santin, O., L. Itard & H. Visscher (2009) 'The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock', *Energy and Buildings*, 41, 1223-1232.
- Guerra Santin, O. & L. Itard (2010) 'Occupants' behaviour: determinants and effects on residential heating consumption', *Building Research & Information*, 38(3), 318-338.



- Hezemans, A. E. Marquart & T. Monné, *Monitor energiebesparing gebouwde omgeving 2012*. AgentschapNL, Utrecht.
- IenM (2011) *Klimaatbrief 2050: Uitdagingen voor Nederland bij het streven naar concurrerend, klimaatneutraal Europa*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Kamerstuk 18-11-2011.
- Jeeninga, H. & M.G. Boots (2001) *Ontwikkeling van het huishoudelijk energieverbruik in een geliberaliseerde energiemarkt. Effecten op aankoop- en gebruiksgedrag*. Publicatie ECN-C—01-002.
- Kempton, J. (2013) *Low-Zero Carbon Technology: Implementation and Maintenance in the English Social Housing Sector*. Paper presented at the 25<sup>th</sup> ENHR-Conference, 19-22 June, Tarragona, Spain, Working Group 11.
- Leguijt, C. & B.L. Schepers (2011) *Functioneel ontwerp Vesta*, Delft, CE Delft, juli 2011.
- Leguijt, C. & B.L. Schepers (2013) *Vesta 2.0. Uitbreidingen en dataverificaties*. Publicatienummer: 13.3440.45, CE Delft, Delft.
- Majcen, D., L.C.M. Itard & H. Visscher (2013) 'Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications', *Energy Policy*.
- Menkveld, M., K. Leidelmeijer, P. Vethman & E. Cozijnsen (2012) *Besparingsgetallen energiebesparende maatregelen op basis van daadwerkelijke verbruiksgegevens*. Amsterdam: ECN & RIGO.
- Ministerie van BZK (2011) *Plan van Aanpak Energiebesparing Gebouwde Omgeving*. Online beschikbaar: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/02/25/plan-van-aanpak-energiebesparing-gebouwde-omgeving.html>.
- Ministerie van BZK et al. (2012a) *Convenant Energiebesparing Huursector*. 28 juni 2012. Den Haag: Ministerie van BZK, Aedes vereniging van woningcorporaties, Vereniging Nederlandse Woonbond en Vastgoed Belang Vereniging van particuliere beleggers in vastgoed.
- Ministerie van BZK et al. (2012b) *Koepelconvenant Energiebesparing Gebouwde Omgeving*. Den Haag: Ministerie van BZK, Bouwend Nederland, Energie-Nederland, UNETO-VNI, NEPROM, NVB, Aedes, Woonbond, Vastgoed Belang.
- Ministerie van BZK (2013) *Cijfers over Wonen en Bouwen 2013*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Ministerie van VROM (1998) *Kosten en baten in het milieubeleid – definities en berekeningsmethoden*. Publicatiereeks milieustrategie.
- Ministerie van VROM (2000) *Habitat Report The Netherlands*. The Hague: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu. Online beschikbaar: <http://www.un.org/ga/Istanbul+5/Netherlands.pdf>.
- Ministerie van VROM/WWI (2010) *Energiegedrag in de woning. Aanknopingspunten voor de vermindering van het energiegebruik in de woningvoorraad*. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer/Wonen, Wijken en Integratie.
- Nibud (2009) *Energiekostenbeschouwing. Verschillen in energielasten tussen huishoudens nader onderzocht*. Utrecht: NIBUD, Nationaal Instituut voor Budgetvoorlichting.
- PBL (2011) *Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden*. Den Haag: PBL.
- PBL (2013) *Wissels omzetten. Bouwstenen voor een robuust milieubeleid in de 21<sup>ste</sup> eeuw*. Den Haag: PBL.
- SER (2012) *Abstract of advisory report: Towards an Energy Agreement for Sustainable Growth (Naar een Energieakkoord voor duurzame groei, 12/07)*. Den Haag: Sociaal-Economische Raad. Online beschikbaar: <http://www.ser.nl/~media/files/internet/talen/engels/2012/2012-07.ashx>.
- SER (2013) *Energieakkoord voor duurzame groei*, 6 september 2013, Den Haag.
- Sorrell, S. (2007) *The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. Sussez Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre.
- Stern, D. (2013) *The Rebound Effect*. Online beschikbaar: <http://stochastictrend.blogspot.nl/2010/04/rebound-effect.html>.
- Tigchelaar, C., B. Daniels & M. Menkveld (2011) *Obligations in the existing housing stock: Who pays the bill?* ECEEE 2011 Summer Study. Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society. Online beschikbaar: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/m11070.pdf>.
- Visscher, H., D. Majcen & L. Itard (2012) *Effectiveness of energy performance certification for the existing housing stock*. In RICS COBRA 2012, Las Vegas, Nevada USA, 10-13 September 2012. Online beschikbaar: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3A39bc3211-02ac-46ae-8646-de68e4ac09of/>.
- Verdonk, M. & W. Wetzels (2012) *Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012. Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030*. Den Haag: PBL, ism ECN.
- Weevers, B., E. Martens, S. Kromhout, E. Cozijnsen & J. Scheele-Goedhart (2013) *Woonlastenbeleid Metropoolregio. Een onderzoek naar noodzaak en mogelijkheden*. Arnhem: BuildDesk ism Rigo Research en Advies BV.
- Wijngaart, R. van den, R. Folkert & H. Elzenga (2012), *Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050*. Den Haag: PBL. Online beschikbaar: <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2012-naar-een-duurzamere-warmtevoorziening-van-de-gebouwde-omgeving-in-2050-500264002.pdf>.

