

## Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050



# Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050

Ruud van den Wijngaart  
Rob Folkert  
Hans Elzenga

## **Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050**

© Planbureau voor de Leefomgeving

ISBN: 978-90-78645-94-8

PBL-publicatienummer: 500264002

Eindverantwoordelijkheid  
Planbureau voor de Leefomgeving

### **Contact**

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

### **Auteurs**

Ruud van den Wijngaart, Rob Folkert en Hans Elzenga  
(allen PBL)

### **Modelruns**

Bas van Bommel (PBL)

### **Met bijdragen van**

Energieprijzen: Casper Tigchelaar, Wouter Wetzels (beiden ECN)

Geothermie kanskaarten: Alexander Kronimus, Jan Diederik van Wees (beiden TNO)

Modelontwikkeling en data: Cor Leguijt (CE Delft), Martin van der Beek, Maarten Hilferink (beiden Object Vision), Bas van Bommel, Bart Rijken, Barry Zondag (allen PBL)

### **Met dank aan**

De auteurs hebben dankbaar gebruik gemaakt van de review van de modelanalyses door Lydia Dijkshoorn (Agentschap NL), Nico Hoogervorst (PBL), Marijke Menkveld (ECN), Frans Rooijers (CE Delft) en het commentaar op (onderdelen van) het conceptrapport geleverd door Pieter Boot, Anton van der Giessen, Dorien Manting, Jacqueline Timmerhuis, Ries van der Wouden (allen PBL), Renee Heller (Ecofys), Jos Verlinden, David van der Woude (beiden Ministerie van Binnenlandse Zaken), Ralf Vermeer (Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie), Frank Stevens van Abbe en Jochem van der Waals (beiden Ministerie van Infrastructuur en Milieu).

### **Redactie figuren**

Beeldredactie PBL

### **Eindredactie en productie**

Uitgeverij PBL

### **Opmaak**

Martin Middelburg, Uitgeverij RIVM, Bilthoven

### **Druk**

pm

U kunt de publicatie downloaden via de website [www.pbl.nl](http://www.pbl.nl), of opvragen via [reports@pbl.nl](mailto:reports@pbl.nl) onder vermelding van het PBL-publicatienummer of het ISBN-nummer en uw postadres. Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Van den Wijngaart, R. et al. (2012), *Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (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

## Bevindingen

### **Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050 8**

Hoofdconclusies 8

Inleiding: investeren in energiebesparende maatregelen 10

Verantwoording en methodiek 10

Resultaten 12

Implicaties voor het beleid 19

## Verdieping

### **1 Inleiding 22**

1.1 Leeswijzer 23

### **2 Uitgevoerde analyses met het Vesta-model 24**

2.1 Onderzoeksvragen 24

2.2 Verkende routes 24

2.3 Gevoeligheidsanalyse 26

### **3 Beknopte beschrijving van de werking van het Vesta-model 28**

3.1 Typering van het Vesta-model 28

3.2 Rentabiliteitsberekening van gebiedsmaatregelen 29

3.3 Scenario-uitgangspunten 29

### **4 Technische beschrijving van gebiedsmaatregelen 32**

4.1 Restwarmte 32

4.2 Geothermie 32

4.3 Warmte-koudeopslag 33

### **5 Economische randvoorwaarden en potentieel gebiedsmaatregelen – literatuurscan 38**

5.1 Samenvatting 38

5.2 Economische randvoorwaarden 39

5.3 Toekomstig potentieel 40

### **6 Potentieel gebouwmaatregelen 46**

6.1 Samenvatting 46

6.2 Potentieel en kosten bij toepassing van het comfortpakket 47

6.3 Potentiëlen en kosten van individuele maatregelen volgens factsheets 47

### **7 Niet-economische belemmeringen 50**

7.1 Inleiding 50

7.2 Gedragsmodel voor de beschrijving van niet-economische belemmeringen 50

7.3 Overzicht niet-economische belemmeringen 52



BEVINDINGEN

BEVINDINGEN

# Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050

Het kabinet-Rutte streeft naar een klimaatneutrale economie in 2050. Om deze doelstelling te halen is onder andere een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving nodig. In deze studie is onderzocht hoeveel CO<sub>2</sub>-reductie kan worden bereikt met energiebesparende maatregelen, zoals isolatie van gebouwen en warmte-koudeopslag. Bovendien is er daarbij van uitgegaan dat deze gebouw- en gebiedsmaatregelen rendabel zijn voor eigenaren van gebouwen en voor warmteleveranciers.

## Hoofdconclusies

### Rendabele gebouw- en gebiedsmaatregelen voorkomen gezamenlijk 15 tot 30 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving in 2050

Om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving te beperken, is een combinatie van gebouw- en gebiedsmaatregelen het meest efficiënt. Dit levert een grotere CO<sub>2</sub>-reductie dan het nemen van alleen gebouwmaatregelen zoals isolatie of efficiency-verbetering van verwarmingsinstallaties, of alleen gebiedsmaatregelen zoals het gebruik maken van restwarmte, geothermie of warmte-koudeopslag.

Het nemen van alle rendabele gebouw- en gebiedsmaatregelen voorkomt 15 tot 30 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving in 2050. De hoogte van het percentage hangt af van twee factoren: de energieprijzen en de investeringskosten van de energiebesparingsmaatregelen. Aangezien de ontwikkelingen van de energieprijzen en de investeringskosten onzeker zijn, wordt de mogelijk rendabele CO<sub>2</sub>-reductie hier gepresenteerd als bandbreedte.

### Isolatie van bestaande gebouwen naar label B wordt rendabel bij hogere energieprijzen

Van de gebouwmaatregelen is isolatie het meest financieel rendabel. Door rendabele isolatie kan 20 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de gebouwde omgeving in 2050 worden voorkomen.

Dit wordt bereikt door een kwart van de huidige woningvoorraad te isoleren naar 'label B'. Zo verstoekt een rijtjeshuis (eengezinswoning) gebouwd voor 1960 met label F of G gemiddeld 75 procent minder aardgas na de isolatie tot label B. Daarbij geldt wel een situatie waarin de aardgasprijs is gestegen van 64 eurocent naar 80 cent per kubieke meter, en dat daarnaast de investeringskosten relatief laag zijn (de kosten bij de zogenoemde projectmatige aanpak). Het gaat hierbij vooral om eengezinswoningen gebouwd voor 1960 en meergezinswoningen van voor de Tweede Wereldoorlog. Voor utiliteitsgebouwen, zoals kantoren, winkels en ziekenhuizen, geldt dat de helft van de bestaande gebouwen rendabel is te isoleren naar label B. De huidige aardgasprijs voor grootverbruikers is daarbij gestegen van 20 cent per kubieke meter naar 41 cent. En ook hierbij zijn de investeringskosten relatief laag.

In een situatie waarbij de energieprijzen niet zijn gestegen en de investeringskosten hoog zijn (bij de zogenoemde particuliere aanpak) zijn maar weinig woningen en utiliteitsgebouwen rendabel te isoleren naar label B.

### Gebiedsmaatregelen leveren extra rendabele CO<sub>2</sub>-reductie boven op gebouwmaatregelen

Met gebiedsmaatregelen wordt er gebruik gemaakt van lokale warmtebronnen, zoals restwarmte van elektriciteitscentrales en industriële bedrijven, en warmte-koudeopslagsystemen in de ondiepe ondergrond. Hierdoor vermindert het aardgasgebruik voor ruimteverwarming en douchen en neemt de CO<sub>2</sub>-uitstoot af.



Om restwarmte en warmte-koudeopslag financieel rendabel te benutten, is een geconcentreerde vraag naar warmte nodig. Die geconcentreerde vraag is lager als alle gebouwen een energieprestatie hebben op label B-niveau; ze vragen dan immers minder warmte. Desondanks is dan nog steeds een groot deel van de lokale gebiedsmaatregelen financieel rendabel. Er kan in 2050 30 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving worden voorkomen, als er niet alleen rendabele isolatiemaatregelen worden genomen, maar ook gebruik wordt gemaakt van rendabele lokale warmtebronnen. Dit is 10 procentpunt meer dan wanneer er alleen rendabele isolatie plaatsvindt. Dat kan in een situatie waar de energieprijzen hoog zijn en de investeringskosten laag.

Zijn de energieprijzen laag en de investeringskosten hoog, dan zijn er bijna geen woningen en utiliteitsgebouwen rendabel te isoleren naar energielabel B (zie vorige punt). Maar ook dan kan nog 15 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot rendabel worden voorkomen door gebruik te maken van de lokale warmtebronnen.

#### **Geothermie is misschien één van de belangrijkste schone warmtebronnen**

In theorie kan geothermie – ook wel aardwarmte genoemd – een grote rol gaan spelen in de warmtelevering aan gebouwen. De benutbare warmtebronnen van geothermie bevinden zich diep onder de grond (circa 1 tot 3 kilometer). De exacte locaties voor succesvolle boringen zijn echter in veel gevallen slecht bekend, waardoor een raming van rendabele geothermieprojecten omgeven is met grote onzekerheden. Om de kennis over de ondergrond te vergroten is meer lokaal onderzoek nodig. Als de exacte locaties voor een succesvolle boring bekend zouden zijn, kan met rendabele projecten 1 tot 15 procent van de geraamde CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving worden voorkomen. De bovengrens geeft aan dat geothermie even belangrijk kan worden als restwarmte en warmte-koudeopslag.

#### **Ook wanneer niet alle eigenaren en gebruikers van gebouwen maatregelen nemen, wordt een groot deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot voorkomen**

Eigenaren en gebruikers van gebouwen die moeten besluiten of ze wel of geen energiemaatregelen nemen, kijken niet alleen naar de rentabiliteit van die maatregelen. Ook andere overwegingen spelen een rol, zoals praktische en persoonlijke bezwaren en voorkeuren. Sommige eigenaren en gebruikers zijn nauwelijks te bewegen om isolatie toe te passen en/of lokale warmtebronnen te gebruiken.

Maar ook wanneer slechts een beperkt aantal eigenaren en gebruikers rendabele energiemaatregelen neemt, is er nog een aanzienlijk effect op de CO<sub>2</sub>-uitstoot. In 2050 kan

daarmee 8 tot 15 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de gebouwde omgeving worden voorkomen.

#### **Implicaties voor het klimaat- en energiebeleid**

De studie laat zien dat met financieel rendabele maatregelen een CO<sub>2</sub>-reductie van 20 tot 30 procent kan worden bereikt in de gebouwde omgeving in 2050. Om dit te bereiken, kan het nationale klimaat- en energiebeleid het beste inzetten op zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen. Welke maatregelen er precies in een gemeente kunnen worden genomen en of deze rendabel zijn, is afhankelijk van de lokale (fysieke) omstandigheden. Daarvoor is dan ook op lokaal niveau onderzoek en maatwerk nodig.

## Inleiding: investeren in energiebesparende maatregelen

### Uitgangspunt

De Europese Commissie heeft de ambitie om de broeikasgasemissies in 2050 met 80 tot 95 procent te verminderen ten opzichte van 1990. Het kabinet-Rutte geeft in de Klimaatbrief 2050 (I&M 2011a) hieraan invulling door te schetsen hoe Nederland de omslag naar een klimaatneutrale economie kan maken. Voor de gebouwde omgeving zou dit om een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot vragen in de orde van grootte van 80 procent (PBL & ECN 2011).

### Aanleiding en context

Om een dergelijke CO<sub>2</sub>-reductie te bereiken kan de energievraag worden verminderd en/of het energieaanbod schoner worden gemaakt.

Tot een paar jaar geleden lag de focus vooral op het verminderen van de energievraag van gebouwen. Belangrijke *gebouwmaatregelen* die worden gestimuleerd zijn isolatie van vloer, gevel en dak en het verbeteren van de energie-efficiëntie van verwarmingsinstallaties zoals de hoog rendementsketel.

De laatste jaren komt daarnaast meer aandacht voor 'lokale gebiedsmaatregelen'. Met lokale *gebiedsmaatregelen* worden gebouwen verwarmd of gekoeld via een transport- en distributienet door bronnen dicht bij het gebouw. De bekendste gebiedsmaatregelen zijn het benutten van restwarmte van elektriciteitscentrales en industriële bedrijven; van geothermie uit de diepe ondergrond; warmte-koudeopslag (WKO) in de ondiepe ondergrond; en het gebruik van energie-installaties in wijken die zowel warmte als elektriciteit produceren (de zogenoemde warmtekrachtkoppeling (wijk-WKK)).

De vraag is nu niet alleen welke maatregelen het meeste effect hebben op de CO<sub>2</sub>-reductie, maar ook welke maatregelen financieel haalbaar en rendabel zijn. Voor zowel de gebouw- als gebiedsmaatregelen zijn namelijk forse en langdurige investeringen nodig, van overheden, woningcorporaties, vastgoedeigenaren, energieleveranciers, eigenaren-bewoners en andere gebouwbezitters. Het is van belang om te weten waar de investeringen in gebouwen en warmtenetten elkaar kunnen tegenwerken, en waar ze elkaar juist kunnen versterken. Dit hangt samen met de lokale omvang van de energievraag en de aanwezigheid van de warmte- en koudebronnen.

Daarnaast worden ook de mogelijkheden om de warmtevraag van de gebouwen te verminderen veelal bepaald door lokale omstandigheden, zoals het type en de ouderdom van de woning. Bovendien kunnen ook sociaaleconomische kenmerken zoals het inkomen van

bewoners en de eigendomsverhouding van woningen een grote rol spelen bij de financiering van energiemaatregelen.

### Doelstelling rapport

Met deze verkenning wil het PBL de betrokken maatschappelijke partijen, inclusief de overheden, ondersteunen bij de verdere uitwerking van het klimaat- en energiebeleid van de gebouwde omgeving. Dit rapport verkennt daartoe de mogelijke bijdrage van gebouw- en gebiedsmaatregelen aan het realiseren van de doelstelling om in de gebouwde omgeving van Nederland 80 procent CO<sub>2</sub>-reductie te realiseren. Naast deze maatregelen kunnen mogelijk ook (lage temperatuur) elektrische verwarmingssystemen, waarbij schone elektriciteit centraal wordt opgewekt, en groen gas een bijdrage leveren. Deze opties zijn echter niet meegenomen in de studie.

### Onderzoeksvraag

Bij het onderzoek is uitgegaan van de volgende drie vragen:

1. welke maatregelen leiden tot de grootste CO<sub>2</sub>-reductie: gebouwmaatregelen, gebiedsmaatregelen of een combinatie daarvan?
2. welke van die maatregelen zijn het meest kosteneffectief?
3. in hoeverre wordt de CO<sub>2</sub>-reductie beïnvloed, wanneer de eigenaren van de gebouwen al dan niet bereid zijn energiemaatregelen te nemen?

### Vesta-model

Om een beter inzicht te krijgen in het effect van lokale energiemaatregelen op de nationale emissiereductie en de wisselwerking tussen de gebouw- en gebiedsmaatregelen is een nieuw energiemodel ontwikkeld: Vesta. Vesta is een geografisch energiemodel van de gebouwde omgeving dat rekening houdt met lokale omstandigheden die van belang zijn voor energiebesparing en warmtelevering.

## Verantwoording en methodiek

### Ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissie

Om de ontwikkeling te schatten van de CO<sub>2</sub>-emissie in 2050, is uitgegaan van een trendprognose (PBL 2012), dat een beeld geeft van de toekomstige omvang van de bevolking, de woningvoorraad, de economie en werkgelegenheid. De ontwikkeling van deze sectoren bepaalt namelijk voor een groot deel de toekomstige energievraag.

Het aantal inwoners van Nederland groeit in de periode 2010-2050 naar verwachting met 0,9 miljoen tot 17,5 miljoen. Door deze groei en een verdunning van de

huishoudens groeit de woningvoorraad met 1,1 miljoen woningen tot 8,2 miljoen; hiervoor worden 1,2 miljoen woningen gesloopt en 2,3 miljoen nieuwe woningen gebouwd. De economische groei bedraagt gemiddeld 1,7 procent per jaar. Het aantal banen neemt toe met 0,4 miljoen tot 7 miljoen en het areaal glastuinbouw neemt toe met 800 hectare tot 11.000 hectare. Hierbij is rekening gehouden met sloop en nieuwbouw van woningen, utiliteitsgebouwen en glastuinbouw. Het energiegebruik van woningen is gebaseerd op de *Voorbeeldwoningen 2011* (Agentschap NL 2011). Daarbij is het referentie energiegebruik van woningtype en bouwjaar volgens de *Voorbeeldwoningen 2011* geschaald naar het gerealiseerde gebruik volgens het CBS (2010). Het energiegebruik van de utiliteit is gebaseerd op schattingen van de energievraag per vierkante meter vloeroppervlak voor deelsectoren uit het energiekompas (Meijer Energie & Milieumanagement B.V. 2008) en bij de glastuinbouw van de energievraag van bloemen, groente en overige tuinbouw per vierkante meter tuinbouwkas (Rooijers 1994). Daarnaast is rekening gehouden met een toekomstige verminderde energievraag voor ruimteverwarming, vanwege een stijging van de buitentemperatuur door klimaatverandering. Deze is gebaseerd op klimaat-scenario's van het KNMI.

### **Gebouw- en gebiedsmaatregelen**

Het CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van gebouwmaatregelen bij woningen en de kosten hiervan zijn eveneens gebaseerd op de *Voorbeeldwoningen 2011*. Het betreft isolatiemaatregelen van de schil (dak, gevel en vloer) die de woningen naar energieprestatielabel B brengen. Label B is het hoogste energieprestatieniveau van bestaande woningen dat is te bereiken met isolatiemaatregelen uit de *Voorbeeldwoningen 2011*. Het energieprestatielabel A kan worden bereikt als de isolatiemaatregelen worden aangevuld met de zonneboiler en zonnecel PV. Voor bestaande woningen is volgens huidige inzichten geen hoger energieprestatieniveau te bereiken met bestaande technieken tenzij de kosten extreem oplopen. Voor nieuwbouwwoningen is ten aanzien van de energie-efficiency van de schil in de referentieberekening uitgegaan van de huidige norm.

Als referentie voor de efficiency van de verwarmingsketel wordt voor zowel bestaande bouw als nieuwbouw aangenomen dat de moderne hoogrendementsketel HR107 stand der techniek is en de bestaande ketels hierdoor zijn vervangen in 2050. Als aanvulling kan de zonneboiler worden gebruikt. Daarnaast kan bij nieuwbouw als alternatief de elektrische warmtepomp worden ingezet. Er is echter geen kostendaling voorzien voor de technieken.

De informatie voor gebiedsmaatregelen, over de restwarmtebronnen, is gebaseerd op een inventarisatie van huidige elektriciteitscentrales, afvalverwerkingsinstallaties, raffinaderijen en grote industriële installaties (PBL 2012). De kosten en kentallen van warmtenetten, geothermie, warmte-koudeopslag en warmtekrachtkoppeling per wijk (wijk-WKK) zijn beschreven in Leguijt (2011) en PBL (2012). Voor de aanwezigheid van geothermie in de diepe ondergrond is gebruik gemaakt van niet eerder gepubliceerde kanskaarten van TNO (paragraaf 4.3). Deze gebiedsmaatregelen vervangen de hoogrendementsketel HR107.

Het Vesta-model berekent welke gebiedsmaatregelen rendabel zijn. Hierbij is de prioriteitsvolgorde opgegeven van 1. restwarmte 2. geothermie 3. warmte-koudeopslag en 4. wijk-WKK. Dat betekent dat als eerste wordt berekend of restwarmte rendabel is. Als restwarmte rendabel is, worden de andere gebiedsmaatregelen niet meer doorgerekend. Als restwarmte niet rendabel is, dan wordt warmte-koudeopslag doorgerekend. Enzovoort. Deze prioriteitsvolgorde is gekozen om pragmatische redenen. Veelal komt dit overeen met de CO<sub>2</sub>-kosten-effectiviteit maar die kan lokaal sterk afwijken, wat dan in de praktijk tot een andere prioriteitstelling zal leiden.

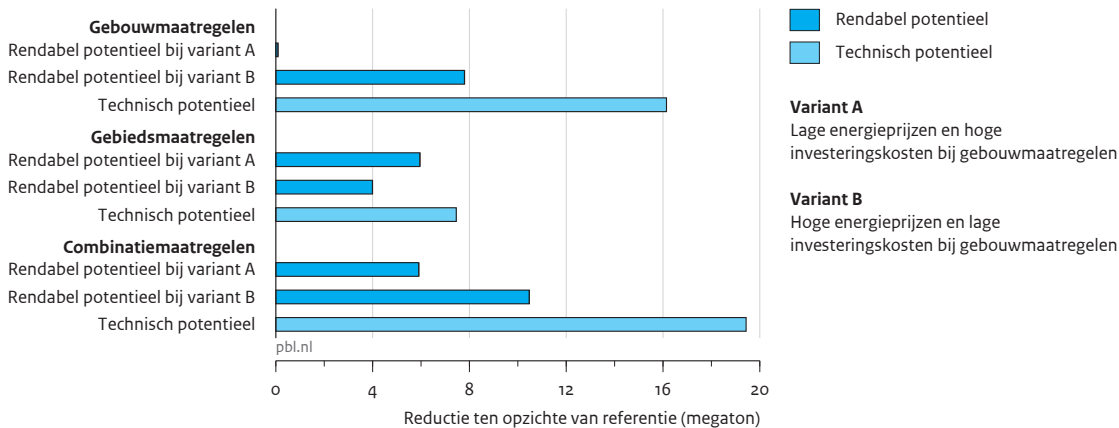
### **Onzekerheid van toekomstige energieprijzen en investeringskosten**

De kosteneffectiviteit van energiemaatregelen wordt in sterke mate bepaald door de investeringskosten en de energieprijzen. In de studie nemen we aan dat de energiemaatregelen worden genomen tussen 2010 en 2050. Het is dan logisch om de kosten en energieprijzen conform de ontwikkeling in deze periode te hanteren.

Vanwege de onzekerheid over de ontwikkeling van energieprijzen en investeringskosten in de periode 2010 tot 2050, zijn twee uiterste varianten beschouwd. In variant A zijn alle energiemaatregelen doorgerekend met de energieprijzen uit het jaar 2010. Daarnaast zijn de kosten van de isolatiemaatregelen gebaseerd op een individuele aanpak voor particulieren. Variant A geeft meestal een ondergrens voor de CO<sub>2</sub>-reductie bij rendabele energiemaatregelen, omdat gerekend wordt met relatief lage energieprijzen en relatief hoge investeringskosten.

In variant B zijn de toekomstige energieprijzen gehanteerd van de meest recente actualisatie van de *Referentieraming energie en emissie* (PBL 2011). De kosten van de isolatiemaatregelen zijn gebaseerd op een projectmatige aanpak. In variant B wordt dus gerekend met relatief hoge energieprijzen en relatief lage investeringskosten. Deze variant geeft daarom meestal een bovengrens voor de CO<sub>2</sub>-reductie bij rendabele energiemaatregelen.

**Figuur 1**  
**CO<sub>2</sub>-reductie, 2050**



Bron: PBL

In werkelijkheid is onbekend hoe de energieprijzen en de investeringskosten zich ontwikkelen. Het kan bijvoorbeeld best zijn dat de energieprijzen in 2050 nog hoger worden dan volgens de Referentieraming. Door voor de hele periode tot 2050 te werken met enerzijds de huidige energieprijzen én hoge investeringskosten; en anderzijds de toekomstige energieprijzen uit de Referentieraming én de lage investeringskosten, wordt de CO<sub>2</sub>-reductie bij rendabele maatregelen gepresenteerd als bandbreedte die hoort bij een energieprijzen- en kostenontwikkeling over de gehele periode 2010-2050.

In variant A is de gasprijs 64 eurocent per kubieke meter voor woningen en kleine utiliteitsbedrijven en 20 cent per kubieke meter voor grote utiliteitsbedrijven. In variant B is de gasprijs 80 cent per kubieke meter voor woningen en kleine utiliteitsbedrijven en 41 cent per kubieke meter voor grote utiliteitsbedrijven. Daarnaast worden de gebiedsmaatregelen bepaald die rendabel zijn bij een verdubbeling van de hoge energieprijzen. Met deze prijsvariant voor alleen de gebiedsmaatregelen wordt het technisch CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van de gebiedsmaatregelen bepaald. Het technisch CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel geeft normaliter aan hoe groot de CO<sub>2</sub>-reductie is als ook de niet-rendabele maatregelen worden genomen, en is gewoonlijk onafhankelijk van de energieprijzen. Dit is het geval bij het technisch CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van de gebouwmaatregelen.

## Resultaten

### Rendabele gebouw- en gebiedsmaatregelen leiden gezamenlijk tot 15 tot 30 procent CO<sub>2</sub>-reductie van de gebouwde omgeving in 2050

Met het nemen van zowel rendabele gebouw- als gebiedsmaatregelen kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2050 met 6 tot 11 megaton CO<sub>2</sub> worden gereduceerd. Dit komt overeen met 15 tot 30 procent van de geraamde CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving in 2050. De combinatie van maatregelen reduceert 3 tot 7 megaton meer, dan het nemen van alleen rendabele gebouwmaatregelen of alleen rendabele gebiedsmaatregelen (zie ook figuur 1).

Het rendabele deel van de gebouwmaatregelen bestaat uit vloer-, gevel- en dakisolatie. Hierbij worden alle gebouwen waarvoor het rendabel is, naar het energieprestatieniveau van label B gebracht. Of de energiebesparing van een woning rendabel is, wordt bepaald door de afname van het gasverbruik en de hoogte van de investeringskosten van de isolatie-maatregelen. Deze hangen samen met het type woning en het bouwjaar. Uit de analyse blijkt dat een kwart van de huidige woningvoorraad rendabel is te isoleren naar label B in variant B (hoge energieprijzen en lage investeringskosten van de isolatiemaatregelen). Het gaat hierbij vooral om rijtjeshuizen gebouwd voor 1960 en meergezinswoningen van voor de Tweede Wereldoorlog. Voor utiliteitsgebouwen, zoals scholen en ziekenhuizen, geldt bij dezelfde energieprijzen en investeringskosten dat de helft van de bestaande gebouwen rendabel is te isoleren naar

label B. Voor bedrijven verschilt de rentabiliteit per sector, omdat de warmtevraag per vierkante meter sectorafhankelijk is. Het gaat hierbij om kantoren, winkels, horecagebouwen, ziekenhuizen, verpleeg- en verzorgingstehuizen. Door de rendabele isolatie wordt in de gebouwde omgeving circa 8 megaton minder CO<sub>2</sub> uitgestoten in 2050; dat is 20 procent van de bij ongewijzigd beleid te verwachten CO<sub>2</sub>-uitstoot. In variant A (lage energieprijzen en hoge investeringskosten) zijn bijna geen woningen en utiliteitsgebouwen rendabel te isoleren naar label B. Isolatie van gebouwen naar bijvoorbeeld label C kan wel rendabel zijn, maar de CO<sub>2</sub>-reductie hiervan is niet onderzocht.

Als er geen bouwmaatregelen worden genomen maar wel gebiedsmaatregelen, dan is de reductie van rendabele maatregelen circa 4 tot 6 megaton (figuur 1). De rendabele gebiedsmaatregelen bestaan uit de benutting van restwarmte, geothermie, warmte-koudeopslag en wijk-WKK. Zij worden toegepast in gebieden met een geconcentreerde warmte- en koudevraag van woningen, utiliteit en glastuinbouw (zie figuur 2). De grootste CO<sub>2</sub>-reductie die financieel rendabel is, wordt echter bereikt met een combinatie van gebouw- en gebiedsmaatregelen en bedraagt 6 tot 11 megaton. Het technisch potentieel van de combinatie van gebouw- en gebiedsmaatregelen is nog groter, namelijk circa 19 megaton CO<sub>2</sub>-reductie. Dit is ruim 50 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving in 2050. Hieraan zijn echter hoge kosten verbonden. De onrendabele bouwmaatregelen kosten 6 tot 11 miljard euro per jaar voor de eigenaren van gebouwen. Daarbovenop komen de kosten van de gebiedsmaatregelen; die worden pas rendabel bij een verdubbeling van de hoge energieprijzen. In het referentiescenario is verondersteld dat er in 2050 1,2 miljoen bestaande woningen zijn gesloopt en vervangen door energiezuinige nieuwbouw. Hierdoor is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van woningen circa 1 tot 2 megaton lager dan wanneer de huidige woningvoorraad zou zijn gehandhaafd. Verder is verondersteld dat de nieuwbouw van woningen, utiliteitsbouw en glastuinbouw voldoet aan de huidige energieprestatie-eisen. Deze energiezuinige nieuwbouw op nieuwe locaties stoot circa 5 megaton uit. Hierbij is er geen (extra) rendabel CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van bouwmaatregelen. Het rendabel potentieel van de gebiedsmaatregelen voor deze nieuwe gebouwen bedraagt circa 0,7 megaton.

#### **Rendabele gebiedsmaatregelen leveren ook bijdrage aan hernieuwbare energie**

Nederland heeft de EU-verplichting om 14 procent van het nationale energiegebruik met hernieuwbare energiebronnen te produceren in 2020. Onder hernieuwbare energiebronnen vallen windenergie,

zonnecellen, waterkracht, biomassa, geothermie, zonneboilers en warmte-koudeopslag.

Rendabele gebiedsmaatregelen leveren 50 tot 54 petajoule (PJ) aan hernieuwbare energie, vooral door warmte-koudeopslag (WKO) en in mindere mate door geothermie. Als er ook rendabele isolatiemaatregelen worden genomen dan is de warmtevraag van huishoudens minder groot. WKO- en geothermieprojecten zijn in dat geval minder rendabel en leveren 42 petajoule aan hernieuwbare energie. De hernieuwbare energie van WKO en geothermie levert daarmee een aandeel van 6 tot 9 procent van de energievraag van de gebouwde omgeving in 2050.

#### **Groot deel van het elektriciteitsverbruik kan door gebouwen zelf worden opgewekt met zonnecellen op daken**

De zonnecel (zon-PV) die elektriciteit produceert kan grootschalig worden geïnstalleerd op daken van woningen en utiliteitsgebouwen. Hierdoor zijn minder kolen- en gascentrales nodig waardoor de uitstoot van CO<sub>2</sub> wordt teruggedrongen. Als alle daken van woningen en utiliteitsbouw met zonnecellen worden bedekt, kan in 2050 de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 22 megaton worden gereduceerd. Die CO<sub>2</sub>-reductie komt overeen met 60 procent van de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving in het referentiescenario. Vooral bij de utiliteitsbouw is het potentieel groot (18 megaton) omdat hier een groot dakoppervlak beschikbaar is. Binnen de utiliteitssector hebben de deelsectoren groothandel, autohandel en -reparatie, en onderwijs het grootste dakoppervlak.

Het is echter de vraag of alle geproduceerde elektriciteit kan worden benut, omdat de elektriciteitsproductie van zonnecellen niet gelijktijdig met de vraag naar elektriciteit in de gebouwde omgeving hoeft plaats te vinden. Daardoor zijn de financiële baten moeilijk in te schatten. Ook de ontwikkeling van de aanschafkosten van zonnecellen in de periode 2010-2050 is onzeker. Een analyse van deze onzekerheden valt buiten het bereik van deze studie. Daarom is afgezien van de bepaling van het rendabele potentieel van de zonnecellen.

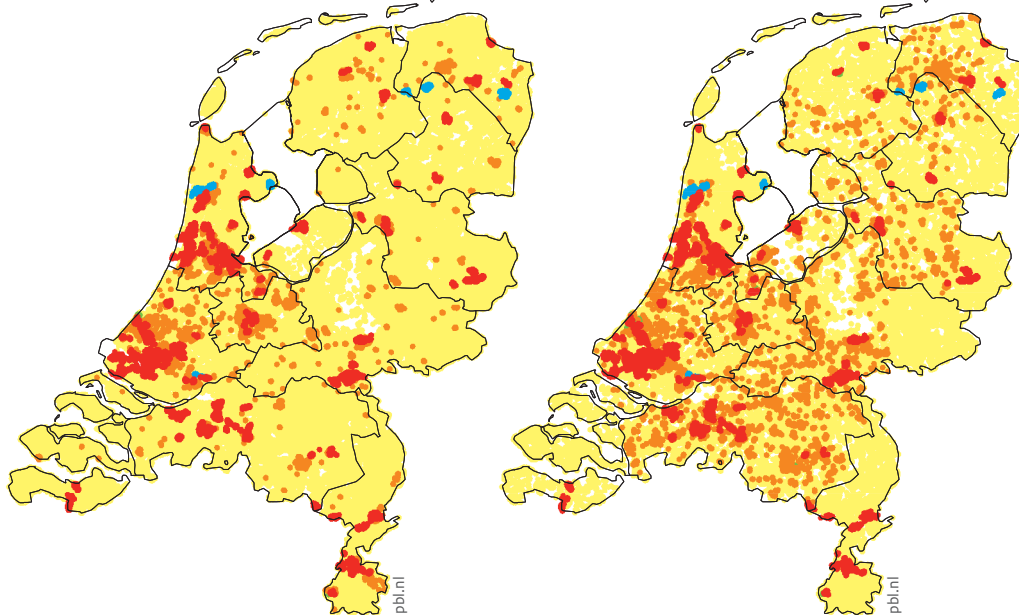
#### **Locatie van nieuwe woonwijken, bedrijventerreinen en elektriciteitscentrales van belang voor rendabele warmtelevering**

Het gebruiken van restwarmte kan alleen winstgevend zijn als de transportafstand tussen de warmtebron en het distributiegebied kort is, en als er in het distributiegebied een grote, geconcentreerde warmtevraag is. Bij de planning van nieuwe woon- en bedrijventerreinen en elektriciteitscentrales is het daarom van belang dat naast andere afwegingen in de ruimtelijke ordening de rentabiliteit van lokale warmtebronnen wordt meegenomen.

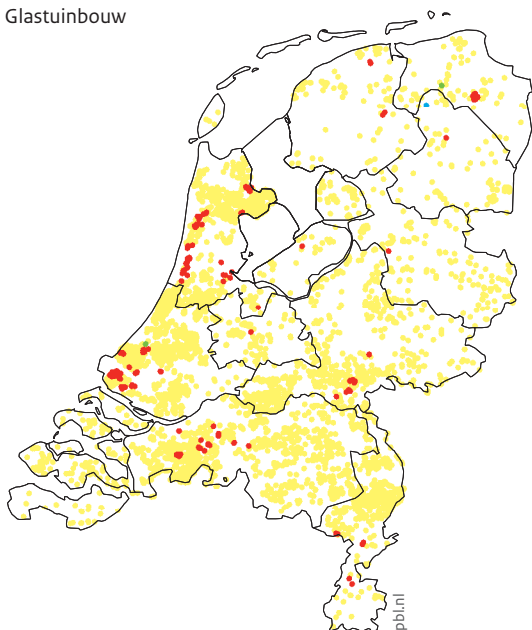
Figuur 2  
Rendabele gebiedsmaatregelen 2050, bij hoge energieprijzen

Wonen

Utiliteit



Glastuinbouw



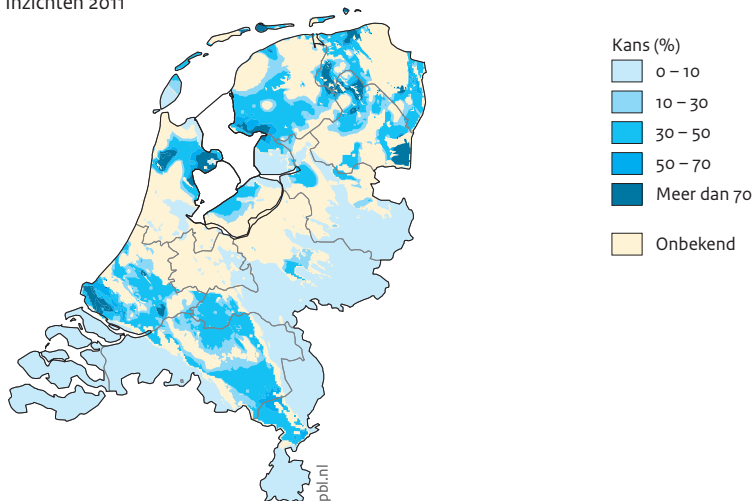
- Restwarmte
- Geothermie
- Warmte-koudeopslag
- Wijk-warmtekrachtkoppeling
- Aardgas

NB: Stippen tonen de locatie en zijn niet representatief voor het oppervlak van de gebiedsmaatregelen.

Bron: PBL

Figuur 3  
Kans aanwezigheid benutbare geothermie

Inzichten 2011



Bron: PBL

De bestaande restwarmtebronnen worden al gebruikt voor de warmtelevering aan gebouwen. Volgens de berekeningen kan door een grotere inzet van restwarmtebronnen rendabel echter drie keer zoveel CO<sub>2</sub> worden gereduceerd (circa 3 megaton) dan op dit moment het geval is. Het is echter onzeker in hoeverre de huidige restwarmtebronnen nog beschikbaar zijn in 2050 en of er nog nieuwe locaties bijkomen in de toekomst. In *Naar een schone economie in 2050* (PBL 2011) wordt een toekomstbeeld geschetst waarbij de Nederlandse broeikasgasemissie in 2050 met 80 tot 95 procent verminderen. Daarbij zijn diverse restwarmtebronnen van elektriciteitscentrales met biomassa en CO<sub>2</sub>-opslag, kernenergiecentrales, biomassa raffinerijen en industriële bedrijven beschikbaar. In de huidige studie is echter niet onderzocht of die hoeveelheid restwarmte en de locatie van de restwarmtebronnen overeenkomen met de bestaande restwarmtebronnen.

#### Meer kennis over de ondergrond noodzakelijk om geothermie te benutten

De warmtebronnen van aardwarmte of 'geothermie' die geschikt zijn voor warmtelevering aan de gebouwde omgeving, bevinden zich diep onder de grond (circa 1 tot 3 kilometer). Weliswaar is bekend dat deze warmtebronnen er zijn, maar de exacte locatie is veelal onbekend. Het boren naar geothermie is daarom vaak een groot financieel risico.

TNO heeft voor heel Nederland in kaart gebracht wat de kans is op een succesvolle boring naar een geothermiebron (zie figuur 3). Deze kanskaarten van TNO geven een eerste indicatie, maar meer kennis en lokaal

onderzoek kunnen de kans op een succesvolle boring vergroten. Een grotere kans op een geslaagde boring leidt tot minder financieel risico en daarmee tot lagere kosten en grotere benutbaarheid van geothermie.

Met behulp van de TNO-kanskaarten hebben we het CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel geschat van warmtelevering door geothermie. In figuur 4 zijn de locaties aangegeven waar geothermie rendabel kan worden benut indien een geothermiebron daadwerkelijk aanwezig zou zijn. De verwachtingswaarde van het rendabele CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van geothermie is 0,5 tot 6 megaton oftewel 1 tot 15 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving in 2050. Meer kennis over de ondergrond kan deze bandbreedte verkleinen en de slaagkans op een succesvolle boring vergroten.

#### Rendabele warmtelevering met wijk-WKK neemt af bij geraamde energieprijzen

Voor de warmtelevering aan gebouwen kan wijk-WKK bij de huidige energieprijzen rendabel zijn én een belangrijke bijdrage leveren aan het verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot (2,5 megaton). Bij de geraamde energieprijzen voor 2050 is wijk-WKK minder winstgevend, doordat de brandstofprijzen ervan sterker stijgt dan de opbrengsten. Tot 0,3 megaton CO<sub>2</sub>-reductie is wijk-WKK dan nog rendabel; bij meer reductie treedt er verlies op.

#### Restwarmte, geothermie en wijk-WKK zijn elkaars concurrenten maar kunnen elkaar ook versterken

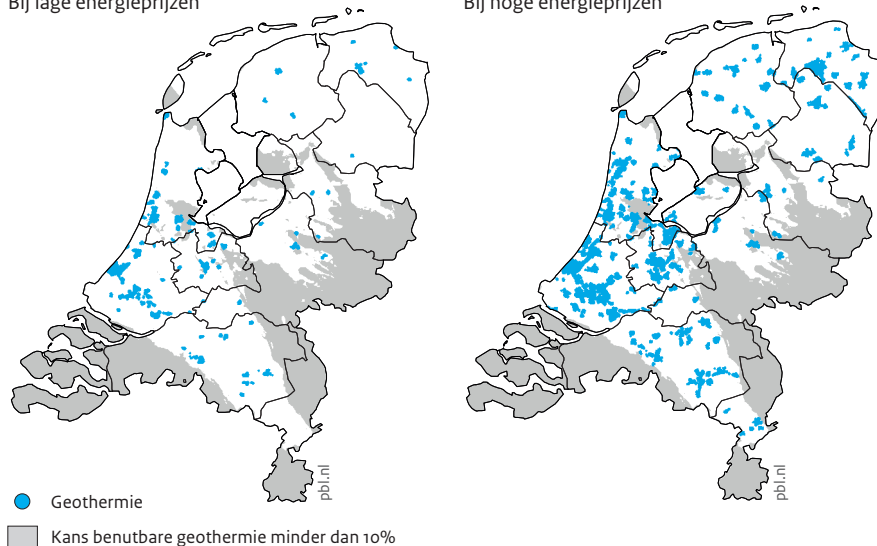
Restwarmte, geothermie en wijk-WKK beconcurreren elkaar daar waar een grote, geconcentreerde warmtevraag is. Toch kunnen ze elkaar versterken, omdat



**Figuur 4**  
**Rendabele geothermie**

Bij lage energieprijzen

Bij hoge energieprijzen



Aanname: Geothermie overall benutbaar, met uitzondering van 0 – 10% kanscontour

Bron: PBL

bij het wegvallen van de ene warmtebron een andere bron de warmtelevering kan overnemen. Het zou dan ook kunnen lonen om te investeren in warmtenetten, die ook op de lange termijn de energie van de verschillende warmtebronnen kunnen distribueren.

#### Ook beleidskansen bij beperkte deelname van sectoren

Wanneer eigenaren van gebouwen moeten kiezen wel of geen energiemaatregelen te nemen, spelen niet alleen de rentabiliteit van die maatregelen, maar ook andere, niet-financiële barrières een rol. In onze analyse zijn we nagegaan wat er gebeurt als sommige eigenaren niet meedoen met de implementatie van maatregelen die op zich wel rendabel zijn en welk effect dat heeft op het CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel

Voor de bestaande woningen zijn de volgende eigenaren onderscheiden:

- Bij koopwoningen doen alleen eigenaren-bewoners met een inkomen boven een bepaald niveau mee met de gebouwmaatregelen. De argumentatie is dat eigenaren-bewoners met een lager inkomen de benodigde investeringen niet kunnen financieren.
- Aan de gebiedsmaatregelen doet geen van de koopwoningen mee omdat eigenaren-bewoners een diverse en moeilijk benaderbare groep zijn voor de warmteleveranciers.
- Dit probleem doet zich juist niet voor bij het grootste deel van de verhuurders zoals huurcorporaties. De

huurwoningen doen daarom wel mee met de gebiedsmaatregelen.

- Bij eigenaren van de huurwoningen doen rijtjeshuizen en flats, beide uit de periode 1940-1990, ook mee met de gebouwmaatregelen omdat deze zich goed lenen voor een grootschalige en uniforme aanpak. De overige huurwoningen doen niet mee met de gebouwmaatregelen.

Bij de bestaande utiliteitsgebouwen veronderstellen we dat alle gebouwen uit de sectoren zorg en onderwijs meedoen, en van de andere sectoren alleen de bedrijven met meer dan honderd werknemers. De argumentatie is dat binnen deze sectoren en bedrijven waarschijnlijk meer aandacht bestaat voor energiegebruik en besparingsmogelijkheden, dan bij de overige sectoren (zoals kleinere kantoren, winkels en horeca). Het deelnamecriterium geldt voor zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen. In de praktijk zal het waarschijnlijk niet voorkomen dat de ene sector wel volledig meedoet en de andere niet; de deelname is afhankelijk van het ambitieniveau van de afzonderlijke bedrijven en organisaties binnen een sector.

Bij nieuwbouw van gebouwen is verondersteld dat wel wordt meegedaan met de maatregelen, omdat bij nieuwbouw de financiering eenvoudiger is te regelen en niet-economische belemmeringen minder belangrijk zijn dan bij bestaande gebouwen.

De glastuinbouw is niet geselecteerd omdat veel



Tabel 1

**Overzicht veronderstelde deelname van sectoren**

			Geboumaatregelen	Gebiedsmaatregelen
Woningen	Koop	Hoge inkomens	X	-
	Koop	Lage inkomens	-	-
	Huur	Flats en rijwoningen 1940-1990	X	X
	Huur	Overig	-	X
	Nieuwbouw <sup>a</sup>	Nieuwe locaties	X	X
Utiliteit	Grote bedrijven, zorg en onderwijs		X	X
	Overig		-	-
	Nieuwbouw op nieuwe locaties		X	X

<sup>a</sup> Nieuwbouw die de bestaande bouw vervangt, is meegenomen bij de andere categorieën.

glastuinders naast warmte ook CO<sub>2</sub>-bemesting toepassen en elektriciteit voor belichting van gewassen nodig hebben, en daarom de voorkeur geven aan individuele WKK die meer CO<sub>2</sub> uitstoten dan de gebiedsmaatregelen.