# Bijlagen

## Bijlage 1 Theoretisch versus daadwerkelijk aardgasverbruik

In een eerdere studie met Vesta (Van den Wijngaart et al. 2012) bleek dat het berekende totale energiegebruik voor warmte in woningen in Nederland circa 40 procent hoger lag dan het gemeten verbruik. Dit komt doordat de theoretisch berekende waarden voor het gasverbruik door huishoudens voor de warmtevoorziening in woningen (zoals de Voorbeeldwoningen 2011) afwijken van het daadwerkelijk verbruik, vooral bij oudere woningen. In deze bijlage leggen we uit hoe we daar in de huidige studie voor hebben gecorrigeerd.

In figuur B1.1 wordt het normverbruik voor gas van de verschillende Voorbeeldwoningen (Agentschap NL 2011a,b,c) vergeleken met het daadwerkelijke gasverbruik (gecorrigeerd voor weersomstandigheden) zoals afgeleid kan worden uit de woningmarktmodule van WoON 2012. Bij oudere bouwjaren ligt het daadwerkelijke gasverbruik (fors) onder het normverbruik – met uitschieters tot wel 50 procent lager voor bijvoorbeeld de oudste bouwjaarklassen voor rijwoningen (1.850 in plaats van 3.700 kubieke meter gas per jaar). De verhouding tussen het daadwerkelijke en theoretische verbruik staat ook wel bekend als de ‘stookfactor’ (Tigchelaar et al. 2011). Voor de oudste rijwoningen is die factor dus 50 procent, voor rijwoningen uit de periode 1966 tot 1974 bedraagt de factor bijvoorbeeld 77 procent (1.765 in plaats van 2.300 kubieke meter).

Aan de andere kant ligt het daadwerkelijke gebruik volgens WoON 2012 bij de bouwjaarklassen vanaf 1992 in het algemeen hoger dan het normgebruik, met ook hier weer uitschieters tot 45 procent of meer. De stookfactor is voor deze woningen dus hoger dan 100 procent. Voor rijwoningen van 2006 en later is de stookfactor bijvoorbeeld 129 procent, terwijl dit voor galerijflats uit die periode zelfs 147 procent bedraagt.<sup>1</sup> Al met al lijken energiegebruik en -uitgaven meer te variëren tussen woningtypen dan tussen bouwjaarklassen (dan wel energiekwaliteit) binnen elk woningtype. Dit is al eerder geconstateerd bij een vergelijking tussen het daadwerkelijke en het normgebruik van woningen naar de sterk met het bouwjaar samenhangende energielabels (Majcen et al. 2013; Tigchelaar et al. 2011; Visscher et al.