Als alleen de eigenaren met 'de minste weerstand' meedoen (zie tabel 1) aan isolatie en duurzamere warmtelevering, dan kan nog ruim de helft van de CO<sub>2</sub>-reductie van alle rendabele maatregelen worden gerealiseerd.

#### Lokaal kunnen geboumaatregelen een groot effect hebben op gebiedsmaatregelen

Op lokaal niveau kunnen rendabele geboumaatregelen een groot en verschillend effect hebben op de rentabiliteit van gebiedsmaatregelen. Wanneer er geboumaatregelen zijn genomen, zoals isolatie, neemt de warmtevraag in die gebouwen af. De vermindering van die warmtevraag kan de volgende effecten hebben op de warmtelevering van onder andere restwarmte:

- Er wordt aan minder gebieden restwarmte geleverd, omdat de warmtelevering in sommige gebieden onrendabel wordt.
- Er wordt aan andere gebieden restwarmte geleverd. Omdat in sommige gebieden geen of minder restwarmte wordt geleverd, is er restwarmte over die ook aan andere gebieden rendabel kan worden geleverd. Daardoor verandert de rangorde van de gebieden waar restwarmte financieel het meest oplevert. En gevolg daarvan is dat de restwarmte in andere gebieden wordt ingezet, waar ze meer winst oplevert.

Deze effecten worden hieronder toegelicht. Aan de hand van de regio Amsterdam en Haarlem laten we eerst zien dat er een groot rendabel potentieel is van restwarmtelevering bij zowel lage energieprijzen (figuur 5a) als hoge energieprijzen (figuur 5b). Vervolgens is te zien dat het rendabele potentieel van warmtelevering bij

hoge energieprijzen (figuur 5b) verandert als ook rendabele geboumaatregelen worden genomen (figuur 5c) en als sectoren slechts beperkt deelnemen aan gebou- en gebiedsmaatregelen (figuur 5d).

Bij lage energieprijzen worden veel gebieden in Amsterdam en omgeving (Haarlem, Wormerveer, Velsen, Purmerend en Zaandam) rendabel voorzien van restwarmte (figuur 5a). In Amsterdam kan de volledige capaciteit van de aanwezige restwarmtebronnen rendabel worden ingezet. Bij hoge energieprijzen verandert er niet veel aan het beeld voor restwarmtelevering (figuur 5b). Wel komen er sommige gebieden bij, wat ten koste gaat van andere gebieden omdat de volgorde van de meest rendabele gebieden verandert. Bij de hoge energieprijzen zijn er bijna geen gebieden met wijk-WKK, omdat de brandstofprijzen van wijk-WKK sterker stijgt dan de opbrengsten.

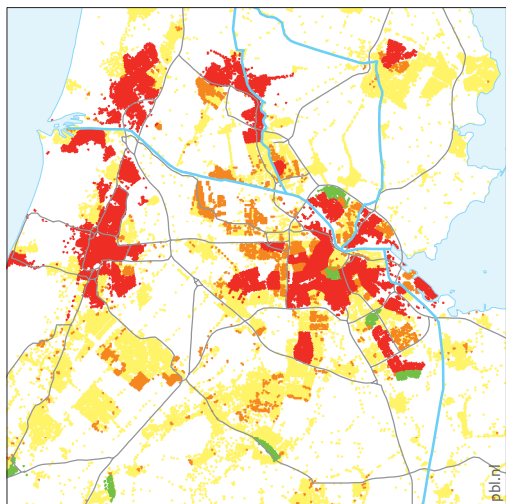
Als er rendabele isolatiemaatregelen worden genomen, vermindert de vraag naar warmte en is het gebruik van restwarmte niet meer rendabel in de omgeving van Haarlem en Wormerveer (figuur 5c). In Amsterdam kan alle restwarmte echter ook dan nog wél steeds rendabel worden ingezet. Door de energiebesparing in gebouwen verandert ook de rangorde van de gebieden waar restwarmte het meeste geld oplevert. Daardoor worden andere gebieden rendabel van restwarmte voorzien (figuur 5c).

Bij een beperkte deelname van eigenaren verandert het beeld van warmtelevering opnieuw (figuur 5d). Doordat sommige eigenaren niet deelnemen aan de warmtelevering en andere eigenaren wel warmte afnemen maar geen isolatiemaatregelen treffen, is er netto sprake van minder afname van warmtelevering. In Haarlem en omgeving verdwijnt hierdoor het grootste gedeelte van de gebieden met restwarmtelevering (figuur 5d). In Amsterdam kan nog steeds alle restwarmte rendabel worden ingezet. Omdat de vraag naar warmtelevering afneemt en dit per gebied verschilt, verandert de rangorde van rentabiliteit voor restwarmte

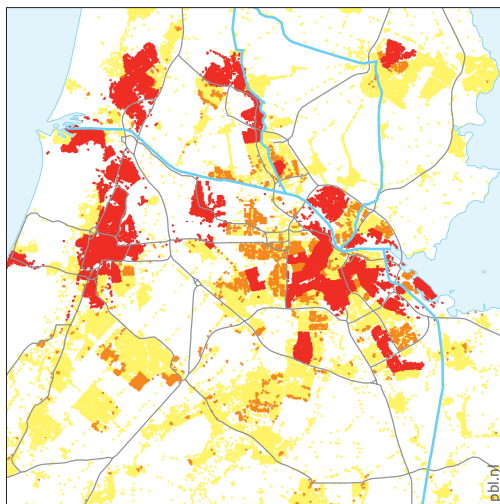
Figuur 5

**Rendabele gebiedsmaatregelen Amsterdam en Haarlem, 2050**

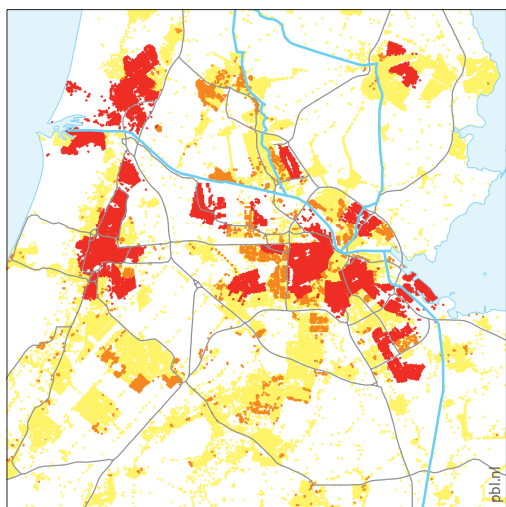
a. Bij lage energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen en volledige deelname van sectoren



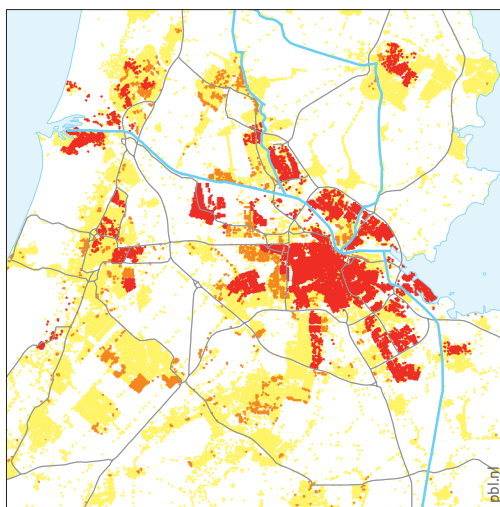
b. Bij hoge energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen en volledige deelname van sectoren



c. Bij hoge energieprijzen, met rendabele gebouwmaatregelen met lage investeringskosten en volledige deelname van sectoren



d. Bij hoge energieprijzen, met rendabele gebouwmaatregelen met lage investeringskosten en beperkte deelname van sectoren



- Restwarmte
- Warmte-koudeopslag
- Wijk-warmtekrachtkoppeling
- Aardgas

0 4 8 km



Bron: PBL

van de gebieden. We zien daardoor dat bij de beperkte deelname restwarmte op meer en andere locaties in Amsterdam wordt ingezet (figuur 5d) dan bij volledige deelname (figuur 5c).

## Implicaties voor het beleid

De studie laat zien dat met financieel rendabele maatregelen een CO<sub>2</sub>-reductie van 20 tot 30 procent kan worden bereikt in de gebouwde omgeving in 2050. Om dit te bereiken, kan het nationale klimaat- en energiebeleid het beste inzetten op zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen. Voorbeelden hiervan zijn het energielabel van bestaande gebouwen en de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) waaraan nieuwe gebouwen moeten voldoen. Tot nu toe zijn deze voornamelijk gericht op het verbeteren van de energieprestatie van gebouwen met gebouw-maatregelen. Indien ook gebiedsmaatregelen zouden mogen meetellen kan een hogere CO<sub>2</sub>-reductie worden bereikt en kunnen de kosten lager zijn. Dit geldt ook als de gebiedsmaatregelen zouden mogen meetellen in de energiebesparingsconvenanten tussen de overheid en de energiebedrijven en de industrie. Een ander voorbeeld is de ruimtelijke ordening. Omdat de kosten van de gebiedsmaatregelen sterk afhangen van de transportafstand van de warmte en koude is het van belang dat gebouwen en warmtebronnen dicht bij elkaar liggen. Bij nieuwbouw van gebouwen, elektriciteitscentrales en industrie kan via de ruimtelijke ordening hier (meer) rekening mee worden gehouden.

Op lokaal niveau zijn op basis van deze studie geen eenduidige aanbevelingen te geven, omdat lokale omstandigheden bepalen welke maatregelen fysiek mogelijk en rendabel zijn. Het PBL is van plan om op lokaal niveau de omstandigheden en mogelijkheden voor energemaatregelen met behulp van het Vesta-model verder te onderzoeken. Daarbij zal ook worden onderzocht wat de mogelijkheden zijn voor verbeteringen van het klimaat- en energiebeleid en de rol van het Rijk en de lagere overheden.



VERDIEPING

VERDIEPING

# Inleiding

De Europese Commissie heeft in 2011 de ambitie geformuleerd om de uitstoot van broeikasgassen in 2050 met 80 tot 95 procent te verminderen ten opzichte van 1990. Het kabinet-Rutte geeft in de *Klimaatbrief 2050* (I&M 2011a) invulling aan deze ambitie door te schetsen hoe Nederland de omslag naar een klimaatneutrale economie kan maken. Voor de gebouwde omgeving vergt dit een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van ongeveer 80 procent ten opzichte van 1990 (PBL & ECN 2011).

De ambitie van de Europese Commissie voor 2050 is nog niet vertaald in bindende doelstellingen. Door de Europese wetgeving gelden er wel voor 2020 bindende doelstellingen voor de lidstaten van de Europese Unie. Zo moet Nederland in 2020 de broeikasgasemissies van de sectoren die niet onder het Europese emissiehandelsstelsel (ETS) vallen<sup>1</sup> met 16 procent hebben verminderd ten opzichte van 2005, en tevens een aandeel van 14 procent hernieuwbare energie (energie afkomstig van zonnestraling, windkracht, de warmte van de aarde, de stroming van rivieren en de getijden van de zee) hebben gerealiseerd. De gebouwde omgeving zal een substantiële bijdrage moeten leveren aan de uitvoering van deze doelen.

Tot voor kort lag de focus van het klimaatbeleid voor de gebouwde omgeving vooral op zogenoemde gebouwmaatregelen: isolatie van vloer-, gevel- en dakoppervlak, efficiëntere installaties voor ruimteverwarming, zuiniger elektrische apparaten en verlichting, en zonneboilers en -panelen (photovoltaïsch, PV). Daarnaast is er de laatste jaren vanuit het beleid steeds meer aandacht voor de mogelijkheid om huizen,

kantoren en tuinbouwkassen te verwarmen en/of te koelen met rest- of aftapwarmte<sup>2</sup>, geothermie of warmte-koudeopslag (WKO). In dit rapport duiden we deze maatregelen aan als gebiedsmaatregelen. Zo heeft het kabinet-Balkenende IV in 2008 het werkprogramma 'Warmte op stoom' uitgebracht, een programma dat is gericht op de verduurzaming van de warmte- en koudevoorziening. Daarnaast is er inmiddels een Nationaal Expertisecentrum Warmte, een Taskforce WKO en een Platform Geothermie.

Een relevante vraag is welke route – gebouwmaatregelen, gebiedsmaatregelen of een combinatie van beide – het meest (kosten)effectief is om in 2050 in de gebouwde omgeving een forse emissiereductie te realiseren. Om een beter inzicht te krijgen in het effect van lokale energiemaatregelen op de nationale emissiereductie en de wisselwerking tussen de maatregelen is een nieuw energiemodel ontwikkeld: Vesta. Dit is een geografisch energiemodel van de gebouwde omgeving waarin rekening wordt gehouden met lokale omstandigheden die van belang zijn voor energiebesparing en warmtelevering. Naast de gebouwde omgeving wordt hierbij ook de glastuinbouw doorgerekend, omdat de gebiedsmaatregelen warmte leveren die ook in de glastuinbouw kan worden ingezet. De industrie wordt niet meegenomen in het Vesta-model, omdat het gebruik van warmte in de industrie een hogere temperatuur vereist en daarmee niet concurreert met de inzet in de gebouwde omgeving.

Twee andere belangrijke maatregelen voor de gebouwde omgeving zijn de inzet van schoon gas en schone elektriciteit. Deze maatregelen zijn niet meegenomen in de voorliggende studie, maar zijn wel aanvullend nodig als blijkt dat de gebouw- en gebiedsmaatregelen tekortschieten om het CO<sub>2</sub>-reductiedoel in de gebouwde omgeving in 2050 te realiseren.

## 1.1 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 werken we bovenstaande vraag verder uit in enkele deelvragen. We onderzoeken die met het Vesta-model aan de hand van drie mogelijke routes naar een CO<sub>2</sub>-arme gebouwde omgeving in 2050. In hoofdstuk 3 gaan we kort in op de functie en werking van het model, en op de gebruikte scenario-uitgangspunten. In hoofdstuk 4 beschrijven we de warmtetechnologieën die in het model centraal staan: restwarmte, geothermie en warmte-koudeopslag. Hoofdstuk 5 biedt een overzicht van informatie uit de literatuur over economische randvoorwaarden (minimale schaalgrootte, type bebouwing en locatie van de bebouwing) en over toekomstige besparingspotentiëlen van gebiedsmaatregelen. Het doel hiervan is om te kunnen bepalen in hoeverre de modeluitkomsten van het totale technische en economische potentieel van gebiedsmaatregelen valide zijn. In hoofdstuk 6 schetsen we het rendabele en technische potentieel van gebouwmaatregelen zoals dat uit andere studies naar voren komt. In hoofdstuk 7 bespreken we de mogelijke belemmeringen voor implementatie van rendabele maatregelen in de praktijk.

De uitkomsten van de modelberekeningen van de drie routes – zoals beschreven in hoofdstuk 2 – worden gepresenteerd in hoofdstuk 8. In de laatste paragraaf van dat hoofdstuk confronteren we de uitkomsten van de modelberekeningen en het literatuuronderzoek met elkaar.

Bijlage 1 bevat een overzicht van belemmeringen voor de implementatie van rendabele CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen per sector. In bijlage 2 beschrijven we de huidige beleidsdoelen voor het energiegebruik van de gebouwde omgeving en glastuinbouw, alsmede de stimuleringsmaatregelen en wetgeving in het kader van energiebesparing.

## Noten

- 1 Bij de niet-ETS-sectoren gaat het vooral om de gebouwde omgeving, verkeer, landbouw en kleine industriële bedrijven.
- 2 Restwarmte is warmte die in de afvalverwerkingsindustrie (AVI), bij een industrieel bedrijf of elektriciteitsproducent vrijkomt en die normaliter wordt geloosd omdat ze voor de betreffende partij geen waarde meer heeft. Aftapwarmte is warmte die wordt (bij)geproduceerd in bijvoorbeeld een elektriciteitscentrale, waarbij bewust de keuze wordt gemaakt om ten gunste van de warmtelevering minder elektriciteit te produceren (Agentschap NI 2010c). Uit het oogpunt van leesbaarheid spreken we verder alleen van restwarmte.

# Uitgevoerde analyses met het Vesta-model

## 2.1 Onderzoeksvragen

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1, is met het Vesta-model nagegaan welke route – gebouwmaatregelen, gebiedsmaatregelen of een combinatie van beide typen maatregelen – het meest (kosten)effectief is om in 2050 in de gebouwde omgeving en glastuinbouw een forse emissiereductie te realiseren. De glastuinbouw is meegenomen in de analyse, omdat de benodigde warmte in de glastuinbouw vergelijkbaar is met die in woningen en utiliteitsgebouwen. De warmtelevering van de gebiedsmaatregelen aan de glastuinbouw is daarom ook geschikt voor woningen en utiliteitsgebouwen. Bij de verkenning van de drie routes hebben telkens de volgende vragen centraal gestaan:

- Hoe groot is de bijdrage van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw aan de realisatie van het klimaatdoel voor 2050?
- Welk deel hiervan is te realiseren met rendabele maatregelen?
- Wat is het effect van maatregelen als slechts een beperkte groep van eigenaren van woningen en gebouwen meedoet?

## 2.2 Verkende routes

Voor de warmte- en koudevraag van gebouwen zijn de volgende routes verkend:

- Een route waarin alleen gebouwmaatregelen (energiebesparing, warmtepompen en zonneboilers) worden ingezet.
- Een route waarin alleen gebiedsmaatregelen (restwarmte, geothermie en/of zogenoemde open warmte-koudeopslag (WKO)) worden ingezet.
- Een route waarin eerst gebouwmaatregelen en vervolgens gebiedsmaatregelen worden ingezet.

Voor de elektriciteitsvraag van gebouwen is de analyse beperkt tot een verkenning van de inzet van zonnecellen (PV). Deze technologie heeft een duidelijke ruimtelijke dimensie die met het Vesta-model kan worden geanalyseerd, namelijk het dak- en geveloppervlak van gebouwen. Andere technologieën die relevant zijn voor de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag en het -aanbod, zoals de energiezuinigheid van apparaten en verlichting en de gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissiefactor van centrale elektriciteitsopwekking, vallen buiten de reikwijdte van het Vesta-model en deze studie.

Voor elke route zijn twee varianten geanalyseerd:

1. In de eerste variant wordt het technisch-economisch potentieel van *alle* sectoren volledig gerealiseerd. Dat wil zeggen dat de rendabele maatregelen – voor zover deze binnen de gekozen route passen – binnen zowel de woningbouw als de utiliteitsbouw en de glastuinbouw volledig worden gerealiseerd. Er is in dit geval geen rekening gehouden met het feit dat in de praktijk – als gevolg van niet-economische



### Verschillende ambitieniveaus binnen sectoren

Het geheel 'aan- of uitzetten' van sectoren is uiteraard een versimpeling van de werkelijkheid, omdat hiermee geen recht wordt gedaan aan het feit dat er binnen sectoren in het algemeen een verschillend ambitieniveau is als het gaat om energiebesparing en het gebruiken van hernieuwbare energie. Ter illustratie: in Nyenrode (2008) worden vier categorieën consumenten onderscheiden, waarbij de onderzoekers veronderstellen dat de categorisering ook van toepassing is op eigenaren-bewoners:

- de 'groenen': een zeer kleine groep (circa 5 procent) voor wie milieu de doorslag geeft bij aankopen;
- de 'cultural creatives': een groep (circa 30 procent) die bereid is meer te betalen voor duurzaamheid, omdat ze duurzaamheid als kwaliteit beschouwen. Voorwaarde hierbij is echter wel dat niet op andere kwaliteiten mag worden ingeleverd;
- de 'gewone mensen': de grootste groep (circa 45 procent), bestaande uit mensen die wel bereid zijn om milieuvriendelijke producten te kopen zolang die maar niets extra's kosten, en zolang de kwaliteit vergelijkbaar is met (goedkope) andere producten. Deze groep is het meest gevoelig voor financieel voordeel;
- de 'hedonisten': een groep (circa 20 procent) die in milieubelang absoluut geen argument ziet om iets te kopen.

Of deze percentages representatief zijn voor de andere sectoren, zoals verhuurders en sectoren in de utiliteitsbouw, is niet bekend. Voor de aanbodkant (aannemers en installateurs) geldt dat het merendeel weinig is gericht op het toepassen van nieuwe (duurzame) technieken, en dat de meesten voornamelijk technieken gebruiken die zij gewend zijn (Nyenrode 2008). Dit 'behoudende deel' houdt zich ook als gevolg van een zeer beperkte vraag vanuit hun klanten nog nauwelijks met het onderwerp energiebesparing bezig, tenzij de regelgeving hen daartoe dwingt. Onder aannemers en installateurs bevindt zich overigens ook een (kleine) groep koplopers.

- belemmeringen – niet alle rendabele maatregelen worden geïmplementeerd.
2. In de tweede variant wordt alleen het technisch-economisch potentieel van een *selectie* van sectoren uit de gebouwde omgeving gerealiseerd. De niet-geselecteerde sectoren dragen dan niet bij aan het potentieel.<sup>2</sup> De selectie heeft plaatsgevonden op basis van een analyse (zie hoofdstuk 6) van belemmeringen die ertoe kunnen leiden dat maatregelen die op zich rendabel zijn, in de praktijk toch niet worden geïmplementeerd. Uit die analyse blijkt dat dergelijke niet-economische belemmeringen voor bepaalde sectoren binnen de gebouwde omgeving minder sterk spelen dan voor andere. Het geheel 'aan- of uitzetten' van sectoren is uiteraard een versimpeling van de werkelijkheid; zie ook het tekstkader 'Verschillende ambitieniveaus binnen sectoren'.

De geselecteerde sectoren zijn:

- *Binnen de koopsector van de woningbouw*: alleen eigenaren-bewoners met een inkomen boven een bepaald niveau. De argumentatie is dat eigenaren-bewoners met een lager inkomen de benodigde investeringen niet kunnen financieren. Dit selectiecriteria geldt alleen voor bouwmaatregelen, omdat gebiedsmaatregelen doorgaans niet door woningeigenaren hoeven te worden gefinancierd.
- *Binnen de huursector van de woningbouw*: alleen woningen die in de jaren veertig tot en met negentig van de

vorige eeuw zijn gebouwd. De argumentatie is dat het daarbij meestal gaat om rijtjeshuizen en flats waarvoor een gestandaardiseerde – en veelal dus goedkope – aanpak kan worden gevolgd. Bovendien gold er in de genoemde periode nog geen energieprestatienorm, waardoor het veelal geen energiezuinige woningen zijn. Dit selectiecriteria geldt voor zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen.

- *Binnen de utiliteitsbouw*: alleen ziekenhuizen, zorginstellingen, hbo-instellingen en universiteiten en daarbuiten alleen bedrijven met meer dan 100 werknemers. De argumentatie is dat er binnen deze bedrijven waarschijnlijk meer aandacht voor energiegebruik en besparingmogelijkheden is dan bij de niet-geselecteerde bedrijven (zoals kleinere kantoren, winkels en horeca). Dit selectiecriteria geldt voor zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen.

De glastuinbouw is niet meegenomen in de selectie, maar dit is vooral om praktische redenen gedaan. In principe kunnen glastuinbouwbedrijven met onbelichte teelt gebruik maken van restwarmte, geothermie of WKO. Voor bedrijven met belichte teelt (en dus een grote elektriciteitsvraag) geldt dat warmtelevering via de inkoop van elektriciteit niet of nauwelijks kan concurreren met warmtekrachtkoppeling (WKK). Omdat in het Vesta-model geen onderscheid kan worden gemaakt tussen bedrijven met en zonder belichte teelt, is besloten de glastuinbouw in de tweede variant geheel buiten beschouwing te laten.

## 2.3 Gevoeligheidsanalyse

Voor elk van de routes/varianten is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de invloed te bepalen van de hoogte van de energieprijzen en de investeringskosten voor gebouwmaatregelen. Voor de energieprijzen is uitgegaan van een bandbreedte waarin de energieprijzen uit 2010 als ondergrens zijn gebruikt en de geraamde energieprijzen van de meest recente actualisatie van de *Referentieraming energie en emissies* (PBL 2012) als bovengrens. Voor de investeringskosten van gebouwmaatregelen is als ondergrens uitgegaan van investeringskosten bij een projectmatige aanpak (meerdere gebouwen tegelijk), en als bovengrens een individuele aanpak van een gebouw (waarbij de kosten hoger zijn door het ontbreken van schaalvoordelen). Hogere energieprijzen (door hogere marktprijzen, een hogere energiebelasting of een eventuele toekomstige CO<sub>2</sub>-heffing voor de niet-ETS-sectoren) zullen op verschillende manieren invloed hebben op de rentabiliteit van warmteprojecten. Enerzijds zullen ze leiden tot meer energiebesparing (waardoor de warmtevraag kleiner wordt), anderzijds kunnen volgens het 'Niet Meer Dan Anders'-principe (zie bijlage 2) hogere tarieven worden gevraagd voor de geleverde warmte. Hogere marktprijzen voor energie leiden tot hogere inkooprijzen voor restwarmte, aardwarmte en WKO. Hogere investeringskosten voor gebouwmaatregelen leiden tot hogere kosten en leiden ertoe dat het langer duurt of dat het niet lukt om de investering terug te verdienen door vermeden energiegebruik.

De hoogte van energieprijzen en van investeringskosten beïnvloeden dus beide de rentabiliteit van maatregelen. Lage energieprijzen en hoge investeringskosten van gebouwmaatregelen (variant A) leiden tot de situatie waarin investeringen het minst snel kunnen worden terugverdiend. Echter, in de situatie waarin projectmatige kosten van de gebouwmaatregelen zijn gecombineerd met hoge energieprijzen (variant B), zullen investeringen het hoogste rendement opleveren. De varianten A en B van combinaties van energieprijzen en investeringskosten zijn in Vesta gebruikt om de bandbreedte van rendabele maatregelen te verkennen. Er is niet gekeken naar variantie in kosten bij gebiedsmaatregelen. Hiervoor in de plaats is wel een variant doorgerekend waarin de energieprijzen van 2050 zijn verdubbeld. De rendabele maatregelen die bij de verdubbeling van de energieprijzen worden berekend, zijn praktisch gezien te beschouwen als een bovengrens van realiseerbaar potentieel van de gebiedsmaatregelen. Zij worden gepresenteerd als technisch potentieel van de gebiedsmaatregelen.

### Noten

- 1 Open WKO wordt hier als een gebiedsmaatregel beschouwd, omdat er doorgaans meerdere woningeenheden op worden aangesloten (zie paragraaf 4.4).
- 2 Bij gebouwmaatregelen heeft het wegvallen van de niet-geselecteerde sectoren geen invloed op het potentieel van de sectoren die wel zijn geselecteerd. Bij gebiedsmaatregelen is dit wel het geval: projecten die rendabel zouden zijn als in een gebied alle gebouwen (dat wil zeggen van alle sectoren) zouden deelnemen, kunnen onrendabel worden door het wegvallen van gebouwen uit de niet-geselecteerde sectoren.



# Beknopte beschrijving van de werking van het Vesta-model

## 3.1 Typering van het Vesta-model

Het PBL heeft samen met CE Delft het Vesta-model ontwikkeld om voor Nederland mogelijke routes te verkennen naar een CO<sub>2</sub>-arme gebouwde omgeving en glastuinbouw in 2050 (CE 2011; PBL 2012). Met het model kan worden nagegaan welke mix en volgorde van gebouw- en gebiedsmaatregelen het meest kosteneffectief is. Het Vesta-model is een beslissingsondersteunend ruimtelijk model voor beleidsmakers. Het is geen optimalisatiemodel dat 'automatisch' de meest kosteneffectieve route naar een CO<sub>2</sub>-arme gebouwde omgeving berekent. Ook is het geen simulatiemodel waarmee een meest waarschijnlijke toekomst kan worden bepaald.

De manier waarop Vesta omgaat met respectievelijk gebieds- en gebouwmaatregelen wordt hieronder toegelicht.

### 3.1.1 Gebiedsmaatregelen

Het model bepaalt het potentieel van gebiedsmaatregelen (restwarmte, geothermie en warmte-koudeopslag (WKO)) op basis van rentabiliteitsberekeningen vanuit het oogpunt van de warmteleverancier. Een warmteproject wordt door het model alleen 'geïmplementeerd' als dit rendabeler is dan verwarmen met aardgas. De kosten worden berekend op basis van kostengegevens van de warmtebron, het warmtenet en de warmteaansluiting van het gebouw. De modelgebruiker kan daarbij bepalen welk type warmte – restwarmte, geothermie of WKO – voorrang krijgt.

Omdat warmteprojecten alleen kansrijk zijn als de afstand tussen warmteaanbod en warmtevraag beperkt is, bevat het model een ruimtelijke verdeling van potentiële warmtebronnen en -afnemers. Voor de aanbodkant is vastgelegd waar zich in Nederland bedrijven bevinden die restwarmte kunnen leveren, en waar de ondergrond geschikt is voor geothermie en WKO. Voor de vraagkant is vastgelegd waar woningen, utiliteitsgebouwen en glastuinbedrijven gelokaliseerd zijn, maar ook waar in Nederland nieuwbouw en grootschalige renovatie zal plaatsvinden. Het onderscheid tussen bestaande bouw enerzijds en nieuwbouw en grootschalige renovatie anderzijds is relevant omdat de investeringskosten voor gebiedsmaatregelen in het laatste geval aanzienlijk lager zullen zijn dan in het eerste geval. Paragraaf 6 geeft een nadere beschrijving van de manier waarop de economische haalbaarheid van nieuwe warmteprojecten door het model wordt bepaald.

### 3.1.2 Gebouwmaatregelen

Anders dan bij gebiedsmaatregelen is de mate waarin in het model energiebesparing en gebouwgebonden energieproductie' plaatsvindt, *niet* gebaseerd op rentabiliteitsberekeningen, maar grotendeels een keuze van de modelgebruiker. Hij/zij kan kiezen voor een maximale inzet van energiebesparingsmaatregelen<sup>2</sup>, maar kan er ook voor kiezen dat er in de bestaande bouw in het geheel geen energiebesparing plaatsvindt.<sup>3</sup> Het gaat hierbij om combinaties van isolatiemaatregelen (dak, vloer en gevel) en de inzet van energiezuinige

verwarmingketels (zoals HR107). Daarnaast kan de gebruiker kiezen om zonneboilers en/of elektrische warmtepompen in te zetten. In dat geval vindt hernieuwbare energieproductie plaats. Er zijn in het model gebouwmaatregelen opgenomen voor woningen en utiliteitsgebouwen, maar (nog) niet voor de glastuinbouw. De kosten voor de inzet van energiebesparingspakketten worden berekend op basis van de investeringskosten om de energieprestatie van gebouwen naar energielabel B te brengen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar type woning en bouwjaar en deelsectoren van de utiliteit. De kosten voor de zonneboiler en elektrische warmtepomp worden per optie gegeven.

Voor bestaande woningen is gekozen voor het energielabel B omdat dit het hoogste energieprestatieniveau is dat is te bereiken met isolatiemaatregelen uit de *Voorbeeldwoningen 2011*. Het energieprestatie label A kan worden bereikt als de isolatiemaatregelen worden aangevuld met de zonneboiler en zonnecel PV. Voor bestaande woningen is volgens huidige inzichten geen hoger energieprestatieniveau te bereiken met bestaande technieken tenzij de kosten extreem oplopen. Voor nieuwbouwwoningen is ten aanzien van de energieefficiency van de schil in de referentieberekening uitgegaan van de huidige norm. Als referentie voor de efficiency van de verwarmingsketel wordt voor zowel bestaande bouw als nieuwbouw uitgegaan van de aanwezigheid van de hoge rendementsketel HR107 in 2050. Als aanvulling kan de zonneboiler worden ingezet. Daarnaast kan bij nieuwbouw als alternatief de elektrische warmtepomp worden ingezet.

### 3.2 Rentabiliteitsberekening van gebiedsmaatregelen

Per onderscheiden gebied<sup>4</sup> berekent het model de opbrengsten en kosten van grootschalige warmte-distributie op basis van aantallen en kenmerken van gebouwen, zoals warmtebehoefte, aansluitdichtheid en -capaciteit per gebouw. De opbrengsten bestaan uit een eenmalige aansluitbijdrage en de jaarlijkse inkomsten voor vastrecht en geleverde warmte. Bij de vaststelling van de inkomsten uit geleverde warmte wordt het 'Niet Meer Dan Anders'-principe gehanteerd. De kosten voor de warmtedistributie bestaan uit de investerings<sup>5</sup>- en onderhoudskosten voor het transport- en distributienet, de onderstations, hulpwarmteketels en de aansluiting en bemetering van de woningen.

De opbrengsten en kosten worden netto contant gemaakt over de looptijd van het project. De netto contante waarde is de huidige waarde van inkomsten en uitgaven die in de toekomst plaatsvinden.<sup>6</sup> Er wordt

rekening gehouden met het feit dat in de eerste twee jaar van de looptijd van een project (typisch 30 jaar) nog geen inkomsten worden gegenereerd, terwijl er wel aflossings- en rentekosten worden gemaakt.

Uit deze berekening volgt bij welke prijs een warmteleverancier nog kostendekkend warmte kan inkopen. Deze maximale inkoopprijs wordt vervolgens vergeleken met de productieprijs die in het model voor de verschillende typen warmtebronnen (restwarmte, geothermie en WKO) worden berekend:

- Het model berekent de kosten van restwarmte op basis van de eenmalige investeringskosten in de uitkoppeling<sup>7</sup> van de restwarmte (euro/kilowatt) en de productiekostprijs van de warmte (euro/gigajoule). Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat het rendement van elektriciteitscentrales door warmtelevering omlaag gaat, en dat op piekvraagmomenten bijgestookt moet worden met gasgestookte ketels. Bij restwarmte kan (als dit rendabel is) aanvoer van warmte over langere afstand plaatsvinden. Het model houdt daarbij rekening met warmteverliezen die optreden bij het transport van de warmte.
- De productiekosten van geothermie en WKO worden bepaald op basis van de eenmalige investeringskosten in de bron en de aanleg van een warmteleiding inclusief aansluiting op de afnemers (euro) en de variabele kosten voor de levering van warmte (euro/gigajoule). Het model veronderstelt dat er bij WKO geen transport over langere afstand plaatsvindt. De bebouwing waar de geproduceerde warmte en koude wordt ingezet bevindt zich dus rondom de bron. Bij geothermie staat het model wel warmtetransport toe naar gebieden die daarvoor zelf geen geschikte ondergrond hebben (mits rendabel).

De gebruiker van het model kan aangeven in welke volgorde de rentabiliteit van de verschillende typen warmtebronnen moet worden doorgerekend. Als de eerste prioriteit ligt bij WKO dan wordt eerst per PC6-gebied bepaald waar WKO rendabel is. Vervolgens wordt met de resterende vraag op PC4-niveau vastgesteld of de andere warmteopties (geothermie en restwarmte) rendabel zijn. Als de eerste prioriteit daarentegen bij geothermie of restwarmte wordt gelegd, dan worden gehele PC4-gebieden aan die opties toegewezen (indien rendabel), en is daarbinnen geen ruimte meer voor WKO.

### 3.3 Scenario-uitgangspunten

Voor de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissie in 2050 is uitgegaan van een referentiescenario. De referentie bevat de ruimtelijke ontwikkelingen voor aantallen gebouwen, hectares glastuinbouw, sloop en vervangingstempo uit een trendprognose van ruimtelijke verkenningen (PBL

Tabel 3.1

## Kenmerken van het referentiescenario

Kenmerken referentie	2008-2050
Trendprognose	
Economische groei (gemiddeld per jaar)	1,7%/jaar
Bevolkingsgroei (aantal inwoners)	920.000
Groei woningvoorraad (aantal woningen)	1.138.000
Groei werkgelegenheid (aantal banen)	426.000
Groei glastuinbouw (ha)	805.000
Sloop (aantal woningen)	1.204.000
Gemiddelde temperatuurstijging (langjarige gemiddelde)	1,3 °C

2012) (zie tabel 3.1). Het aantal inwoners groeit in de periode 2010-2050 naar verwachting met 920.000 tot 17,5 miljoen. Door deze groei en een verdunning van de huishoudens groeit de woningvoorraad met 1,1 miljoen woningen tot 8,2 miljoen. De ontwikkeling bestaat uit de sloop van 1,2 miljoen woningen en de nieuwbouw van 2,3 miljoen woningen. De economische groei bedraagt gemiddeld 1,7 procent per jaar. Het aantal banen neemt toe met 426.000 tot 7 miljoen en het areaal glastuinbouw neemt toe met 805 hectare tot 11.000 hectare. Met behulp van het Vesta-model is nagegaan wat het effect is van de verschillende routes op de uitstoot van CO<sub>2</sub> in de gebouwde omgeving en in de glastuinbouw. Hiervoor zijn de routes vergeleken met het referentiescenario. Naast vervanging van woningen (herstructurering) zijn er geen verdere autonome energie-efficiencyverbeteringen verondersteld, behalve dat alle verwarmingsketels door de huidig gangbare energiezuinige HR107-ketel worden vervangen. De kentallen voor het huidige functionele energiegebruik van woningen zijn in eerste instantie per type woning en bouwperiode overgenomen van de Voorbeeldwoningen 2011 (Agentschap NL 2011). Vervolgens is het functionele energiegebruik voor verwarming en warm water van de bestaande woningen zodanig geschaald dat het energiegebruik van de woningen gezamenlijk overeenkomt met het gerealiseerde landelijke energiegebruik volgens het CBS en het ECN in 2008. Het functionele energiegebruik is geschaald omdat de kentallen van de Voorbeeldwoningen 2011 leidden tot een overschatting van het nationale energiegebruik van 40 procent ten opzichte van het gerealiseerde landelijke energiegebruik. Het huidige functionele energiegebruik van bestaande gebouwen van de utiliteitssector en de glastuinbouw zijn afgeleid uit kentallen van Agentschap NL in combinatie met landelijke CBS-cijfers en komen overeen met de gerealiseerde energiegebruiken volgens CBS en ECN in 2008. Het functionele energiegebruik van de bestaande bouw is daarbij gelijk gehouden in het zichtjaar 2050. In de berekening is ten slotte rekening gehouden met een

temperatuurstijging van 1,3 graden in 2050 ten opzichte van het langjarig gemiddelde in 2008. Voor meer details zie de publicatie over het Vesta-model (PBL 2012). Tabel 3.1 geeft de ontwikkelingen die in de referentie zijn verondersteld voor de periode 2008 tot 2050 ten aanzien van een aantal relevante parameters (PBL 2012).

In 2008 bedroeg de gezamenlijke CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw ongeveer 73 megaton. De vraag naar warmte en koeling veroorzaakte hiervan circa 38 megaton CO<sub>2</sub>, terwijl 35 megaton werd veroorzaakt door elektriciteitsgebruik door apparatuur (exclusief airconditioning).

In het referentiescenario neemt de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van elektriciteitsgebruik (exclusief airconditioning) in de periode van 2008-2050 toe van 35 naar 38 megaton. Doordat het verbruik per huishouden en werkplek constant is gehouden, wordt deze toename veroorzaakt door een toename van het aantal woningen en utiliteitsgebouwen. De CO<sub>2</sub>-uitstoot die veroorzaakt wordt door de warmte- en koelvraag blijft vrijwel gelijk, ondanks de groei in het aantal huishoudens en banen: van 38 megaton in 2008 naar 37 megaton in 2050. Uit tabel 3.2 blijkt een stijging van de CO<sub>2</sub>-emissie van utiliteit, en een afname bij woningen en glastuinbouw, zodat per saldo een lichte afname van de gezamenlijke CO<sub>2</sub>-emissie van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw plaatsvindt. De afname wordt in de eerste plaats veroorzaakt door een toename van de gemiddelde temperatuur met 1,3 °C gebaseerd op een KNMI-scenario voor klimaatverandering (PBL 2012). Zonder dit effect zou de CO<sub>2</sub>-uitstoot voor verwarmen zo'n 5 megaton hoger liggen. Door de autonome vervanging van de bestaande ketels door de zuinige HR107-ketel neemt de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 2 megaton af ten opzichte van de bestaande ketelvoorraad. Als laatste worden 1,2 miljoen bestaande woningen gesloopt en vervangen door energiezuinige nieuwbouw, waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot van woningen circa 1-2 megaton lager ligt dan bij de huidige woningvoorraad.

Tabel 3.2  
CO<sub>2</sub>-uitstoot en energiegebruik in het referentiescenario

CO <sub>2</sub> (MTon)	2008				2050			
	Totaal	Woningen	Utiliteit	Glas-tuinbouw	Totaal	Woningen	Utiliteit	Glas-tuinbouw
CO <sub>2</sub> totaal	73	33	32	9	75	31	36	8
CO <sub>2</sub> verwarmen/koelen	38	17	16	5	37	15	17	4
Energie (PJ)								
Warmte	684	334	260	90	620	275	270	75
Koeling	12		12		14		14	
Apparatuur	210	88	96	25	245	102	117	26

De ontwikkeling van energieprijzen en andere uitgangspunten staan beschreven in CE (2011) en (PBL 2012).

#### Noten

- 1 Zoals door warmteboilers, zon-PV, warmtepompen en micro-warmtekracht.
- 2 In dat geval worden alle maatregelen genomen die de energieprestatie van het gebouw tot gemiddeld een label B niveau verbeteren.
- 3 De energieprestatie van een nieuwe woning in Vesta is door isolatiewaarden gelijk aan de eisen uit 2010 (EPC 0,8), een nieuw utiliteitsgebouw heeft in Vesta dezelfde energieprestatie als de bestaande bouw van voor 2010. Verbeteringen voor nieuwe gebouwen zijn in Vesta mogelijk door het toepassen van zonneboiler, elektrische warmtepomp en de gebiedsmaatregelen.
- 4 Voor WKO vindt deze afweging op PC6-niveau plaats, voor restwarmte en geothermie op PC4-niveau. PC6 betekent postcode 6 (dus 1234 AB) en komt overeen met de schaal van (deel van) een straat (gemiddeld circa 15 woningen). PC4 betreft alle woningen met hetzelfde getal in de postcode. Het gaat hierbij om een gebied met gemiddeld circa 1.500 woningen.
- 5 De investeringskosten zijn daarbij annuïtair gemaakt, dat wil zeggen dat over de levensduur een vaste aflossing plus rente per jaar wordt berekend. Per partij wordt met een verschillende discontovoet gerekend (huishoudens 5,5 procent, utiliteit 8 procent, glastuinbouw 8 procent en energiebedrijf 6 procent). De levensduur van gebouwmaatregelen en warmtenetten is 30 jaar, die van apparaten 15 jaar.
- 6 In formule: netto contante waarde (NCW) = (inkomsten – uitgaven)/(1 + i)<sup>t</sup>, waarbij i de disconteringsvoet is, en t de tijd in jaren. Voor een project met een bepaalde looptijd worden de NCW's voor alle jaren bij elkaar opgeteld.
- 7 Uitkoppeling is de aanleg van een warmteleiding inclusief aansluiting op de warmteproducent en -afnemers.

# Technische beschrijving van gebiedsmaatregelen

In dit hoofdstuk bespreken we in het kort de belangrijkste kenmerken van gebiedsmaatregelen: restwarmte, geothermie en warmte-koudeopslag.

## 4.1 Restwarmte

Restwarmte is warmte die elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties of industriële bedrijven via een systeem van transport- en distributieleidingen leveren aan woningen, utiliteitsgebouwen of glastuinbouwkassen (SenterNovem 2007). Het distributienet omvat doorgaans ook een of meer hulpwarmteketels en onderverdeelstations. De temperatuur van de te leveren warmte ligt veelal tussen de 70 en 120°C. Naast pompenergie is in een aantal situaties ook extra brandstof noodzakelijk om het door warmteonttrekking veroorzaakte verlies in elektriciteitsproductie te compenseren (feitelijk gaat het dan om aftapwarmte). De warmte is in de meeste projecten bestemd voor ruimteverwarming en de voorziening van warm tapwater. De economische haalbaarheid van deze warmtevoorziening is vooral afhankelijk van de omvang en dichtheid van de warmtevraag en de transportafstand. De dekkingsgraad van de te leveren warmte ligt op minimaal 80 procent. Het resterende deel wordt geleverd vanuit gasgestookte ketels. Momenteel zijn er in Nederland 13 grootschalige warmtenetten, met in totaal 227.000 aangesloten verbruikers met een aansluiting van kleiner dan 1.000 kilowatt (CE 2009b).

De energiebesparing die met restwarmte kan worden gerealiseerd, is afhankelijk van de mate waarin bij elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties en industriële bedrijven rendementsverlies optreedt als gevolg van het aftappen van de warmte, de mate waarin warmteverliezen optreden bij het transport, de benodigde pompenergie en de hoeveelheid aardgas die in hulpketels wordt verstookt. Volgens (SenterNovem 2007) wordt met restwarmte van afvalverbrandingsinstallaties en elektriciteitscentrales voor de woningbouw in de praktijk een gemiddelde primaire energiebesparing van 50 procent gerealiseerd, met een spreiding van 20 tot 60 procent. Bij industriële restwarmte is de energiebesparing bijna 100 procent, met een spreiding van 60 tot 100 procent. Voor de glastuinbouw zijn geen cijfers voor de energiebesparing gevonden.