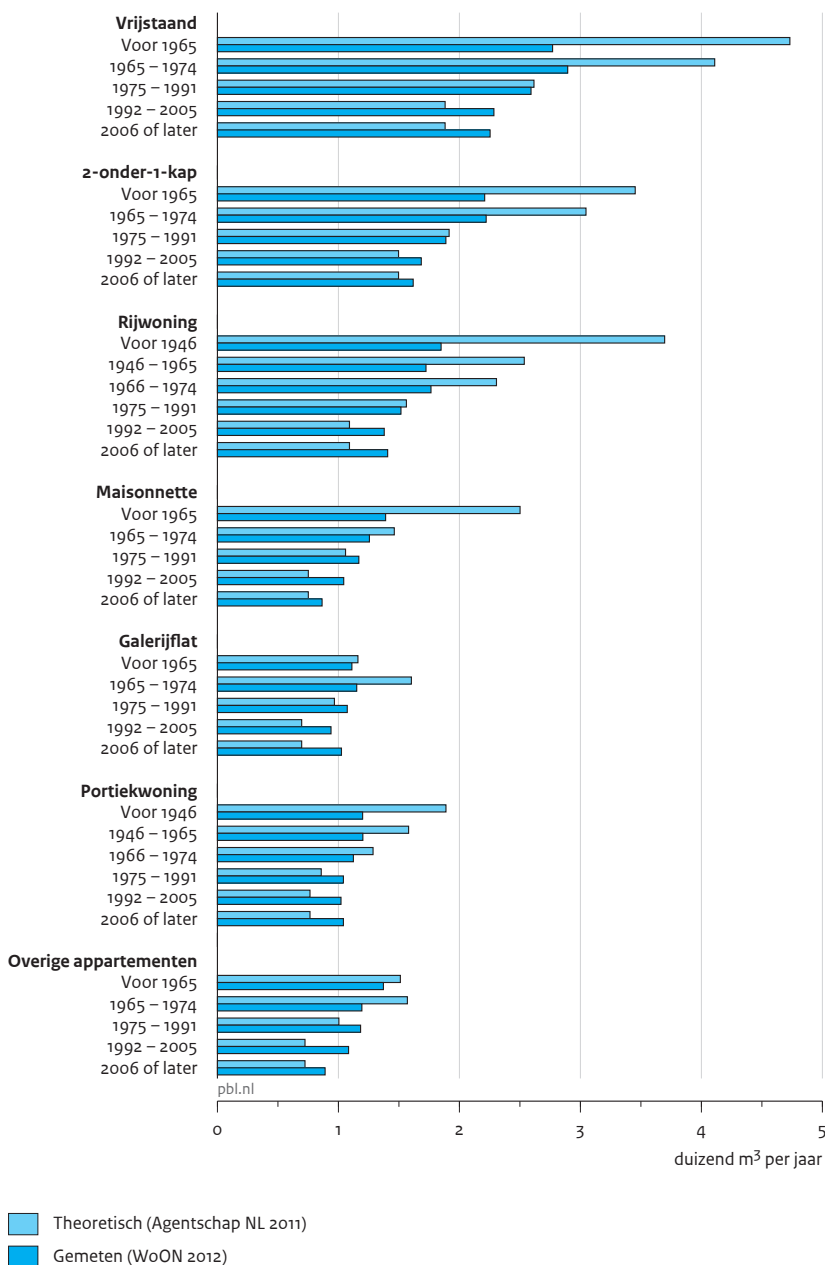
2012). Mogelijke verklaringen voor dit fenomeen zijn onvolkomenheden in de theoretische berekeningen voor het energiegebruik of een slechte technische uitvoering van maatregelen die de energetische kwaliteit van de woning verbeteren (bij bouw of renovatie). Kempton (2013) wijst er bovendien op dat ook verkeerd gebruik en onderhoud van invloed kan zijn op het rendement van energiebesparende technologie. Menkveld et al. (2012) hebben op basis van daadwerkelijk verbruik vastgesteld dat een HR-combiketel ongeveer 5 tot 8 procent gas bespaart ten opzichte van een VR-combiketel. Dit is slechts de helft van de besparing die op basis van theoretische berekeningen werd verwacht. Ook zou een verklaring kunnen liggen in het feit dat oudere woningen reeds energetisch zijn verbeterd en gemiddeld kleiner zijn dan woningen van na 1992; dit mag echter geen grote factor zijn, omdat het normverbruik van de Voorbeeldwoningen is gebaseerd op de huidige (gemiddelde) toestand waarin woningen uit een bepaald bouwjaar verkeren, dus inclusief maatregelen die reeds zijn genomen om de energetische kwaliteit van de woning te verbeteren en inclusief verschillen in de oppervlakte van de woningen. Tot slot kan het verschil ook samenhangen met verschillen tussen de afbakening van de Voorbeeldwoningen en de benadering daarvan met behulp van de in WoON 2012 beschikbare woningkenmerken.

Deze technische en theoretische verklaringen spelen waarschijnlijk alle in meer of mindere mate een rol bij de beschreven verschillen tussen het theoretische en daadwerkelijke energiegebruik van woningen en verdienen nader onderzoek. In toenemende mate wordt de verklaring echter in een andere richting gezocht, namelijk in het gedrag van de huishoudens die in de woningen wonen.