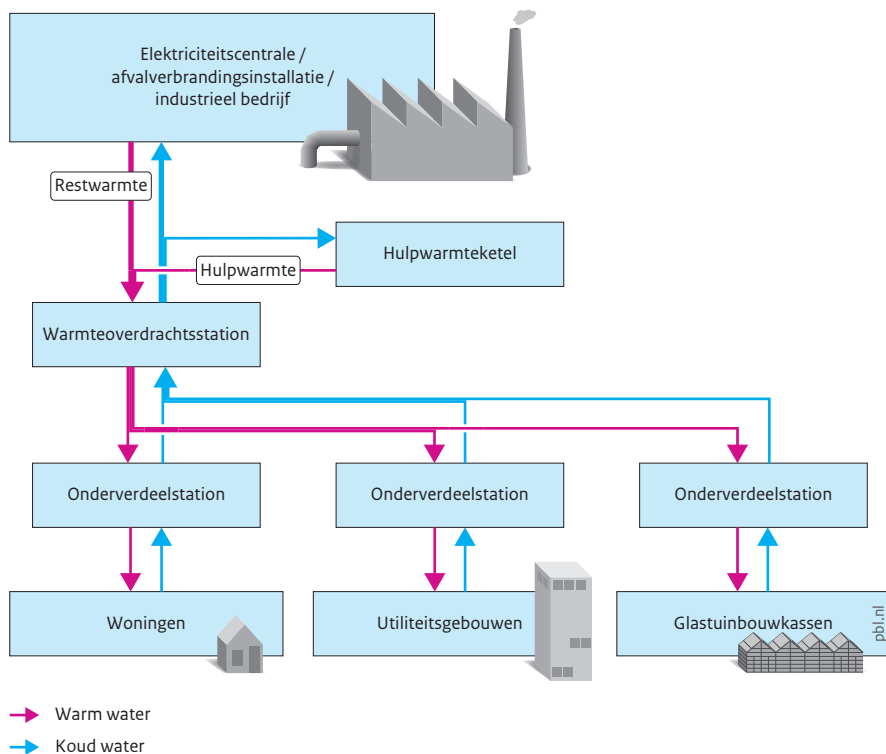
Een schematisch overzicht van een grootschalig warmtenet voor restwarmte is weergegeven in figuur 4.1.

## 4.2 Geothermie

Geothermie (ook wel aardwarmte genoemd) is warmte die in de bodem zit opgeslagen. In de praktijk zal het bijna altijd gaan om warmte die zich op dieptes vanaf 1.500 meter bevindt. In Nederland neemt de temperatuur gemiddeld met ongeveer 31 °C per kilometer toe. De temperatuur van het grondwater dat dieper dan twee kilometer ligt, kan echter afhankelijk van de plaats tussen de 40 en 120°C variëren (ECN 2009). De aardwarmte



Figuur 4.1  
**Overzicht grootschalig warmtenet voor restwarmte**



Bron: CE (2009b)

kan worden gebruikt voor directe verwarming (zonder warmtepompen) van woningen en kassen, en vanaf circa 3 kilometer diepte ook voor de productie van elektriciteit. De energiebesparing voor verwarmen bedraagt volgens ECN (2009) 60 tot 70 procent, volgens Platform Geothermie (2010) zelfs 70 tot 80 procent.

De aardwarmte wordt onttrokken door het aanboren van een geothermisch reservoir op een diepte van enkele kilometers. Deze watervoerende lagen zijn in grote gebieden in de ondergrond van Nederland aanwezig. Het warme water wordt met behulp van een of meer productieputten naar de oppervlakte gehaald. Met een warmtewisselaar wordt de energie afgegeven aan een distributienet, dat huizen of kassen van warmte voorziet. Het afgekoelde water wordt in een of meerdere injectieputten – op voldoende afstand van de productieput – in het reservoir teruggepompt. Een productie- en injectieput heten samen een (putten)doublet. In Nederland is in 2007 het eerste diepe geothermiedoublet gerealiseerd bij een tomatenkas in Bleiswijk. Dit bedrijf heeft vervolgens in 2009 een tweede doublet aangelegd voor een andere bedrijfslocatie in Berkel & Rodenrijs. In 2010 zijn boringen gestart bij een

potplantenkwekerij in Pijnacker en bij een woonwijk in Den Haag-Zuidwest (Platform Geothermie 2010).

In figuur 4.2 is een schematisch overzicht van een doublet voor geothermie weergegeven.

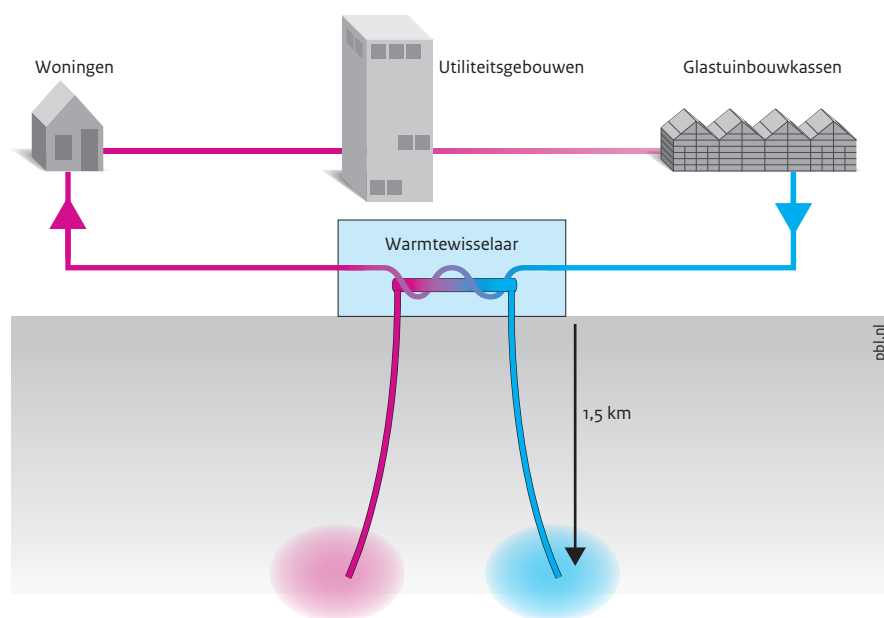
### 4.3 Warmte-koudeopslag

Bij warmte-koudeopslag (WKO) worden twee systemen onderscheiden, namelijk open en gesloten systemen. Beide systemen worden hier kort beschreven. Het Vesta-model is echter te grof om onderscheid te maken tussen open en gesloten systemen.

#### 4.3.1 Open warmte-koudeopslagsystemen

Bij open WKO-systemen worden in principe twee bronnen geboord tot in een geschikte grondwaterlaag, meestal tussen de 20 en 200 meter diep (Taskforce WKO 2009). 's Zomers wordt water uit de koude bron (circa 7°C) gepompt en wordt de koude direct gebruikt voor koeling. Het opgewarmde water wordt teruggebracht in de warme bron (15 tot 25°C). 's Winters wordt met dit opgewarmde water en een warmtepomp het gebouw

Figuur 4.2  
Doublet voor geothermie



Bron: Platform Geothermie (2010)

verwarmd, waarna het afgekoelde water weer in de koude bron terugvloeit. De warmtepomp brengt de temperatuur van het water op een niveau van 40 tot 55°C (SenterNovem 2007). Dit is voldoende om woningen en gebouwen met een laagtemperatuurverwarming van warmte te kunnen voorzien. Daarbij gaat het om vloer- en/ of muurverwarming, die een aanvoerwatertemperatuur nodig hebben van 30 tot 55°C; gewone radiatoren zijn niet geschikt omdat zij een hogere aanvoerwatertemperatuur nodig hebben van 90°C. Tapwater moet worden naverwarmd (bijvoorbeeld met gas of elektriciteit) tot een niveau van minstens 65°C. Met open WKO-systemen kan een besparing aan fossiele primaire energie<sup>2</sup> van 50 procent worden behaald (ECN 2009) op de combinatie van verwarmen en koelen.

Bij open WKO-systemen gaat het om grotere systemen die geschikt zijn voor grote kantoren, wooncomplexen vanaf zo'n 30 tot 50 huizen, glastuinbouw en industrieterreinen. Deze systemen hebben een uitstraling op het omringende grondwater tot enkele tientallen meters, vaak voorbij de grenzen van het eigen perceel. Hierdoor kunnen deze systemen interfereren met nabijgelegen WKO-systemen waardoor de systemen minder goed presteren. Er zijn zo'n 1.000 open WKO-systemen bekend in Nederland, die samen een volume water verplaatsen vergelijkbaar met de jaarlijks gewonnen hoeveelheid drinkwater uit grondwater.

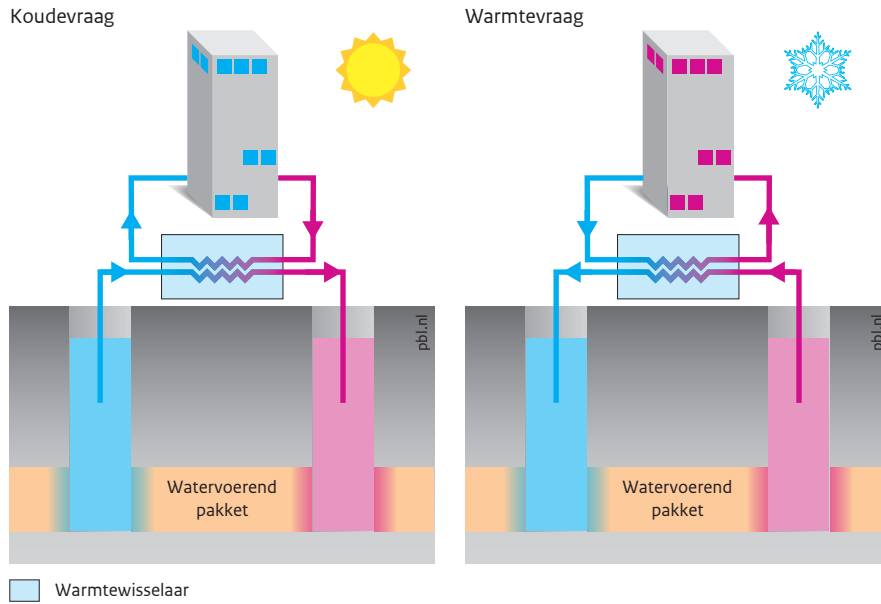
Figuur 4.3 geeft een schematisch overzicht van een open WKO-systeem.

#### 4.3.2 Gesloten warmte-koudeopslagsystemen

Gesloten WKO-systemen werken in grote lijnen hetzelfde als open systemen en komen ongeveer tot dezelfde diepten, met het verschil dat hierbij geen grondwater wordt verpompt (Taskforce WKO 2009). Gesloten systemen hebben bodemlussen (twee tot vier per huis) waar water doorheen wordt gepompt, veelal met een antivriesmiddel, zoals glycol, om warmte of koude aan de bodem te onttrekken. Het energetisch rendement is in het algemeen iets lager dan bij open systemen. Volgens ECN (2009) kan bij gesloten systemen 30 tot 50 procent energie worden bespaard op de combinatie van verwarmen en koelen. Gesloten systemen kunnen per huis worden aangelegd of collectief, voor meerdere woningen. Ze hebben een geringe warmte-uitstraling in het grondwater. Naar schatting zijn er in Nederland momenteel 10.000 gesloten WKO-systemen.

In figuur 4.4 is een schematisch overzicht gegeven van een gesloten WKO-systeem.

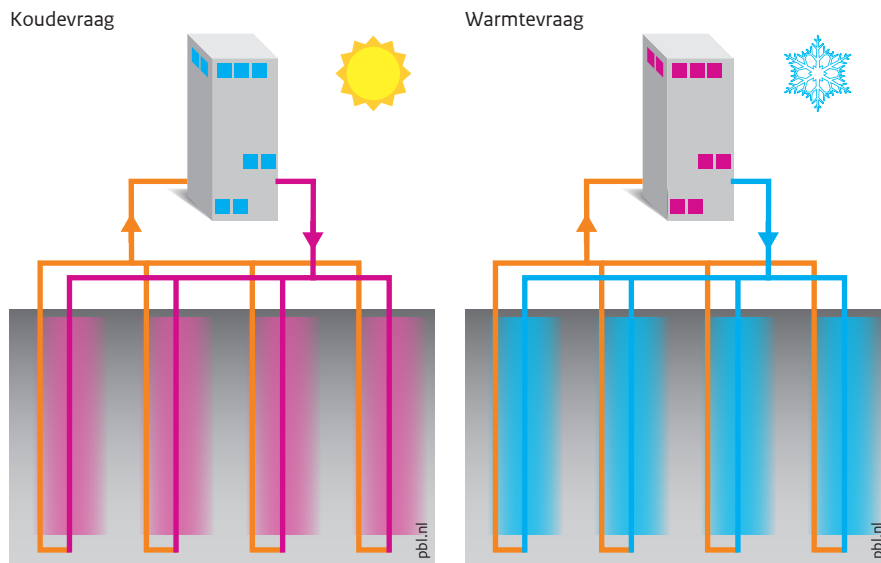
Figuur 4.3  
**Open warmte-koudeopslagsysteem**



Bron: Taskforce WKO (2009)

Tijdens de koudevraag wordt koud water opgepompt en verwarmd op een andere plek teruggepompt. Tijdens de warmtevraag wordt het opgeslagen warme water opgepompt en weer afgekoeld teruggepompt in de oorspronkelijke bron.

Figuur 4.4  
**Gesloten warmte-koudeopslagsysteem**



Bron: Taskforce WKO (2009)

Tijdens de koudevraag wordt koude onttrokken uit de bodem, waardoor deze opwarmt. Tijdens de warmtevraag wordt warmte onttrokken uit de bodem, waardoor deze afkoelt.

## Noten

- 1 Grootschalig wil zeggen dat er meer dan 5.000 verbruikers zijn aangesloten.
- 2 Met primaire energie wordt hier bedoeld de hoeveelheid energie die wordt verbruikt van een primaire energiedrager. Een primaire energiedrager is een uit de natuur gewonnen energiedrager, bijvoorbeeld aardolie, aardgas, steenkool en vormen van hernieuwbare energie (windmolens, waterkracht). Een secundaire energiedrager is een energiedrager die ontstaat door omzetting van primaire energiedragers, bijvoorbeeld elektriciteit die in een elektriciteitscentrale wordt opgewekt. Met fossiel wordt hier bedoeld aardolie, aardgas en steenkool.



# Economische randvoorwaarden en potentieel gebiedsmaatregelen – literatuurscan

Om te kunnen bepalen in hoeverre de in hoofdstuk 8 gepresenteerde modeluitkomsten over het totale technisch-economisch potentieel van gebiedsmaatregelen valide zijn, is in de literatuur nagegaan welke informatie beschikbaar is over economische randvoorwaarden (minimale schaalgrootte, type bebouwing en locatie van de bebouwing) en over toekomstige besparingspotentiëlen. De in dit hoofdstuk gepresenteerde informatie wordt eerst kort samengevat.

## 5.1 Samenvatting

De aanleg van warmtenetten voor het transport van restwarmte en/of geothermie in bestaande bebouwing is erg duur, en lijkt daardoor vooral rendabel bij grootschalige renovatie of nieuwbouw. Maar ook in dat geval kan de rentabiliteit onder druk komen te staan, omdat de warmtevraag bij nieuwbouw steeds lager wordt vanwege de aanscherping van de energieprestatiecoëfficiënt.

WKO komt in principe alleen in aanmerking bij grootschalige renovatie of nieuwbouw, omdat de relatief lage temperatuur van de warmtebron van het WKO-systeem vloer- en muurverwarmingssystemen noodzakelijk maakt (zie paragraaf 4.3.1). Bij restwarmte en geothermie is de minimale schaalgrootte enige duizenden woningen. Gesloten WKO-systemen zijn geschikt voor individuele huizen en kleine kantoren, open systemen voor eenheden met circa 50 woningen en grotere kantoren. Voor restwarmte geldt dat de afstand

tussen bron en afnemer in het algemeen kleiner moet zijn dan 15 kilometer. Geothermie lijkt vooral in delen van Zuid-Holland, Noord-Holland, Friesland en Drenthe kansrijk, terwijl WKO bijna overal in Nederland toepasbaar is.

Cijfers uit de literatuur over het toekomstige besparingspotentieel van restwarmte, geothermie en WKO hebben vooral betrekking op 2020; voor de – in het kader van Vesta meer relevante – latere jaren is alleen informatie uit een niet-gepubliceerde MNP-studie uit 2009 beschikbaar, en dan nog alleen voor geothermie en WKO en niet voor restwarmte. Deze studie raamt het potentieel voor geothermie in 2040 op circa 25 tot 50 petajoule, en het potentieel voor WKO op circa 10 tot 30 petajoule. De bandbreedtes worden veroorzaakt door verschillende scenarioonderstellingen over het nieuwbouw- en renovatietempo. Uit andere studies kan worden afgeleid dat het besparingspotentieel van restwarmte in 2020 circa 50 petajoule bedraagt. Daarin zijn bestaande restwarmtenetten – met circa 25 petajoule besparing – meegeteld. Deze raming is gebaseerd op de nu bekende restwarmtebronnen.

## 5.2 Economische randvoorwaarden

### 5.2.1 Minimale schaalgrootte

#### Restwarmte

De investeringskosten die gemaakt moeten worden om restwarmte van elektriciteitscentrales, industriële bedrijven of afvalverwerkingsinstallaties te leveren, zijn dermate hoog dat restwarmteprojecten alleen rendabel kunnen zijn bij een bepaalde minimale schaalgrootte. Waar de ondergrens ligt is echter moeilijk te zeggen, omdat de informatie die hierover in de literatuur wordt gegeven weinig eenduidig is. Uit een overzicht van bestaande grootschalige warmtenetten van Nederlandse energiebedrijven blijkt dat er een zeer grote variatie is in het aantal ‘aangeslotenen’ per net (CE 2009b). Dit aantal varieert van enkele duizenden tot ruim 43.000. Hier kunnen echter geen conclusies aan worden verbonden over een ‘minimale rendabele schaalgrootte’. Veel warmtenetten zijn namelijk in de jaren tachtig van de vorige eeuw met steun van de overheid aangelegd. Zelfs met deze steun kwamen veel projecten daarna in financiële problemen als gevolg van dalende gasprijzen<sup>2</sup> en problemen bij de uitvoering van de projecten. Volgens SenterNovem (2007) moet een project voor restwarmte uit elektriciteitscentrales, industrie of afvalverwerkingsinstallaties onder het huidige subsidieregime<sup>3</sup> ten minste 10.000 woningequivalenten omvatten voor een rendabele bedrijfsvoering. Dit wordt echter niet onderbouwd.

In Rebel (2010) wordt een rekenvoorbeeld gegeven voor de kosten en opbrengsten van een nieuw (niet-gesubsidieerd) stadsverwarmingsnet, waarbij in 10 jaar tijd 5.000 nieuwbouwwoningen en 50 winkels worden aangesloten op een STEG-centrale.<sup>4</sup> Het rapport concludeert dat dit project niet rendabel zal zijn, ook niet als er van gunstiger uitgangspunten wordt uitgegaan.<sup>5</sup> Er wordt echter niet geanalyseerd of grotere warmteprojecten wel rendabel kunnen zijn. Kunstmestfabrikant Yara (Terneuzen) gaat jaarlijks 1,6 petajoule restwarmte en CO<sub>2</sub> leveren aan 250 hectare glastuinbouwgebied (Energieraad 2009). Er is geen informatie gevonden over een minimale schaalgrootte voor de glastuinbouw.

#### Geothermie

Volgens het MNP (2009) zijn de investeringskosten voor het slaan van een doublet (de combinatie van een productie- en een injectieput) voor geothermie in de orde van 8 tot 12 miljoen euro, maar dit lijkt aan de hoge kant: de investeringskosten voor een doublet met een thermisch vermogen van 6 megawatt voor de verwarming van tomatenkassen in Bleiswijk bedroegen 6 miljoen euro (Ecofys 2009). Om rendabel te zijn moet een geothermiedoublet 100 tot 200 kubieke meter per uur

met een temperatuur van 60 tot 80 °C kunnen leveren. Het thermisch vermogen van zo'n doublet ligt ruwweg tussen 4 en 15 megawatt (Ecofys 2009).<sup>6</sup> Daarmee kan in de warmtebehoefte van enige duizenden woningen worden voorzien. Volgens (Ecofys 2007) is de minimale schaalgrootte 2.400 woningequivalenten met een gemiddelde vraag van 30 gigajoule; ECN (2009) geeft een vergelijkbare minimale schaalgrootte: 2.500 woningen. In Den Haag Zuid-West is een stadsverwarmingsproject in aanbouw met een thermisch vermogen van 6 megawatt. Daarmee zullen in de eerste fase 4.000 huizen worden verwarmd en in de tweede fase 6.000 huizen (Ecofys 2009).

In de glastuinbouw bedraagt de rendabele schaalgrootte enige hectaren. In Bleiswijk wordt bijvoorbeeld ruim 7 hectare tomatenkas verwarmd met een doublet met een thermisch vermogen van 6 megawatt (Ecofys 2009). Het gaat hier om onbelichte teelt; CO<sub>2</sub> wordt geleverd via de OCAP-pijpleiding (Ecofys 2007).

Omdat het warmteleverende vermogen van een doublet begrensd is, kan er ook sprake zijn van een maximale schaalgrootte. Volgens Bakker en Campen (2007) is het ondergrondse ruimtebeslag van een doublet met een vermogen van 6 megawatt circa 450 hectare. In gebieden met geconcentreerde bebouwing (zoals hoogbouw, utiliteitsbouw en glastuinbouw) is de warmtevraag op een dergelijke oppervlakte waarschijnlijk groter dan door één doublet geleverd kan worden. Bij lage woningbouw geldt deze beperking waarschijnlijk niet of in mindere mate.

#### WKO

Open WKO-systemen worden momenteel vooral toegepast in wooncomplexen, utiliteitsbouw (zoals grote kantoren), glastuinbouw en industrieterreinen (I&M 2011b). Volgens het ECN (2009) moet – om rendabel te zijn – het gevraagde koelvermogen groter zijn dan 100 kilowatt. Dit komt ruwweg overeen met kantoren met een bruto vloeroppervlak (bvo) van meer dan 2.000 vierkante meter of wooncomplexen met meer dan 50 woningen. Kleine, gesloten systemen worden vooral toegepast bij individuele woningen en kleine kantoren. Net als bij geothermie zal er vanwege beperkingen in de opslagcapaciteit van de bodem met name in gebieden met geconcentreerde bebouwing sprake zijn van een maximale schaalgrootte. Bij lage woningbouw geldt deze beperking waarschijnlijk niet, aangezien het bovengrondse ruimtebeslag daar juist groter is dan het ondergrondse ruimtebeslag. Volgens het MNP (2009) is het ondergrondse ruimtebeslag voor 1.000 goed geïsoleerde woningen 10 hectare, en het bovengrondse ruimtebeslag 40 hectare.

### 5.2.2 Type bebouwing

#### Restwarmte en geothermie

Vanuit het oogpunt van rentabiliteit komen restwarmte en geothermie vooral in aanmerking bij grootschalige nieuwbouw of renovatie. Bij een verdere aanscherping van de EPC wordt het echter ook voor nieuwbouw steeds moeilijker om deze projecten rendabel te krijgen, aangezien de warmtevraag daardoor daalt terwijl de kosten gelijk blijven. Maar bij bestaande woningen is vooral de aanleg van het warmtenet erg duur.<sup>7</sup> Bovendien vermijdt de aanleg van nieuwbouwwijken met warmtelevering allerlei kosten die bij bestaande wijken al gemaakt zijn, zoals een aardgasnet, en aanschaf en plaatsing van cv-ketels. Een ander nadeel bij bestaande wijken is dat vooral bij particuliere eigenaren een 100 procent dekkingsgraad zelden te realiseren is (ECN 2011). In de glastuinbouw komen restwarmte en geothermie in aanmerking voor geconcentreerde gebieden met onbelichte teelt (met name groenten) en een hoge warmtevraag, waarbij bovendien goedkope CO<sub>2</sub> beschikbaar is (Ecofys 2007). Bij belichte teelt kan warmtelevering waarschijnlijk niet concurreren met warmtekrachtkoppeling, omdat elektriciteit en CO<sub>2</sub> dan apart moeten worden ingekocht.

#### WKO

In de woningbouw (met vooral warmtevraag) kan WKO alleen rendabel worden toegepast bij nieuwbouw en grootschalige renovatie, en niet bij bestaande bouw (MNP 2009). Vanwege de relatief lage temperatuur van het water (circa 40 tot 55°C<sup>8</sup>) kunnen namelijk geen gewone radiatoren worden gebruikt, maar moet vloer- en muurverwarming worden toegepast. Bovendien moeten de huizen goed geïsoleerd zijn, en moet voor de levering van warm tapwater een aparte voorziening worden getroffen (gas of elektrisch).

In de utiliteitsbouw wordt WKO vooral gebruikt voor koeling. Daarbij kan mogelijk gebruik worden gemaakt van de bestaande airconditioningsvoorziening, zodat WKO ook kan worden toegepast in bestaande gebouwen (MNP 2009).

In de glastuinbouw komt WKO in combinatie met een warmtepomp vooral in aanmerking voor de gesloten en semi-gesloten kas (Ecofys 2007). Deze hebben een grotere behoefte aan koeling dan aan warmte.

### 5.2.3 Locatie van de bebouwing

#### Restwarmte

Bij restwarmteprojecten is het van belang dat de afstand tussen de leverancier en de afnemers van de warmte beperkt is, omdat anders de kosten en warmteverliezen te hoog worden. Transportafstanden van meer dan 15 kilometer komen in de praktijk in Nederland nauwelijks

voor (ECN 2010). Uitzonderingen zijn het transport van de Amercentrale naar Breda en Tilburg.

#### Geothermie

De geologische informatie om te beoordelen waar in Nederland de omstandigheden geschikt zijn voor de toepassing van geothermie, is momenteel nog beperkt. Uit inventariserend onderzoek van TNO lijken vooral locaties bij Rotterdam, Alkmaar-Hoorn, en enkele gebieden in Groningen, Friesland en Drenthe kansrijk (KWR 2010). De meest recente informatie van TNO is beschreven in hoofdstuk 8.

#### WKO

WKO-systemen kunnen in het overgrote deel van Nederland worden toegepast. Volgens Ecofys (2007) is zelfs 95 procent van de ondergrond in Nederland geschikt voor WKO. Regio's die minder geschikt zijn, zijn het oostelijk deel van de provincies Gelderland, Overijssel en Drenthe, de Peelhorst in Noord-Brabant en delen van Limburg (KWR 2010). Hier zijn de watervoerende pakketten te dun of ontbreken ze geheel. Ook in die delen van Nederland die geschikt zijn kunnen er echter lokale belemmeringen zijn, zoals grondwaterwinning en bodemverontreinigingen.

## 5.3 Toekomstig potentieel

In deze paragraaf geven we in drie schema's een overzicht van de informatie die in de literatuur is gevonden over toekomstige besparingspotentiëlen van restwarmte, geothermie en WKO. Het potentieel wordt uitgedrukt in petajoule vermeden primaire energie. In de overzichten is onderscheid gemaakt tussen ramingen voor de korte termijn (2020) en de langere termijn (richting 2050). Het blijkt dat informatie voor de langere termijn slechts beperkt beschikbaar is.

De spreiding in de vermelde besparingspotentiëlen is groot. Voor een belangrijk deel wordt dit veroorzaakt doordat voor elke potentieelraming andere uitgangspunten zijn gehanteerd. Om dit inzichtelijk te maken zijn de uitgangspunten in de overzichten beknopt weergegeven.



Schema 5.1  
Restwarmte

Bron	Huidige omvang	Aanvullend potentieel 2020	Aanvullend potentieel langere termijn (richting 2050)	Uitgangspunten
ECN 2010	25 PJ, waarvan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 18,6 PJ voor de woningbouw (gebaseerd op CE, 2009a)</li> <li>• 3,5 PJ aan de glastuinbouwsector</li> </ul>	25 PJ, waarvan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 PJ voor de gebouwde omgeving</li> <li>• 5 PJ voor de glastuinbouw</li> </ul>	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Het betreft het additionele technisch potentieel (t.o.v. huidige toepassing van restwarmte).</li> <li>• Gebaseerd op geschat maximaal potentieel van 200 PJ restwarmte van de industrie en elektriciteitscentrales. Een groot deel daarvan valt af: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aanbod en vraag liggen te ver van elkaar af.</li> <li>- Onvoldoende schaalgrootte.</li> <li>- Een deel van de warmtebronnen levert reeds warmte of is om andere redenen niet beschikbaar.</li> </ul> </li> <li>• Van het totale potentieel blijft dan 20 tot 30 PJ over.</li> </ul>
ECN 2011	Niet vermeld	10 tot 25 PJ	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Het betreft het zinvol te benutten potentieel. Zinvol betekent dat de restwarmtebenutting daadwerkelijk energie bespaart en/of CO<sub>2</sub>-emissies reduceert, dat de kosten acceptabel zijn, en dat er geen alternatieven zijn die goedkoper of makkelijker ongeveer dezelfde energiebesparing of emissiereductie kunnen opleveren. Bij de potentieelschatting is onder andere rekening gehouden met (het al dan niet matchen) van temperatuur en gelijktijdigheid van vraag en aanbod, en de afstand tussen warmtebronnen en potentiële afnemers.</li> </ul>
SenterNovem 2007	Niet vermeld	20,3 PJ, waarvan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6,6 PJ voor de woningbouw (260.000 eenheden)</li> <li>• 0,5 PJ voor de utiliteitsbouw (2.600.000 m<sup>2</sup> bvo)</li> <li>• 13,2 PJ voor de glastuinbouw (1.135 ha)</li> </ul>	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Het betreft het additionele technisch potentieel voor vier gebieden die aan de volgende voorwaarden voldoen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meerdere restwarmtebronnen beschikbaar (industriële WKK's, industriële restwarmte, afvalverwerkingsinstallaties en/of elektriciteitscentrales (alleen basislast).</li> <li>- Warmtenet aanwezig dat kan worden uitgebreid.</li> <li>- Landelijk ontwikkelingsgebied glastuinbouw.</li> <li>- Uitbreidingslocaties binnen de gebouwde omgeving (meer dan 1.000 woningen); grootschalige renovatie is vanwege gebrek aan gegevens buiten beschouwing gelaten.</li> <li>- Maximale transportafstand 15 km.</li> </ul> </li> <li>• Er is uitgegaan van de huidige specifieke warmtevraag van woningen, terwijl verwacht wordt dat de specifieke warmtevraag van toekomstige woningen lager is. Anderzijds is bestaande bebouwing buiten beschouwing gelaten.</li> </ul>

Schema 5.1 vervolg

Bron	Huidige omvang	Aanvullend potentieel 2020	Aanvullend potentieel langere termijn (richting 2050)	Uitgangspunten
Ecofys 2007	<p>31 PJ, waarvan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 PJ van elektriciteitscentrales. Hiervan wordt 17 PJ geleverd aan de gebouwde omgeving en 7 PJ aan glastuinbouw (500 ha).</li> <li>• 7 PJ van afvalverwerkingsinstallaties. Vermoedelijk wordt dit geleverd aan de gebouwde omgeving.</li> </ul>	<p>17 PJ, waarvan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 PJ van elektriciteitscentrales.</li> <li>• 11 PJ van afvalverwerkingsinstallaties.</li> </ul>	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 PJ van elektriciteitscentrales is verwachting van energiebedrijven op basis van gecontracteerde en serieus verwachte uitbreidingen (uit Energieagenda 2007-2030 van EnergieNed).</li> <li>• 11 PJ van afvalverwerkingsinstallaties is gebaseerd op 'met redelijke zekerheid' geplande uitbreiding van de verbrandingscapaciteit, en op voorwaarde dat daarbij maximaal wordt ingezet op warmtelevering.</li> <li>• Het potentieel voor warmtelevering aan de glastuinbouw wordt door Ecofys laag ingeschat vanwege concurrentie met WKK. WKK levert niet alleen warmte, maar ook elektriciteit (nodig bij belichte teelt) en CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
CE 2009a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Er wordt 18,6 PJ restwarmte geleverd.</li> <li>• Het aantal aansluitingen in 2004 wordt op 250.000 geschat. Jaarlijks komen er ongeveer 8000 aansluitingen bij.</li> </ul>	11,5 PJ	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebaseerd op een inventarisatie van gerealiseerde en geplande projecten.</li> <li>• Van de 11,5 PJ is 4,2 PJ reeds gepland. Voor de overige 7,3 PJ gaat het om ambities op de langere termijn.</li> <li>• Het gaat voornamelijk om levering aan woningbouw en utiliteit.</li> </ul>

Schema 5.2  
Geothermie

Bron	Huidige omvang	Aanvullend potentieel 2020	Aanvullend potentieel langere termijn (richting 2050)	Uitgangspunten
Ecofys 2007	Op dit moment is er 1 lopend project op basis van diepe geothermie in de glastuinbouw (Bleiswijk). Het gaat hier om 7 ha onbelicht areaal (~0,1 PJ warmte <sup>1</sup> ) met CO <sub>2</sub> -levering via de OCAP-pijpleiding.	6,2 PJ, waarvan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,4 PJ in de woningbouw.</li> <li>• 4,8 PJ in de glastuinbouw</li> </ul>	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Woningbouw: inschatting dat 20 projecten van elk 3000 nieuwbouwwoningen in de periode tot 2020 haalbaar moet zijn. Bij de berekening van de hoeveelheid vermeden primaire energie is gerekend met een COP van 10 voor de pompen: voor het verpompen van 10 GJ warmte is 1 GJ elektriciteit nodig. Ecofys ziet een groter potentieel voor geothermie in de verduurzaming van bestaande warmtenetten (bij vervanging van elektriciteitscentrales).</li> <li>• Glastuinbouw: gebaseerd op 50 projecten met een vergelijkbare grootte als 'Bleiswijk'. Ecofys noemt dit een ambitieuze maar realistische inschatting. Geothermie komt alleen in aanmerking voor onbelichte teelt en indien er goedkope CO<sub>2</sub> beschikbaar is.</li> </ul>
Platform Geothermie 2010	Niet vermeld	3 tot 15 PJ	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebaseerd op gasprijzen van 2010.</li> <li>• Het potentieel is 'afhankelijk van het overheidsbeleid'. Dit wordt niet verder toegelicht, maar vermoedelijk doelt het Platform hier op een structurele garantieregeling voor misboringen, verkorting van het lange vergunningstraject en het waarderen van vermeden CO<sub>2</sub>-emissies.</li> </ul>
ECN/PBL 2010a	Niet vermeld	11 PJ	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verondersteld is dat geothermie alleen in de glastuinbouw wordt toegepast. Het potentieel komt overeen met 100 projecten.</li> <li>• Voorwaarde is continuering van de garantieregeling en subsidie uit de MEI-regeling.</li> <li>• Het kleine aantal bedrijven dat aardwarmteboringen kan uitvoeren is een beperkende factor voor toepassing van geothermie: daardoor kan het potentieel ook lager uitvallen.</li> </ul>
MNP 2009	Niet vermeld	Niet vermeld	23,5 tot 50 PJ in 2040, waarvan: Woningbouw: 8,5 tot 20 PJ Glastuinbouw: 15 tot 30 PJ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Woningbouw: de hoogte van het potentieel is afhankelijk van het tempo van nieuwbouw en renovatie. De lage raming is conform het RC-scenario uit de WLO, de hoge raming is conform het GE-scenario. In beide gevallen is verondersteld dat bij 50% van de nieuwbouw en bij 10% van de renovatie geothermie wordt toegepast. Voor GE in totaal 550.000 woningen, voor RC 240.000 woningen. Alleen de Randstad is in beschouwing genomen omdat daar het aanbodpotentieel voor geothermie het hoogst is.</li> <li>• Glastuinbouw: raming gebaseerd op 150 tot 275 groentebedrijven met vergelijkbare grootte als het bedrijf in Bleiswijk (6 MW, 7,25 ha). Dit is het maximale landelijke potentieel, als per gemeente wordt vastgesteld hoeveel doubletten er geslagen kunnen worden (450 ha per doublet) en hoe groot het bovengronds aanwezige areaal is. Zowel de warmtevraag als het -aanbod kunnen daarbij beperkende factoren zijn.</li> </ul>

Schema 5.3  
WKO

Bron	Huidige omvang	Aanvullend potentieel 2020	Aanvullend potentieel langere termijn (richting 2050)	Uitgangspunten
ECN 2009	0,5 PJ (warmte)	1,7 PJ		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inschatting op basis van vastgesteld beleid.</li> </ul>
CE 2009a	2 PJ (schatting op basis van 850 locaties).		30 PJ (alleen Zuid-Holland)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raming van de provincie Zuid-Holland (niet verder onderbouwd).</li> </ul>
Ecofys 2007	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 PJ vermeden primaire energie bij woningbouw, waarvan 2,7 PJ op koudevraag en 4,3 PJ op warmtevraag.</li> <li>• 30 PJ vermeden primaire energie bij utiliteitsbouw.</li> <li>• 20 PJ vermeden primaire energie bij glastuinbouw.</li> </ul>	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Woningbouw: gebaseerd op 400.000 warmtepompen in 2020 (40% van de nieuwbouw/renovatie in de periode 2008-2020).</li> <li>• Utiliteitsbouw: potentieel indien de warmte- en koudevraag van alle nieuwbouw en grootschalige renovatie met WKO wordt ingevuld. Gebaseerd op een koudevraag van 32 PJ; daarbij wordt eenzelfde hoeveelheid warmte geproduceerd.</li> <li>• Glastuinbouw: gebaseerd op 3.500 ha semigesloten teelt, waarvan 2500 ha wordt gekoeld (koelbehoefte 570 MJ/m<sup>2</sup>). Voor de koeling wordt WKO toegepast, omdat dit goedkoper is dan koelmachines.</li> </ul>
TTE 2009	Niet vermeld	Niet vermeld	13 PJ in 2040 (alleen de Randstad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebaseerd op raming van nieuwbouw- en herstructureringsprojecten voor de Randstad volgens scenario's uit 'Nederland Later'.</li> <li>• Alleen open systemen.</li> <li>• Gecorrigeerd voor beperkingen door bestaande verontreinigingen en door wetgeving.</li> </ul>
ECN/PBL 2010a	Niet vermeld	19 PJ, waarvan <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 PJ bij huishoudens</li> <li>• 16 PJ bij HDO</li> <li>• 3 PJ bij glastuinbouw</li> </ul>	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potentieel geldt voor voorgenomen beleid, m.n. aanscherping van EPC voor utiliteitsbouw.</li> </ul>
MNP 2009	Niet vermeld	Niet vermeld	8 tot 32 PJ in 2040, waarvan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Woningbouw: 4 tot 8 PJ (RC-scenario) of 8 tot 16 PJ (GE-scenario)</li> <li>• Utiliteitsbouw: 4 tot 8 PJ (RC-scenario) of 8 tot 16 PJ (GE-scenario)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Woningbouw: de hoogte van het potentieel is afhankelijk van het tempo van nieuwbouw en renovatie. De lage raming is conform het RC-scenario uit de WLO, de hoge raming is conform het GE-scenario. In beide gevallen is verondersteld dat bij 50% van de nieuwbouw en bij 10% van de renovatie WKO wordt toegepast. Voor GE in totaal 850.000 woningen, voor RC 450.000 woningen. Vanwege de lage temperatuur (30 tot 40 °C) is muur- en/of vloerverwarming en een goede isolatie nodig. Voor warm tapwater is bovendien een aparte voorziening nodig.</li> <li>• Utiliteitsbouw: het betreft de besparing op koeling. Verondersteld is dat in 2040 bij 30% van de totale utiliteitsbouw WKO kan worden toegepast. Daarbij is uitgegaan van een hoger nieuwbouwtempo dan in de woningbouw.</li> </ul>
I&M 2011b	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.200 open systemen</li> <li>• 10.000 gesloten systemen</li> </ul>	11 PJ	Niet vermeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 11 PJ gebaseerd op extrapolatie van de groei van de afgelopen jaren:</li> <li>• 10% per jaar voor open systemen</li> <li>• 30% per jaar voor gesloten systemen</li> <li>• hoeveelheid zou in 2020 twee keer zo hoog kunnen zijn, maar het hangt van 'veel factoren' af (waaronder voorgestelde wetswijziging) of dit gehaald wordt.</li> </ul>

## Noten

- 1 Nagenoeg alle aangeslotenen hebben een warmtevraag van minder dan 1.000 kilowatt.
- 2 De gasprijs is vanwege het NMDA-principe in belangrijke mate bepalend voor de prijs van levering aan kleinverbruikers.
- 3 Doorberekenen energiebelasting, de Energie Investerings Aftrek en de Regeling Groen Beleggen (SenterNovem, 2007).
- 4 Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd: energievraag per woning 30 gigajoule en per winkel 215 gigajoule; geleidelijke uitbreiding van warmtenet in 10 jaar; investeringen in warmtenet en in aansluitingen respectievelijk 16 en 5 miljoen euro (de aansluitkosten worden in rekening gebracht bij de afnemers); inkooprijke warmte in de eerste 4 jaar 26 euro/gigajoule (warmte van tijdelijke voorziening), daarna 10 euro/gigajoule (restwarmte van STEG); 20 procent van de warmte wordt geleverd door piekketels. Maximum-verkooprijke (gebaseerd op NMDA-principe) 18 euro/gigajoule en vastrecht 225 euro. De gasprijs stijgt met 1,5 procent per jaar. De discontovoet bedraagt 8,1 procent.
- 5 Jaarlijkse stijging van de gasprijs met 3 procent in plaats van 1,5 procent; inkooprijke warmte en investeringskosten beide 20 procent lager.
- 6 Theoretisch kan met een dergelijk vermogen jaarlijks 130 tot 470 terajoule energie worden geleverd. Doordat de warmtevraag in de zomer echter beperkt is zal het aantal vollasturen in de orde van 2.500 tot 3.000 liggen. Voor de glastuinbouw ligt dit iets hoger: 3.000 à 3.500 uur (SenterNovem 2007).
- 7 Volgens Rebel (2010) is de aanleg van een warmtenet in een binnenstedelijke omgeving ongeveer twee keer zo duur als in een nieuwbouwsituatie. De kosten voor de aanleg van een distributienet (exclusief aansluitingen) van 4.000 bestaande woningen in een binnenstad worden in Rebel (2010) geraamd op 31 miljoen euro. Voor de aanleg van een distributienet voor 5.000 nieuwbouwwoningen en 50 winkels worden de kosten geraamd op 16 miljoen euro.
- 8 De temperatuur van het warme grondwater is circa 15 tot 25 °C. Met warmtepompen kan de temperatuur worden verhoogd tot 40 à 55 °C (SenterNovem 2007).

# Potentieel gebouwmaatregelen

Om te kunnen bepalen in hoeverre de in hoofdstuk 9 gepresenteerde modeluitkomsten voor het potentieel van gebouwmaatregelen (zoals energiebesparing en gebouwgebonden energieproductie<sup>1)</sup> valide zijn, is nagegaan welke informatie beschikbaar is over toekomstige besparingspotentiëlen (inclusief kosten). We vatten hier eerst de resultaten van de twee belangrijkste bronnen samen, en bespreken die bronnen daarna uitvoeriger.

## 6.1 Samenvatting

In het rapport *Energieprestatie-eisen bestaande woningen* (CE 2009c) is geraamd welke besparing op aardgas kan worden bereikt als alle bestaande woningen (gebouwd voor 2000) worden opgewaardeerd tot label B of hoger. Daarvoor wordt het zogeheten comfortpakket ingezet. Voor woningen van corporaties is het totale besparingspotentieel 46 petajoule en voor particuliere woningen 114 petajoule. Ook is geraamd welk deel van dit potentieel op rendabele wijze kan worden gerealiseerd. Dit is bij woningen van corporaties 42 petajoule en bij particuliere woningen 28 petajoule. Hoewel in het rapport 2020 als zichtjaar is gebruikt, kunnen de potentiëlen als maatgevend voor latere perioden worden beschouwd, omdat het potentieel is berekend op basis van de veronderstelling dat *alle* bestaande woningen tot label B worden opgewaardeerd. Feitelijk maakt het niet veel uit in welk jaar dat wordt gerealiseerd.