Er zijn twee mogelijke verklaringen voor deze samenhang tussen gedrag en energetische kwaliteit van de woning. Ten eerste kan er sprake zijn van compositie-effecten. Huishoudens zijn niet willekeurig over de woningvoorraad verdeeld. Zo wonen grotere gezinnen gemiddeld genomen in grotere woningen, blijken huishoudens met hogere inkomens vaker in recentere en dus energetisch betere woningen te wonen (Ministerie van BZK 2013), en is er ook een verband tussen de leeftijd van het huishouden en het bouwjaar van de woning (De Groot et al. 2013). Indien deze huishoudenskenmerken

Figuur B1.1

**Aardgasgebruik van woningen naar woningtype en bouwjaarperiode, 2012**



Bron: Agentschap NL 2011; WoON 2012, PBL 2013

samenhangen met energiegelddrag, kan dit effect hebben op de stookfactor per woningtype of bouwjaarperiode. Een oververtegenwoordiging van werkende huishoudens die veel van huis zijn, leidt bijvoorbeeld tot een lagere stookfactor, terwijl een oververtegenwoordiging van oudere of rijkere huishoudens kan leiden tot hogere stookfactoren.

De tweede mogelijke verklaring is meer dynamisch, waarbij huishoudens het energiegelddrag aanpassen aan de kenmerken van woning. Dit houdt in dat een huishouden verschillend gedrag vertoont, afhankelijk van de energetische kwaliteit van de woning. Huishoudens in energetisch slechte woningen kunnen bijvoorbeeld de energienota binnen de perken houden via het lager

zetten van de thermostaat bij afwezigheid of in vertrekken die niet worden gebruikt.

Los van de mogelijke verklaring(en) voor de discrepantie tussen het theoretische en daadwerkelijke energiegebruik zijn vooral de gevolgen ervan voor modelberekeningen relevant. In Vesta werd tot op heden het energiegebruik van verschillende woningtypen gebaseerd op het theoretische normverbruik afkomstig van de Voorbeeldwoningen. Daarbij werd bij gebrek aan meer informatie gecorrigeerd voor de eerdergenoemde overschatting door het verbruik voor *alle* woningen, dus ongeacht het type of de bouwjaarperiode, naar beneden bij te stellen met een correctiefactor van 0,7 (Van den Wijngaart et al. 2012). Door de nieuw beschikbare informatie over het daadwerkelijke gasverbruik van verschillende woningtypen kan Vesta worden gebaseerd op een realistisch uitgangspunt voor de gasvraag van verschillende woningen. Door deze correctie verdween de overschatting van het totale gasverbruik van alle Nederlandse huishoudens niet, maar nam het gasverbruik wel tot 19 procent af. Blijkbaar sluiten de Voorbeeldwoningen niet helemaal aan op geomarktprofiel, en is de combinatie van deze gecorrigeerde gegevens niet representatief voor de gehele woningvoorraad. Om voor de resterende overschatting van de gasconsumptie van alle Nederlandse huishoudens van 19 procent te corrigeren, is het gasverbruik van alle woningen hiervoor nog aanvullend gecorrigeerd met een factor  $1/1,19 \sim 0,84$ . In figuur B1.1 wordt het theoretisch aardgasgebruik van woningen vergeleken met het daadwerkelijke aardgasgebruik dat is gemeten in WoON 2012.

### Noot

- 1 Het daadwerkelijke verbruik in de meest recente bouwjaarperiode wordt vergeleken met het normverbruik van woningen (van hetzelfde type) uit de periode 1992-2005 omdat dat bij de Voorbeeldwoningen de meest recente klasse is. Dit is niet helemaal zuiver, omdat woningen van 2006 en later gemiddeld genomen groter zijn dan woningen die gebouwd zijn tussen 1992 en 2005. Aan de andere kant zijn de energie-eisen voor recentere bouwjaren hoger, hetgeen tot een lager verbruik zou moeten leiden.

## Bijlage 2

### Onzekerheden in het energiegebruik

In het onderzoek is voor een aantal onzekerheden een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (zie paragraaf 1.2 en 3.2). In deze bijlage lichten we enkele belangrijke andere onzekerheden toe in de ontwikkeling van het energiegebruik en de modellering hiervan in het Vesta-model. Achtereenvolgend komen de volgende aspecten aan bod:

- a. het aardgasgebruik van de woningen in het startjaar;
- b. de ontwikkeling van klimaatverandering en het effect op het energiegebruik;
- c. de ontwikkeling van het slooptempo van woningen;
- d. de ontwikkeling van het aantal huishoudens;
- e. de ontwikkeling van het inkomen van huishoudens.

In het algemeen gelden de resultaten van het Vesta-model voor gemiddelden van grote groepen woningen en/of huishoudens. Uiteindelijk geldt voor investeringsbeslissingen dat deze alleen kunnen worden genomen op basis van de specifieke omstandigheden van zowel de woning als het huishouden dat daarin woont. Er kan grote variatie zijn ten opzichte van het gemiddelde.

#### a. Het aardgasgebruik van de woningen in het startjaar

Het aardgasgebruik van de woningen in het startjaar is in het Vesta-model bepaald door het theoretische aardgasgebruik van de Voorbeeldwoningen 2011 (Agentschap NL 2011) te kalibreren naar het landelijk totaal gerealiseerde aardgasgebruik volgens het CBS (Folkert 2011). Het theoretische energiegebruik van de Voorbeeldwoningen 2011 is gebaseerd op de bouwkundige staat en de energie-efficiëntie van de verwarmingsketels en wordt onderscheiden naar type woningen en bouwperiode. Het theoretische aardgasgebruik per woningtype en bouwperiode is voor de invoer in het Vesta-model eerst gecorrigeerd voor het gerealiseerde aardgasgebruik gemeten in het WoON 2012-onderzoek (bijlage 1). Vervolgens is de kalibratie naar het landelijk totaal gerealiseerde aardgasgebruik toegepast. In beide gevallen (correctie voor het gemeten aardgasgebruik en kalibratie naar landelijk totaal) is er sprake van een overschatting door het theoretische aardgasgebruik van de Voorbeeldwoningen 2011. Op dit moment is onbekend waardoor het energiegebruik wordt overschat. Volgens Folkert (2011) zijn twee mogelijke redenen voor de overschatting:

1. de energie-efficiëntie van woningen is in werkelijkheid hoger dan berekend op basis van de Voorbeeldwoningen 2011, bijvoorbeeld omdat in werkelijkheid meer energiebesparingsmaatregelen zijn genomen dan verondersteld volgens de Voorbeeldwoningen 2011;

2. het gedrag van huishoudens is in werkelijkheid energiezuiniger dan verondersteld.

De aanpassingen van het theoretische aardgasgebruik beïnvloeden de resultaten als volgt. Indien in het eerste geval in werkelijkheid al meer energiebesparingsmaatregelen zijn genomen dan is verondersteld, dan zijn minder energiebesparingsmaatregelen mogelijk dan het Vesta-model berekent. Hierdoor worden in het Vesta-model de CO<sub>2</sub>-reductie en de investeringskosten overschat. De specifieke CO<sub>2</sub>-reductiekosten, dat wil zeggen de netto kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub>-uitstoot, worden dan echter waarschijnlijk onderschat, omdat de goedkoopste maatregelen in werkelijkheid al zijn genomen. In het tweede geval wordt het aantal energiebesparingsmaatregelen niet beïnvloed. De resultaten van het Vesta-model zijn dan juist geldig door de aanpassing van het theoretische aardgasgebruik (volgens de Voorbeeldwoningen 2011) naar het werkelijke aardgasgebruik (volgens WoON 2012) en de kalibratie naar het landelijk totaal (volgens CBS).

#### b. De ontwikkeling van klimaatverandering en het effect op het energiegebruik

Een opwarmend klimaat leidt tot een afname van de energievraag voor warmte in woningen. In de analyse is rekening gehouden met een vraagafname die wordt veroorzaakt door een toename van de gemiddelde buitentemperatuur met 1,3 graden Celsius (gebaseerd op een KNMI-scenario voor klimaatverandering) (Van den Wijngaart et al. 2012). Zonder dit effect zou de CO<sub>2</sub>-uitstoot zo'n 1,5 megaton hoger liggen. De onzekerheden over de toename van de gemiddelde buitentemperatuur en het klimaateffect op de warmte- en koudevraag zijn besproken in Folkert en Van den Wijngaart (2012).