De factsheets van het *Optiedocument* van ECN geven informatie over energiebesparingspotentiëlen (voor 2020) en kosteneffectiviteiten van individuele maatregelen. Uit de factsheets blijkt dat het besparingspotentieel van isolatiemaatregelen in de bestaande woning- en utiliteitsbouw circa 90 petajoule bedraagt, waarvan 60 petajoule in de woningbouw en 30 petajoule in de utiliteitsbouw. Hierbij is verondersteld dat alle woningen en gebouwen die vóór 1995 zijn gebouwd worden geïsoleerd. Het potentieel in de woningbouw is daarmee circa 100 petajoule lager dan in het rapport van CE is geraamd. De reden hiervoor is niet bekend. Met andere gebouwmaatregelen, zoals warmtepompen en zonneboilers, kunnen in 2050 aanvullend enkele tientallen petajoules energiebesparing worden gerealiseerd. Een preciezer inschatting van de aanvullende energiebesparing kan niet worden gegeven. Enerzijds omdat de ramingen in de factsheets voor 2020 gelden en rekening houden met de implementatiesnelheid waardoor geen 100 procent penetratie mogelijk is in 2020. Anderzijds omdat de waarden die in de factsheets worden vermeld alleen gelden als de maatregelen afzonderlijk worden genomen; als ze in combinatie met isolatiemaatregelen worden genomen, zal het effect kleiner zijn dan vermeld.

## 6.2 Potentieel en kosten bij toepassing van het comfortpakket

De belangrijkste conclusies uit het rapport *Energieprestatie-eisen bestaande woningen* (CE 2009c) luiden als volgt.

- Als de bestaande woningen van woningcorporaties worden opgewaardeerd tot B-label, kan in totaal circa 2,6 megaton CO<sub>2</sub>-reductie worden gerealiseerd; dat komt overeen met ongeveer 46 petajoule aardgas. Daarvan kan 2,4 megaton (42 petajoule aardgas) worden gerealiseerd met rendabele investeringen, op voorwaarde dat woningcorporaties de tijd krijgen om tijdens renovaties en natuurlijke momenten te investeren; anders worden de kosten fors hoger.
- Bij 22 procent van de particuliere woningen die voor 2000 zijn gebouwd, is een B-label met rendabele maatregelen te realiseren. De CO<sub>2</sub>-reductie bedraagt in dat geval circa 1,6 megaton (28 petajoule aardgas). Dit rendabele deel is veel lager dan bij corporatiewoningen, omdat de maatregelen minder vaak tijdens complexgewijze renovaties en op natuurlijke vervangingsmomenten kunnen worden genomen. Daardoor zijn de kosten hoger. De gemiddelde gewogen investering om tot een B-label te komen, bedraagt ruwweg 10.000 euro. Bij een groot deel van de woningen zijn de investeringen lager, maar vooral bij vrijstaande woningen juist fors hoger. Als alle – dus ook de onrendabele – particuliere woningen een B-label verkrijgen, bedraagt de CO<sub>2</sub>-reductie circa 6,5 megaton (114 petajoule aardgas).

Bij de raming van het besparingspotentieel en de kosten is de volgende methodiek gehanteerd.

- Er is in kaart gebracht wat de labelverdeling is van de woningen die vóór 2000 zijn gebouwd: circa 8 procent heeft een F- of G-label, 45 procent een E-label, 29 procent een D-label en 18 procent een B- of C-label.
- De potentiëlen en kostenramingen zijn gebaseerd op het zogeheten comfortpakket. Dit pakket omvat de volgende maatregelen: vloerisolatie, dakisolatie (plat of hellend), gevelisolatie (spouw), HR++-glas, combiwaterketel (HR107) en collectieve ketel (HR107). Per type woning is bepaald welke maatregelen uit het pakket van toepassing zijn op dat type woning. In het CE-rapport (2009c) zijn ook potentiëlen en kosten van het zogenoemde comfort+-pakket in kaart gebracht. Dit pakket bestaat uit het comfortpakket, waaraan individuele of collectieve zonneboilers zijn toegevoegd. Het potentieel is daardoor iets hoger dan hiervoor vermeld, maar het pakket is in alle gevallen onrendabel.
- De kosteneffectiviteit is berekend door de jaarlijkse kosten (inclusief hypotheek voor de investeringskosten

en btw) te verminderen met de jaarlijkse besparing door afname van het gasgebruik en eventuele toe-/afname van het hulpelektriciteitsgebruik. Daarbij is uitgegaan van een hypothecaire lening voor de investeringskosten met een rentepercentage van 5 procent.

## 6.3 Potentiëlen en kosten van individuele maatregelen volgens factsheets

In schema 6.1 zijn gegevens weergegeven uit de factsheets die ECN in het kader van het *Optiedocument* heeft opgesteld.<sup>2</sup> In de factsheets worden potentiëlen voor 2020 vermeld.

In de meeste gevallen mogen de vermelde potentiëlen niet bij elkaar worden opgeteld, omdat er interactie is tussen de beschreven technologieën.<sup>3</sup>

Opgemerkt wordt dat er geen factsheet is voor zon-PV voor de utiliteitsbouw, terwijl dat in Vesta een techniek is met een groot potentieel.

Schema 6.1

## Potentiële en kosten van individuele maatregelen

Maatregel	Potentieel 2020	Kosten	Uitgangspunten
Vraagbeperking nieuwbouw (woningbouw)	4 PJ op aardgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nationaal 1.810 €/ton CO<sub>2</sub></li> <li>Eindgebruiker 1.898 €/ton CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentieel als 1,3 miljoen nieuwbouwwoningen, die volgens GE-scenario in de periode 2010-2020 worden gebouwd, een gebouwschil met een twee keer zo hoge warmteweerstand krijgen als een gemiddeld nieuwbouwhuis onder de EPC (Rc = 10 versus Rc = 5).</li> <li>Het potentieel geldt ten opzichte van een EPC van 0,8.</li> </ul>
Vraagbeperking bestaande bouw (woningbouw)	61 PJ op aardgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nationaal 256 €/ton CO<sub>2</sub></li> <li>Eindgebruiker 88 €/ton CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentieel als alle woningen die zijn gebouwd vóór 1995 worden geïsoleerd. Daarbij gaat het om circa 4 miljoen woningen. Alle daken, gevels en vloeren worden geïsoleerd tot Rc = 2,5.</li> </ul>
HR-ketels met warmtepomp (woningbouw)	14 PJ op aardgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nationaal 1.780 €/ton CO<sub>2</sub></li> <li>Eindgebruiker 1.700 €/ton CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentieel als in 2020 30 procent van de HR107-ketels wordt vervangen door ketels die gebruikmaken van een warmtepomp.</li> </ul>
Zonneboilers bestaande bouw (woningbouw)	2,5 PJ op aardgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nationaal 982 €/ton CO<sub>2</sub></li> <li>Eindgebruiker 841 €/ton CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentieel als 600.000 bestaande woningen worden voorzien van een zonneboiler. Daarbij is verondersteld dat ongeveer 45 procent kan worden bespaard op aardgasgebruik voor warm tapwater.</li> </ul>
Zon-PV (woningbouw)	8 PJ op elektriciteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nationaal 715 €/ton CO<sub>2</sub></li> <li>Eindgebruiker 171 €/ton CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentieel gebaseerd op bedekkingsgraad van 6,5 procent van het beschikbare dakoppervlak in de gebouwde omgeving. Dit komt overeen met 26 miljoen m<sup>2</sup> zonnepanelen, met een vermogen van 3 GW.</li> </ul>
Elektrische warmtepomp in nieuwbouw (woningbouw)	11,8 PJ op aardgas, ten koste van 2,3 PJ extra elektriciteitsgebruik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nationaal 485 €/ton CO<sub>2</sub></li> <li>Eindgebruiker 426 €/ton CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentieel als 30 procent van de nieuwbouwwoningen die in de periode 2010-2020 volgens het GE-scenario worden gebouwd (oftewel 35.000 woningen) wordt voorzien van een elektrische warmtepomp.</li> </ul>
Vraagbeperking nieuwbouw (utiliteitsbouw)	3,4 PJ op aardgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nationaal 1.807 €/ton CO<sub>2</sub></li> <li>Eindgebruiker 2.624 €/ton CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vanwege het gebrek aan betrouwbare gegevens is verondersteld dat de warmtevraag van gebouwen in de handel, diensten en overheid welke zijn gebouwd tussen 2010 en 2020, met een gelijk percentage kan worden gereduceerd als die van nieuwbouwwoningen die in dezelfde periode zijn gebouwd. Tevens is verondersteld dat de kosten per bespaarde PJ in beide sectoren gelijk zijn.</li> <li>Niet vermeld wordt hoeveel gebouwen in de periode 2010-2020 worden gebouwd. Wel wordt vermeld dat ongeveer 30 procent van de gebouwvoorraad in 2020 na 2005 is gebouwd.</li> </ul>



Maatregel	Potentieel 2020	Kosten	Uitgangspunten
Vraagbeperking bestaande bouw (utiliteitsbouw)	29 PJ op aardgas	Nationaal 334 €/ton CO <sub>2</sub> Eindgebruiker 469 €/ton CO <sub>2</sub>	Potentieel als alle gebouwen die zijn gebouwd vóór 1995 worden geïsoleerd. Volgens het GE-scenario gaat het daarbij om 45 procent van de bouwvoorraad in 2020. Vanwege het gebrek aan betrouwbare gegevens voor de utiliteitsbouw is verondersteld dat het potentiële besparingspercentage gelijk is aan dat in de woningbouw (zie boven). Tevens is verondersteld dat de kosten per bespaarde PJ in beide sectoren gelijk zijn.
Zonneboilers (utiliteitsbouw)	0,5 PJ op aardgas	Nationaal 982 €/ton CO <sub>2</sub> Eindgebruiker 1.149 €/ton CO <sub>2</sub>	Verondersteld is dat de besparing door grote zonthermische systemen (met name voor zwembaden, zorginstellingen en autowasstraten) drie keer zo hoog is als in het GE-scenario; in dat scenario neemt de besparing toe van 0,2 PJ in 2003 tot 0,3 PJ in 2020.
Elektrische warmtepompen voor verwarming (utiliteitsbouw)	2,7 PJ op aardgas, ten koste van 0,7 PJ extra elektriciteitsgebruik	Nationaal 224 €/ton CO <sub>2</sub> Eindgebruiker 340 €/ton CO <sub>2</sub>	Warmtepompen worden hoofdzakelijk toegepast in nieuwbouwprojecten. Verondersteld is dat het tempo drie keer zo hoog is als in het GE-scenario.

Bron: ECN, factsheets Optiedocument

### Noten

- 1 Zoals warmteboilers, zon-PV, warmtepompen en micro-warmtekracht.
- 2 Deze factsheets zijn te vinden op <http://www.ecn.nl/nl/units/ps/archive/nas/optiedocument/optiedocument-2010-2020/factsheets/>.
- 3 Als bijvoorbeeld warmtevraagbeperking (isolatie) en HR-ketels met een hoger rendement worden gecombineerd, is het totale potentieel kleiner dan de som van de in de tabel aangegeven potentiëlen.

# Niet-economische belemmeringen

## 7.1 Inleiding

In paragraaf 2.1 is aangegeven dat met het model twee varianten zijn doorgerekend:

- Een variant waarbij het technisch-economische potentieel van *alle* sectoren wordt gerealiseerd.
- Een variant waarbij alleen het technisch-economische potentieel van een *selectie* van sectoren uit de gebouwde omgeving en glastuinbouw wordt gerealiseerd.

In dit hoofdstuk wordt beschreven waar de selectie op is gebaseerd. Er worden belemmeringen in kaart gebracht die ervoor kunnen zorgen dat maatregelen of projecten, die op zich rendabel zijn, in de praktijk toch niet worden geïmplementeerd: zogenoemde niet-economische belemmeringen. Uit de analyse – samengevat in tabel 7.1 – blijkt dat voor bepaalde sectoren uit de gebouwde omgeving minder belemmeringen gelden dan voor andere. In beginsel zijn dit de sectoren die geselecteerd zijn voor de modelberekeningen die in het kader van de tweede variant zijn uitgevoerd, zoals eigenaren-bewoners, kantoren en glastuinbouw. In sommige gevallen is er echter gemotiveerd van afgeweken.

## 7.2 Gedragsmodel voor de beschrijving van niet-economische belemmeringen

Voor de beschrijving van de niet-economische belemmeringen wordt aangesloten bij een gedragsmodel dat door CE Delft wordt gehanteerd (zie bijvoorbeeld CE 2006 en CE 2010). Daarin is het uitgangspunt dat rendabele maatregelen pas genomen worden als de sectoren aan een aantal voorwaarden voldoen, die samengevat kunnen worden als willen, weten en kunnen:

- Sectoren moeten het willen (bijvoorbeeld vanwege een lagere energierekening of vanwege aandacht voor het klimaatprobleem).
- De benodigde kennis moet aanwezig zijn, hetzij bij de opdrachtgever, hetzij bij uitvoerende partijen (bijvoorbeeld aannemers en installateurs).
- Sectoren moeten de maatregelen kunnen uitvoeren (bijvoorbeeld in staat zijn de benodigde investeringen te financieren).

Belemmeringen zijn vooral relevant voor zover er geen verplichtende beleidsinstrumenten van kracht zijn. Als die er wel zouden zijn is het immers minder van belang of een sector de wil heeft om CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen te nemen. De belemmeringen gelden dan ook niet zozeer voor nieuwbouw (daar geldt meestal een energieprestatiecoëfficiënt (EPC)), maar vooral voor de bestaande bouw. Binnen de bestaande woningbouw gelden momenteel geen verplichtingen, maar alleen vrijwillige afspraken (bijvoorbeeld via het Meer Met

Minder-initiatief). In de utiliteitsbouw geldt in het kader van de Wet milieubeheer weliswaar de verplichting om energiebesparende maatregelen te nemen met een terugverdientijd van minder dan 5 jaar, maar de handhaving daarop is niet erg strikt. Uiteraard kan de wetgeving voor de bestaande bouw in de periode tot 2050 een meer verplichtend karakter krijgen. Een voorwaarde voor het invoeren van een verplichtend instrumentarium blijft echter wel dat de sectoren kunnen beschikken over voldoende kennis en daadwerkelijk de maatregelen kunnen uitvoeren, waaronder de financiering.

De niet-economische belemmeringen zijn in paragraaf 7.3 voor de onderscheiden sectoren afzonderlijk in kaart gebracht. Het doel hiervan is om per sector te kunnen vaststellen hoe groot de waarschijnlijkheid is dat er daadwerkelijk rendabele maatregelen worden genomen. Dit heeft geleid tot de selectie van sectoren die in paragraaf 2.2 is gepresenteerd.

Hoewel het gedragsmodel van CE (2006, 2010) vooral bedoeld is voor de beschrijving van belemmeringen voor gebouwmaatregelen, kan in de meeste gevallen worden verondersteld dat het ook geldt voor gebiedsmaatregelen. Daarbij wordt de kanttekening geplaatst dat de belemmeringen die voor gebieds-maatregelen gelden om een aantal redenen een ander, meer complex karakter hebben dan die voor gebouw-maatregelen. Bij gebouwmaatregelen kan de eigenaar<sup>1</sup> van de woning, het gebouw of de kas zelf beslissen om deze al dan niet te implementeren. Bij gebiedsmaatregelen geldt dat de bereidheid van de potentiële afnemers om te participeren in een nieuw warmteproject – met name bij grootschalige renovatie<sup>2</sup> – weliswaar een noodzakelijke, maar geen voldoende voorwaarde is om een warmteproject daadwerkelijk te realiseren. Bij de besluitvorming rond dergelijke projecten zijn immers veel meer partijen betrokken, die alle de wil moeten hebben om het project uit te voeren. Het kan daarbij gaan om een energiebedrijf, een warmteleverancier, een projectontwikkelaar, en een provincie en/of gemeente. Deze partijen hebben doorgaans uiteenlopende belangen en hanteren verschillende zichttermijnen:

- Aan de kant van de investeerder (doorgaans de warmteleverancier) geldt als knelpunt dat er gezien de lange looptijd van projecten (circa 30 jaar) onzekerheid bestaat over de financiële risico's. Niet alleen de inkoopprijs voor warmte kan variëren, maar ook de verkoopprijs omdat deze vanwege het niet-meer-dan-anders-principe is gekoppeld aan de gasprijs. Ook kan er onduidelijkheid zijn over de omvang van de afname (en dus de opbrengsten), omdat potentiële afnemers niet kunnen worden verplicht om zich op een warmtenet aan te sluiten. Deze onduidelijkheid speelt met name in de bestaande bouw, terwijl daar het

grootste potentieel ligt (CE 2009a). Sowieso zijn de terugverdientijden lang omdat de benodigde investeringen hoog zijn in verhouding tot de jaarlijkse opbrengsten.

- Voor elektriciteitscentrales en industriële bedrijven is er in de huidige situatie vaak onvoldoende drijfveer om warmte te leveren: er is geen verplichting om dat te doen en bedrijven boeken er ook geen grote financiële voordelen mee (CE 2009a). Er is bij levering van restwarmte aan een distributieproject geen sprake van normale marktwerking en opbrengstmaximalisatie, maar van een monopoliesituatie, waarin tegen kostprijs (of geringe extra opbrengsten) geleverd wordt. Voor de meeste bedrijven is warmtelevering geen corebusiness en is het geen aantrekkelijk idee om zich daar voor lange tijd aan te committeren, omdat het de vrijheden bij de gewone bedrijfsuitvoering zou kunnen inperken. Afvalverwerkingsinstallaties hebben vanwege verplichtingen in de Wet milieubeheer en de IPPC wel een stevige prikkel om warmte te leveren. In de nabije toekomst kan er een positieve prikkel voor elektriciteitscentrales ontstaan, omdat zij in de derde handelsperiode (2013-2020) van het ETS-systeem gratis emissierechten voor warmtelevering zullen krijgen.
- Onduidelijkheden in de huidige wetgeving en lange vergunningtrajecten vormen voor projectontwikkelaars en ondernemers in de glastuinbouw een risico voor het kritische tijdspad van een nieuwbouw- of renovatieproject (LEI 2008). Om deze risico's te vermijden zal een projectontwikkelaar geneigd zijn om te kiezen voor verwarming met gas. De voorgestelde aanpassingen in wetgeving (zie bijlage 2) zijn er op gericht om op deze punten verbetering aan te brengen. Het feit dat voor gebiedsmaatregelen meer en complexere belemmeringen gelden dan voor gebouwmaatregelen betekent niet per definitie dat deze in de praktijk minder kans van slagen hebben. Wel lijkt de aanwezigheid van één of meerdere regisseurs die zich gecommitteerd voelen om een grootschalig warmteproject tot stand te brengen een belangrijke succesfactor. Deze regisseurs zouden kansen in kaart en partijen bij elkaar moeten brengen, en zorgen voor contractvorming en realisatie. Hier lijkt een belangrijke rol weggelegd voor lokale overheden. Ten slotte geldt dat in veel gevallen schoon gas en schone elektriciteit een goed alternatief zijn, als de belemmeringen voor gebouw- en gebiedsmaatregelen niet overwonnen kunnen worden.

Tabel 7.1

**Waardering van belemmeringen voor implementatie van rendabele CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen, per sector**

Sector	Willen	Weten	Kunnen
Eigenaren-bewoners	Laag	Laag	Afhankelijk van de financiële positie (inkomen en vermogen)
Sociale huursector	Aanwezig	Hoog	Beperkt: corporaties hebben momenteel slechte financiële positie
Particuliere huursector	Laag	Laag	Bij institutionele beleggers: redelijk Bij particuliere verhuurders: niet bekend
Kantoren	Laag	Laag	Vermoedelijk laag: het gaat momenteel slecht met de kantorenmarkt
Ziekenhuizen en Zorg	Hoog	Redelijk, maar dalend	Beperkt, vanwege relatief lage normbedragen voor instandhouding gebouwen
Winkels	Laag	Laag	Afhankelijk van de financiële positie
Onderwijs: primair en voortgezet	Laag	Beperkt aanwezig	Laag
Onderwijs: universiteiten en hbo's	Aanwezig	Aanwezig	Niet bekend
Bedrijfshallen	Bijzonder laag	Beperkt aanwezig	Niet bekend
Horeca	Niet bekend, maar vermoedelijk laag	Niet bekend, maar vermoedelijk laag	Niet bekend
Glastuinbouw	Niet bekend, maar vermoedelijk hoog	Niet bekend, maar vermoedelijk hoog	Niet bekend

### 7.3 Overzicht niet-economische belemmeringen

In tabel 7.1 wordt een waardering gegeven van de mate waarin in de onderscheiden sectoren niet-economische belemmeringen gelden. De tabel is een samenvatting van de meer uitgebreide beschrijvingen die in bijlage 1 staan. De daarin vermelde informatie is gebaseerd op (CE 2006, 2009a, 2010). In tabel 7.1 zijn de bevindingen over de aspecten 'willen', 'weten' en 'kunnen' samengevat door middel van kwalitatieve aanduidingen als 'laag', 'hoog', 'aanwezig' of 'beperkt aanwezig'.

De tabel is gebruikt bij de vaststelling van de sectoren die in paragraaf 2.1 in het kader van de tweede variant zijn geselecteerd. Bij die selectie is echter niet altijd strak de beoordeling in tabel 7.1 gevolgd:

- In de tabel worden bij de eigenaren-bewoners 'willen' en 'weten' als laag beoordeeld; desondanks zijn eigenaren-bewoners boven een bepaalde inkomensgrens in de tweede variant toch geselecteerd.
- In de tabel wordt onderscheid gemaakt tussen de sociale huursector en de particuliere huursector, waarbij de sociale huursector (veel) beter scoort op 'willen' en 'weten' dan de particuliere huursector. In

het Vesta-model kan dit onderscheid echter niet worden gemaakt, en heeft een selectie – binnen de gehele huursector – plaatsgevonden op grond van bouwperiode.

- De selectie binnen de utiliteitsbouw van ziekenhuizen, zorginstellingen, HBO's en universiteiten kan worden gemotiveerd op grond van de beoordeling in de tabel. De selectie in de tweede variant omvat echter ook bedrijven met meer dan 100 werknemers. Deze bedrijven zijn toegevoegd op basis van de (eigen) inschatting dat niet-economische belemmeringen vanaf deze schaalgrootte ook bij kantoren, winkels en dergelijke een minder grote rol zullen gaan spelen.

**Noten**

- 1 In de gebouwde omgeving is dit de eigenaar-bewoner of de verhuurder.
- 2 Bij nieuwbouw hebben de toekomstige afnemers (de bewoners) waarschijnlijk veel minder inspraak in de besluitvorming over de manier waarop in de warmtevoorziening van de woning of het gebouw wordt voorzien (met gas dan wel restwarmte, geothermie of WKO).

# Uitkomsten van modelberekeningen

## 8.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 zijn de routes beschreven die kunnen leiden tot een verduurzaming van de warmte- en koudevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw in 2050. De routes kenmerken zich door twee categorieën van maatregelen: gebouw- en gebiedsmaatregelen. De gebouwmaatregelen omvatten zowel warmtebesparing als warmteaanbodtechnieken die ‘achter de meter’ zijn opgesteld, zoals zonneboilers en warmtepompen. Beide zorgen voor een verlaging van de warmtevraag van gebouwen. De gebiedsmaatregelen zoals restwarmte, geothermie en warmte-koudeopslag (WKO) zorgen voor een collectief schoner aanbod van warmte en koude voor gebouwen.