#### c. De ontwikkeling van het slooptempo van woningen

Deze studie heeft als onderwerp de gehele bestaande woningvoorraad. De bestaande woningvoorraad zal echter veranderen door ingrijpende verbouwingen en sloop en eventuele herbouw. Deze veranderingen zijn niet meegenomen in het Vesta-model. Zowel ingrijpende verbouwingen als herbouw moeten onder invloed van de EU-richtlijnen vanaf 1 januari 2021 bijna energieneutraal plaatsvinden (paragraaf 1.1). De CO<sub>2</sub>-emissie van de bestaande woningvoorraad in 2050 wordt daardoor overschat. Dit geldt ook voor de CO<sub>2</sub>-reductie en investeringskosten van de energiematregelen. Om een indicatie te geven van de overschatting van de CO<sub>2</sub>-emissie, gaan we uit van de studie Welvaart en Leefomgeving (WLO, zie CPB et al. 2006) waarin het gemiddelde aantal te slopen woningen jaarlijks tussen de 15.000 tot 33.000 ligt. Tussen 2010 en 2050 zijn dit circa

0,6 tot 1,3 miljoen woningen (CPB et al. 2006). Opgemerkt moet worden dat deze inzichten nog stammen uit de periode van voor de crisis. Daarna zijn de woningmarkt en het strategisch vastgoedbeheer radicaal veranderd, waardoor de WLO-verwachting voor de vervangingssnelheid relatief hoog is ten opzichte van de huidige inzichten. De mogelijke range in het slooptempo uit de WLO geeft in 2050 een vermindering in de CO<sub>2</sub>-uitstoot van 1 tot 3 megaton ten opzichte van de bevroren efficiëntie-ontwikkeling. Als de sloop, zoals in het verleden, vooral de meersgezinswoningen met een laag gasverbruik betreft, dan zal de afname in CO<sub>2</sub> minder zijn. Zo wordt in een gemiddelde flatwoning circa 40 procent minder energie gebruikt dan gemiddeld in de huidige woningvoorraad. Als nieuwe woningen minder presteren dan verwacht en niet klimaatneutraal zijn, dan is de winst in termen van CO<sub>2</sub>-besparing uiteraard ook beperkter.

#### **d. De ontwikkeling van het aantal huishoudens**

De ontwikkeling van het aantal huishoudens heeft vooral invloed op het elektriciteitsgebruik en in mindere mate op het energiegebruik voor warmte (gasverbruik). In 2040 ligt de bandbreedte van de verwachte bevolkingsgroei tussen een krimp van enkele procenten en een groei van bijna 20 procent. Het aantal huishoudens blijft naar verwachting nog toenemen door een nog steeds afnemende gemiddelde huishoudensgrootte, in combinatie met een eventuele bevolkingsgroei. De bandbreedte van de toename van het aantal huishoudens in de periode 2010-2040 ligt tussen een nulgroei en een groei van ruim 40 procent.

De CO<sub>2</sub>-uitstoot die samenhangt met de extra warmtevraag door een toename van het aantal huishoudens is relatief gering. Nieuwe woningen zijn beter geïsoleerd en zuiniger met energie voor ruimteverwarming dan bestaande woningen. De energieprestatie-eisen aan nieuwbouwwoningen – vooral de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) vastgelegd in de Energie Prestatie Norm (EPN) – nemen stapsgewijs toe en vanaf 1 januari 2021 mogen volgens Europese afspraken (EU 2010) alleen nog maar energieneutrale woningen worden gebouwd (zie paragraaf 1.1). Dit betekent dat woningen gebouwd na 2020 per saldo geen CO<sub>2</sub> uitstoten door de inzet van hernieuwbare energie, zoals de elektrische warmtepomp gecombineerd met zonnepanelen en of groen gas. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevoorziening in nieuwbouwwoningen is dan dus verwaarloosbaar. In 2050 is naar verwachting nog 80 tot 90 procent van de bestaande woningvoorraad uit 2010 aanwezig (zie c.). De huidige woningvoorraad blijft dus de belangrijkste energievragers naar warmte en de veroorzaker van de hiermee samenhangende CO<sub>2</sub>-uitstoot

Aangenomen is dat de uitstoot door de vraag naar energie (elektriciteit) voor apparatengebruik stabiliseert.

Dit sluit aan bij de Referentieraming 2012 (Verdonk & Wetzels 2012). De stabilisatie van de uitstoot komt doordat het effect van de toename van het aantal huishoudens en het toenemende bezit van apparaten wordt gecompenseerd doordat apparaten onder invloed van energielabels en door Europese Ecodesignnormen steeds zuiniger worden (EU 2009b). Bij de elektriciteitsvraag is geen rekening gehouden met de ontwikkeling van nieuwe toepassingen, zoals elektrische auto's. In deze studie is bij de scenarioanalyses wel gekeken naar het effect van de inzet van warmtepompen (zie hoofdstuk 5). De onzekerheid in de ontwikkeling van het aantal huishoudens komt overeen met een marge van -2 tot +3 megaton CO<sub>2</sub> op de totale uitstoot door apparatuurgebruik ten opzichte van het referentiescenario.

#### **e. De ontwikkeling van het inkomen van huishoudens**

De ontwikkeling van het inkomen van huishoudens heeft invloed op het energiegebruik en kan worden uitgedrukt in een zogenoemde inkomenselasticiteit. Huishoudens met hogere inkomens geven in het algemeen meer uit aan energie. Dat komt onder andere doordat ze in grotere huizen wonen en meer elektrische apparaten bezitten. Het is niet precies bekend wat op de lange termijn de inkomenselasticiteit is voor elektriciteit en gas. Naar verwachting ligt die ver onder de 1, bijvoorbeeld ergens tussen de 0,1 en 0,5. In de ruimteverkenning is het verschil in inkomensontwikkeling tussen het hoge en lage scenario zo'n 2 procent per jaar (PBL 2011). Als de jaarlijkse ontwikkeling van het inkomen 1 procent hoger of lager is dan in de Referentieraming, dan heeft dat potentieel dus gevolgen voor het energiegebruik. Als de inkomenselasticiteit tussen de 0,1 en 0,5 ligt, dan leidt een afwijking in het inkomen van 1 procent per jaar tot zo'n 4 á 20 procent meer of minder energiegebruik in 2050. Dit betekent ook 4 tot 20 procent meer of minder CO<sub>2</sub>-uitstoot, wat overeenkomt met een range van 1 tot 6 megaton.

## Bijlage 3

### Kosten isolatieverbetering naar verschillende labelniveaus

Tabel B3.1

Kosten voor aanpassen van huidig label naar label E, D of C per woningtype en bouwjaar (Euro, excl. btw) voor particulieren en tussen haakjes voor een projectmatige aanpak; prijspeil 2010

Bouwjaar	Voor 1800 1800<=1900 1900<=1920 1920<=1940	1940<=1960	1960<=1970
<b>Woningtype</b>			
Herenhuis grachtenpand	4.284 (3.830)	1.190 (1.063)	2.025 (1.797)
Boerderij/tuinderij	3.367 (2984)	1.156 (1.025)	1.199 (1.057)
Vrijstaand/bungalow	3.367 (2984)	1.156 (1025)	1.199 (1057)
Twee onder een kap	4.284 (3830)	1.190 (1063)	2.025 (1797)
Rijthuis/eengezins	4.448 (3341)	2.792 (2435)	4.502 (3919)
Flat 4 of minder verdiepingen	3.530 (3.221)	514 (476)	
Flat meer dan 4 verdiepingen	4.300 (3.929)		
Zelfstandige bejaardenwoning	3.852 (3.544)	3.304 (3.040)	2.962 (2.687)
Etagewoning/maisonnette	3.606 (3.257)		
Etage/flat grachtenpand	3.530 (3221)	514 (476)	
Studentenwoning/flat	3.530 (3221)	514 (476)	

Bron: Leguijt & Schepers (2013)

Tabel B3.2

**Kosten voor aanpassen van huidige label naar label B per woningtype en bouwjaar (Euro, excl. btw) voor particulieren en tussen haakjes voor een projectmatige aanpak; prijspeil 2010**

Bouwjaar	Voor 1800 1800<=1900 1900<=1920 1920<=1940	1940<=1960	1960<=1970	1970<=1980	1980<=1990	1990<=1995 1995<=2000	2000<=2010
<b>Woningtype</b>							
Herenhuis grachtenpand	14.990 (13.400)	14.990 (13.400)	15.760 (13.990)	15.880 (14.230)	15.880 (14.230)	4.620 (3.680)	0
Boerderij/tuinderij	17.500 (15.510)	17.500 (15.510)	19.150 (16.870)	18.720 (16.490)	18.720 (16.490)	3.230 (2.580)	0
Vrijstaand/bungalow	17.500 (15.510)	17.500 (15.510)	19.150 (16.870)	18.720 (16.490)	18.720 (16.490)	3.230 (2.580)	0
Twee onder een kap	14.990 (13.400)	14.990 (13.400)	15.760 (13.990)	15.880 (14.230)	15.880 (14.230)	4.620 (3.680)	0
Rijtjeshuis/eengezins	15.880 (11.930)	9.630 (8.400)	10.970 (9.550)	9.970 (8.760)	9.770 (8.760)	1.250 (1.000)	0
Flat 4 of minder verdiepingen	5.490 (5.010)	8.400 (7.780)	9.060 (7.080)	7.610 (2.470)	7.610 (2.470)	2.810 (2.470)	0
Flat meer dan 4 verdiepingen	7.690 (7.110)	7.690 (7.110)	7.420 (6.780)	8.430 (7.910)	8.430 (7.910)	870 (770)	0
Zelfstandige bejaardenwoning	6.870 (6.320)	6.870 (6.320)	5.920 (5.370)	8.430 (7.890)	8.430 (7.890)	50 (50)	0
Etagewoning/ maisonnette	7.850 (7.090)	7.850 (7.090)	7.500 (6.740)	6.820 (6.180)	6.820 (6.180)	510 (450)	0
Etage/flat grachtenpand	5.490 (5.010)	8.400 (7.780)	9.060 (7.080)	7.610 (2.470)	7.610 (2.470)	2.810 (2.470)	0
Studentenwoning/flat	5.490 (5.010)	8.400 (7.780)	9.060 (7.080)	7.610 (2.470)	7.610 (2.470)	2.810 (2.470)	0

Bron: Leguijt & Schepers (2013)



Tabel B3.3

**Kosten voor aanpassen van label B naar label Eigenwarmte per woning type en bouwjaar (Euro, excl. btw) voor particulieren en tussen haakjes voor een projectmatige aanpak; prijspeil 2010**

Bouwjaar	Voor 1800 1800<=1900 1900<=1920 1920<=1940	1940<=1960	1960<=1970	1970<=1980	1980<=1990	1990<=1995 1995<=2000	2000<=2010
<b>Woningtype</b>							
Herenhuis grachtenpand	13.168 (12.157)	13.168 (12.157)	13.683 (12.623)	13.683 (12.623)	13.587 (12.548)	14.507 (13.384)	14.507 (13.384)
Boerderij/tuinderij	18.090 (16.629)	18.090 (16.629)	19.915 (18.287)	19.915 (18.287)	18.541 (17.038)	19.862 (18.283)	19.862 (18.283)
Vrijstaand/bungalow	18.090 (16.629)	18.090 (16.629)	19.915 (18.287)	19.915 (18.287)	18.541 (17.038)	19.862 (18.283)	19.862 (18.283)
Twee onder een kap	13.168 (12.157)	13.168 (12.157)	13.683 (12.623)	13.683 (12.623)	13.587 (12.548)	14.507 (13.384)	14.507 (13.384)
Rijtjeshuis/eengezins	9.950 (9.231)	8.542 (7.904)	8.843 (8.182)	8.843 (8.182)	8.988 (8.316)	9.939 (9.292)	9.939 (9.292)
Flat 4 of minder verdiepingen	6.208 (5.919)	6.591 (6.277)	6.860 (6.527)	6.860 (6.527)	6.616 (6.304)	7.054 (6.709)	7.054 (6.709)
Flat meer dan 4 verdiepingen	5.444 (5.220)	5.444 (5.220)	5.771 (5.532)	5.771 (5.532)	5.640 (5.399)	6.057 (5.795)	6.057 (5.795)
Zelfstandige bejaardenwoning	6.208 (5.919)	6.591 (6.277)	6.860 (6.527)	6.860 (6.527)	6.616 (6.304)	7.054 (6.709)	7.054 (6.709)
Etagewoning/ maisonnette	8.770 (8.251)	8.770 (8.251)	8.606 (8.099)	8.606 (8.099)	7.901 (7.448)	7.673 (7.317)	7.673 (7.317)
Etage/flat grachtenpand	6.208 (5.919)	6.591 (6.277)	6.860 (6.527)	6.860 (6.527)	6.616 (6.304)	7.054 (6.709)	7.054 (6.709)
Studentenwoning/flat	6.208 (5.919)	6.591 (6.277)	6.860 (6.527)	6.860 (6.527)	6.616 (6.304)	7.054 (6.709)	7.054 (6.709)

Bron: Leguijt & Schepers (2013)

## Planbureau voor de Leefomgeving

Postadres  
Postbus 30314  
2500 GH Den Haag

Bezoekadres  
Oranjevuitensingel 6  
2511 VE Den Haag  
T +31 (0)70 3288700

[www.pbl.nl](http://www.pbl.nl)

Februari 2014