De zonnecel (Zon-PV) die duurzame elektriciteit produceert, kan op daken en gevels worden geïnstalleerd. Deze maatregel concurreert niet met de warmte- en koudeopties en kan zonder de andere maatregelen maar ook additioneel bij elke andere route worden ingezet. We hebben het potentieel van deze optie daarom apart bekeken. Andere opties om elektriciteitsgebruik te verduurzamen, zoals het verbeteren van de efficiëntie van elektrische apparaten en verlichting, hebben we niet bekeken. Ook kleine windmolens op gebouwen of in wijken zijn niet meegenomen.

In tabel 8.1 zijn de verschillende routes die met het Vesta-model zijn doorgerekend verder uitgewerkt. Het gaat hierbij om de volgende routes:

- **Gebouwmaatregelen:** een route met alleen gebouwmaatregelen voor besparing op en opwekking van warmte.
- **Gebiedsmaatregelen:** een route met alleen inzet van gebiedsmaatregelen voor warmte en koude.
- **Combinatieroute:** een route waarbij eerst gebouwmaatregelen worden getroffen gevolgd door de inzet van gebiedsmaatregelen.

Bij alle routes is gekeken naar het rendabele potentieel bij verschillende energieprijzen en het technische potentieel van alle maatregelen.

De uitkomsten worden gegeven in een bandbreedte, omdat de ontwikkelingen tot 2050 onzeker zijn. De kosteneffectiviteit van energiemaatregelen wordt in sterke mate bepaald door de investeringskosten en de energieprijzen. In de studie nemen we aan dat de energiemaatregelen tussen 2010 en 2050 worden genomen. Het is dan logisch om de kosten en energieprijzen conform de ontwikkeling in deze periode te hanteren.

Vanwege de onzekerheid over de ontwikkeling van energieprijzen en investeringskosten in de periode 2010 tot 2050 zijn daarom twee uiterste varianten beschouwd. In variant A ‘lage energieprijzen en hoge investeringskosten’ zijn alle energiemaatregelen doorgerekend met de energieprijzen uit het jaar 2010 en zijn de kosten van de isolatiemaatregelen gebaseerd op een individuele aanpak voor particulieren. Deze variant geeft een ondergrens voor de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot van rendabele energiemaatregelen, omdat gerekend wordt

Tabel 8.1

**De routes en hun maatregelpakketten**

Route	Maatregelen
Gebouwmaatregelen	Isolatie van bestaande gebouwen: in 2050 hebben de huidige woningen een label B voor energie-efficiency. Bestaande utiliteit treft vergelijkbare maatregelen voor gebouwverbetering. Inzet zonneboiler voor woningen en utiliteit. Alle nieuwe gebouwen zijn voorzien van een elektrische warmtepomp. Glastuinbouw: geen maatregelen.
Gebiedsmaatregelen	Inzet van lokale warmte in de volgorde: - Restwarmte - Geothermie - WKO - Wijk-WKK De keuze van deze volgorde is ingegeven door de verwachte nationaal totale en energiespecifieke CO <sub>2</sub> -emissie die met deze gebiedsmaatregelen kan worden vermeden. Dit is een robuuste benadering voor heel Nederland maar is afhankelijk van meerdere specifieke en lokale omstandigheden.
Combinatie gebouw- en gebiedsmaatregelen	Eerst worden de gebouwmaatregelen getroffen en daarna de gebiedsmaatregelen.
Zon-PV-optie	Inzet zon-PV: 10 m <sup>2</sup> per dak voor woningen (bij meerdere woningen onder 1 dak wordt dit gedeeld door het aantal woningen) en 80% van het dakoppervlak van utiliteitsgebouwen.

met relatief lage energieprijzen en relatief hoge investeringskosten.

In variant B 'hoge energieprijzen en lage investeringskosten' zijn de toekomstige energieprijzen van de meest recente actualisatie van de *Referentieraming energie en emissie* (PBL 2012) gehanteerd en zijn de kosten van de isolatiemaatregelen gebaseerd op een projectmatige aanpak. In deze variant wordt dus gerekend met relatief hoge energieprijzen en relatief lage investeringskosten. Deze variant geeft daarom een bovengrens voor de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot van rendabele energiemaatregelen.

In werkelijkheid is onbekend hoe de energieprijzen en de investeringskosten zich ontwikkelen. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de energieprijzen in 2050 nog hoger worden dan volgens de Referentieraming. Door voor de hele periode tot 2050 te werken met enerzijds de huidige energieprijzen én hoge investeringskosten; en anderzijds de toekomstige energieprijzen uit de Referentieraming én de lage investeringskosten, wordt de CO<sub>2</sub>-reductie van rendabele maatregelen gepresenteerd als bandbreedte die hoort bij een energieprijzen- en kostenontwikkeling over de gehele periode 2010-2050.

In variant A is de gasprijs 64 cent per kubieke meter voor woningen en kleine utiliteitsbedrijven en 20 cent per kubieke meter voor grote utiliteitsbedrijven. In variant B is de gasprijs 80 cent per kubieke meter voor woningen en kleine utiliteitsbedrijven en 41 cent per kubieke meter voor grote utiliteitsbedrijven.

Daarnaast worden de lokale warmtebronnen doorgerekend met een verdubbeling van de hoge energieprijzen. Met deze prijsvariant voor alleen de lokale warmtebronnen wordt het technisch potentieel van de

lokale warmtebronnen bepaald. Het technische potentieel van de gebouwmaatregelen is onafhankelijk van de energieprijzen en de investeringskosten van de isolatiemaatregelen.

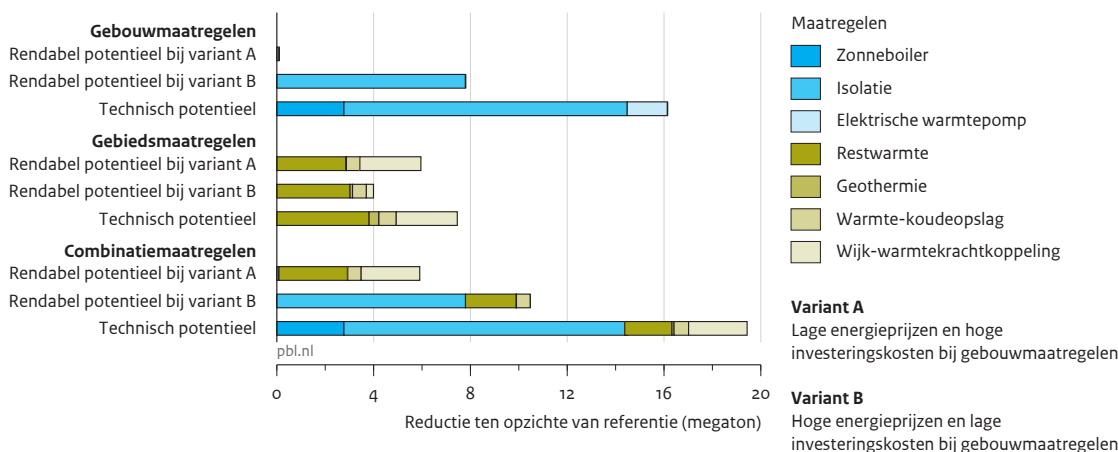
## 8.2 Doelstelling van klimaat

De Europese Commissie heeft de ambitie om de broeikasgasemissies in 2050 met 80 tot 95 procent te verminderen ten opzichte van 1990. Het kabinet-Rutte geeft in de *Klimaatbrief 2050* (I&M 2011a) hieraan invulling door te schetsen hoe Nederland de omslag naar een klimaatneutrale economie kan maken. Om deze doelstelling te halen, is onder andere een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving nodig (PBL & ECN 2011). De beschouwde gebouw- en gebiedsmaatregelen kunnen hieraan bijdragen met een halvering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw in 2050 ten opzichte van 1990.<sup>1</sup>

Als alleen rendabele gebouw- en gebiedsmaatregelen worden genomen, dan is in 2050 de CO<sub>2</sub>-uitstoot 15 tot 30 procent lager dan in 1990. De bandbreedte hangt af van de ontwikkeling van de investeringskosten van de gebouwmaatregelen en de energieprijzen.

Figuur 8.1 geeft het met Vesta berekende CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel in 2050 van de verschillende routes die in tabel 8.1 zijn beschreven. Het rendabele reductiepotentieel is het grootst voor de combinatie van gebouwmaatregelen en gebiedsmaatregelen (6 tot 11 megaton CO<sub>2</sub>). Het rendabele reductiepotentieel voor

Figuur 8.1  
CO<sub>2</sub>-reductie, 2050



Bron: PBL

alleen de geboumaatregelen is 0 tot 8 megaton. Het rendabele reductiepotentieel voor alleen gebiedsmaatregelen is van dezelfde orde van grootte namelijk 4 tot 6 megaton, maar de bandbreedte is kleiner.

Dat de bandbreedte kleiner is, kan voor een deel worden verklaard uit het feit dat de rentabiliteit van de gebiedsmaatregelen minder gevoelig voor de energieprijzen is dan de geboumaatregelen. Een andere reden is dat bij de geboumaatregelen ook gevarieerd is in investeringskosten terwijl dit bij de gebiedsmaatregelen niet is gedaan.

Het technische reductiepotentieel is aanzienlijk groter dan het rendabele potentieel. Het technische reductiepotentieel van de combinatie van gebouw- en gebiedsmaatregelen is 19 megaton CO<sub>2</sub> en daarmee bijna twee keer zo groot als het rendabele potentieel in variant B 'hoge energieprijzen en lage investeringskosten'. Het technische potentieel van geboumaatregelen (16 megaton) is tweemaal zo groot als het rendabele potentieel in variant B 'hoge energieprijzen en lage investeringskosten' (figuur 8.1). Bij gebiedsmaatregelen is het 'technische' potentieel met circa 8 megaton CO<sub>2</sub> 20 procent hoger dan het maximale rendabele potentieel. Hieronder wordt verder ingegaan op de maatregelen.

### 8.2.1 Geboumaatregelen

Het rendabele potentieel in de route met geboumaatregelen bestaat uit de isolatie van vloer, gevel en dak conform label B bij een deel van de woningen en de utiliteitsgebouwen. De zonneboiler en de elektrische warmtepomp zijn niet rendabel in zowel de

variant met lage energieprijzen als hoge energieprijzen. In de tabellen 8.2, 8.3 en 8.4 zijn de woning- en utiliteitstypen weergegeven waarvoor de isolatiemaatregelen naar label B rendabel zijn. De rentabiliteit is onderscheiden voor variant A met lage energieprijzen (energieprijzen 2010) in combinatie met de hoge investeringskosten van geboumaatregelen bij een individuele aanpak; en een variant B met hoge energieprijzen volgens de meest geactualiseerde Referentieraming (PBL 2012) in combinatie met investeringskosten van geboumaatregelen bij een projectmatige aanpak.

Bij variant A (lage energieprijzen en hoge investeringskosten) is 1,6 procent van de bestaande woningen rendabel voor de isolatiemaatregelen. Er zijn geen utiliteitsgebouwen rendabel voor de geboumaatregelen. Bij woningen gaat het vooral om meergezinswoningen uit de periode 1900 tot 1939. Bij variant B (hoge energieprijzen en lage investeringskosten) zijn er veel meer woningen waarvoor de isolatie rendabel is. Ook utiliteitsgebouwen van meerdere deelsectoren zijn rendabel naar label B-niveau te krijgen. Bij een kwart van de huidige woningvoorraad is isolatie rendabel. Het betreft eengezinswoningen tot 1960 en meergezinswoningen van voor de Tweede Wereldoorlog. Niet rendabel zijn eengezinswoningen van latere bouwjaren en meergezinswoningen (zoals galerijflats en bejaardenflats) met een relatief klein oppervlak (kleiner dan 80 vierkante meter) uit alle bouwperiodes. Bij utiliteit is bijna de helft van het vloeroppervlak rendabel te isoleren. Het gaat hierbij om kantoren van de handel, diensten en overheid;



Tabel 8.2

Woningen waarbij isolatie naar label B rendabel is bij variant A 'lage energieprijzen en hoge investeringskosten'

Type woning	Bouwjaar	Aantal woningen	Aandeel totaal
Flats met minder dan 4 verdiepingen	Voor 1800	1.598	0,0%
	1800–1899	4.974	0,1%
	1900–1919	13.372	0,2%
	1920–1939	46.986	0,7%
Etage/flats in grachtenpanden	Voor 1800	5.341	0,1%
	1800–1899	6.325	0,1%
	1900–1919	11.581	0,2%
	1920–1939	7.558	0,1%
Studentenwoningen/flats	Voor 1800	1.003	0,0%
	1800–1899	2.071	0,0%
	1900–1919	3.566	0,1%
	1920–1939	4.319	0,1%
Totaal		108.694	1,6%

ziekenhuizen, verpleging en zorg; en horeca. Gebouwen waarvoor de isolatiemaatregelen niet rendabel zijn, komen voor bij de deelsectoren winkels, onderwijs, autohandel en reparatie en groothandel. Het rendabele potentieel voor de isolatiemaatregelen bedraagt 0 tot 8 megaton CO<sub>2</sub> in 2050. De range wordt omspannen door verschillen in kosten door een projectmatige aanpak van gebouwen (goedkoper) of een individuele aanpak per gebouw (duurder) en door verschillen in energieprijzen in varianten A en B. Bij woningen varieert het potentieel tussen de 0 en 3,5 megaton CO<sub>2</sub>. Het potentieel bij utiliteit varieert tussen de 0 en 4 megaton, maar dit getal is erg onzeker omdat goede gegevens ontbreken over deze gebouwen. Het technische potentieel van gebouwmaatregelen is circa 16 megaton CO<sub>2</sub>. Het grootste deel van dit potentieel bestaat uit isolatiemaatregelen die de woningen naar energieprestatie label B brengen (12 megaton). Dit is het hoogste energieprestatieniveau van bestaande woningen dat is te bereiken met isolatiemaatregelen uit de Voorbeeldwoningen 2011. De zonneboiler en de elektrische warmtepomp zijn bovendien goed voor 3 respectievelijk 2 megaton CO<sub>2</sub>. De zonneboiler bespaart vooral bij woningen, maar nauwelijks in de utiliteit, aangezien de warmwaterbehoefte daar veel kleiner is. Met de zonneboiler en de isolatiemaatregelen kan energieprestatielabel A worden bereikt als ook nog een zonnepaneel wordt geïnstalleerd. Voor bestaande gebouwen is volgens de huidige inzichten geen hoger energieprestatieniveau te bereiken met bestaande technieken tenzij de kosten extreem oplopen. Ook sloop en herbouw van gebouwen zijn vanwege de meestal hoge kosten buiten beschouwing gelaten. In de route voor gebouwmaatregelen is de glastuinbouw niet meegenomen.

### 8.2.3 Gebiedsmaatregelen

Bij de route met gebiedsmaatregelen is de reductie van rendabele maatregelen circa 4 tot 6 megaton (figuur 8.1). Het grootste deel van dit potentieel bestaat uit restwarmte en wijk-WKK (3 en 2,5 megaton). Wijk-WKK heeft het grootste potentieel bij de lage energieprijzen van variant A die zijn gebaseerd op de gerealiseerde energieprijzen van 2010. Het potentieel neemt echter sterk af tot 0,3 megaton bij de hoge energieprijzen van variant B die zijn gebaseerd op geraamde energieprijzontwikkelingen (PBL 2012). Dit komt omdat de geraamde gasprijs harder stijgt dan de elektriciteitsprijs waardoor WKK niet meer zo rendabel is. WKO heeft een klein potentieel van circa 0,5 megaton CO<sub>2</sub>.<sup>2</sup> Het rendabele potentieel van geothermie is slechts 0,1 megaton CO<sub>2</sub>. Bij gebiedsmaatregelen is het 'technische' potentieel gebaseerd op maatregelen die rendabel zijn bij een verdubbeling van de geraamde energieprijzen in 2050. Voor wijk-WKK zijn de energieprijzen 2010 gehanteerd voor de bepaling van het technische potentieel omdat onder deze omstandigheden het rendabele potentieel het grootst is. Bij toenemende energieprijzen neemt de rentabiliteit af. Het technische potentieel voor gebiedsmaatregelen ligt rond de 7 megaton waarvan het merendeel door de inzet van restwarmte (4 megaton) en wijk-WKK (2,5 megaton).

Een kanttekening bij deze berekeningen is dat er gebruik is gemaakt van een contourkaart voor geothermie met een kans van 70 procent of meer op een succesvolle boring. Slechts een zeer klein gedeelte van de Nederlandse bodem voldoet aan dit criterium. Als ook contouren met een kans vanaf 10 procent of een onbekende kans worden meegenomen dan is er een rendabele potentieel mogelijk van 0,5 tot 6 megaton (zie volgende paragraaf).

Tabel 8.3

Woningen waarbij isolatie naar label B rendabel is bij variant B 'hoge energieprijzen en lage investeringskosten'

Type woning	Bouwjaar	Aantal woningen	Aandeel totale woningvoorraad 2008
Herenhuisen/grachtenpanden	Voor 1800	11.695	0,2%
	1800-1899	16.774	0,3%
	1900-1919	27.602	0,4%
	1920-1939	20.127	0,3%
	1940-1959	4.819	0,1%
Boerderijen/tuinderijen	Voor 1800	2.963	0,0%
	1800-1899	9.369	0,1%
	1900-1919	16.773	0,3%
	1920-1939	22.539	0,3%
	1940-1959	18.604	0,3%
Vrijstaand/bungalows	Voor 1800	6.587	0,1%
	1800-1899	21.020	0,3%
	1900-1919	55.464	0,8%
	1920-1939	146.525	2,2%
	1940-1959	119.335	1,8%
Twee-onder-een-kap	Voor 1800	1.133	0,0%
	1800-1899	3.717	0,1%
	1900-1919	18.380	0,3%
	1920-1939	87.583	1,3%
	1940-1959	93.119	1,4%
Rijtjeshuizen/eengezins	Voor 1800	12.815	0,2%
	1800-1899	31.409	0,5%
	1900-1919	107.679	1,6%
	1920-1939	296.533	4,5%
	1940-1959	337.691	5,1%
Flats met minder dan 4 verdiepingen	Voor 1800	1.598	0,0%
	1800-1899	4.974	0,1%
	1900-1919	13.372	0,2%
	1920-1939	46.986	0,7%
	1940-1959	55.039	0,8%
Etagewoningen/maisonettes	Voor 1800	3.895	0,1%
	1800-1899	12.487	0,2%
	1900-1919	39.789	0,6%
	1920-1939	96.376	1,5%
	1940-1959	55.039	0,8%
Etage/flats in grachtenpanden	Voor 1800	5.341	0,1%
	1800-1899	6.325	0,1%
	1900-1919	11.581	0,2%
	1920-1939	7.558	0,1%
	1940-1959	4.319	0,1%
Studentenwoningen/flats	Voor 1800	1.003	0,0%
	1800-1899	2.071	0,0%
	1900-1919	3.566	0,1%
	1920-1939	4.319	0,1%
	Totaal		1.806.535

Tabel 8.4

**Utiliteitssectoren waarbij isolatie naar label B rendabel is bij variant B 'hoge energieprijzen en lage investeringskosten'**

Utiliteitssector	Vloeroppervlak (bvo mln*m <sup>2</sup> )	Percentage totaal
Kantoren	126	19%
Verpleging en verzorging	22	3%
waarvan ziekenhuis	7	1%
Horeca	55	8%
Overige diensten	95	14%
Totaal	305	46%

De volgorde waarin warmtetechnieken worden ingezet (zie tabel 8.1) heeft invloed op het potentieel. Als wijk-WKK of geothermie als eerste wordt toegewezen dan stijgt hun potentieel met 75 procent. Bij WKO verandert het potentieel nauwelijks. Blijkbaar is slechts een beperkt deel van de WKO-locaties rendabel voor andere warmteleveringsopties. De WKO-locaties omvatten een beperkte deelselectie van de gebouwenvoorraad omdat het alleen bij nieuwbouw is toegepast in de berekeningen.

### 8.2.3 Combinatie

De combineroute van gebouw- en gebiedsmaatregelen heeft een rendabel potentieel van 6 tot 11 megaton CO<sub>2</sub> in 2050. Vergeleken met de afzonderlijke routes levert de combinatie van beide routes geen extra rendabel potentieel voor CO<sub>2</sub>-reductie bij variant A 'lage energieprijzen en hoge investeringskosten'. Dit komt omdat er geen rendabel potentieel voor gebouwmaatregelen is bij deze variant. Een combinatie van beide routes voor variant B 'hoge energieprijzen en lage investeringskosten' levert wel extra rendabel potentieel voor CO<sub>2</sub>-reductie. Er zijn namelijk nog veel rendabele restwarmteprojecten mogelijk nadat er gebouwmaatregelen getroffen zijn. Een deel (25 tot 30 procent) van het restwarmtepotentieel van de route van gebiedsmaatregelen kan echter in de combineroute niet meer rendabel worden ingezet omdat er door gebouwmaatregelen minder vraag naar warmte is. Het technisch potentieel van de combineroute is zo'n 19 megaton CO<sub>2</sub>. Dit is ongeveer de helft van de totale uitstoot veroorzaakt door verwarmen en koelen.

### 8.2.4 Zon-PV-optie

Zon-PV heeft een groot technisch potentieel. Met zon-PV kan in 2050 de uitstoot van 22 megaton CO<sub>2</sub> – oftewel ruim de helft van de referentie-emissie van het elektriciteitsverbruik – worden voorkomen. Met name bij utiliteit is het potentieel groot (18 megaton) doordat hier een groot dakoppervlak beschikbaar is. Bij de bestaande utiliteitsgebouwen is het grootste zon-PV-potentieel te vinden bij de sectoren groothandel (26 procent),

autohandel en reparatie (22 procent) en onderwijs (16 procent). Het is echter de vraag of alle geproduceerde elektriciteit kan worden benut, omdat de elektriciteitsproductie van zonnecellen niet gelijktijdig met de vraag naar elektriciteit in de gebouwde omgeving hoeft plaats te vinden. Daardoor zijn de financiële baten moeilijk in te schatten. Ook de ontwikkeling van de aanschafkosten van zonnecellen in de periode 2010-2050 zijn (erg) onzeker. Een analyse van deze onzekerheden valt buiten het bereik van deze studie. Daarom is afgezien van de bepaling van het rendabele potentieel van de zonnecellen.

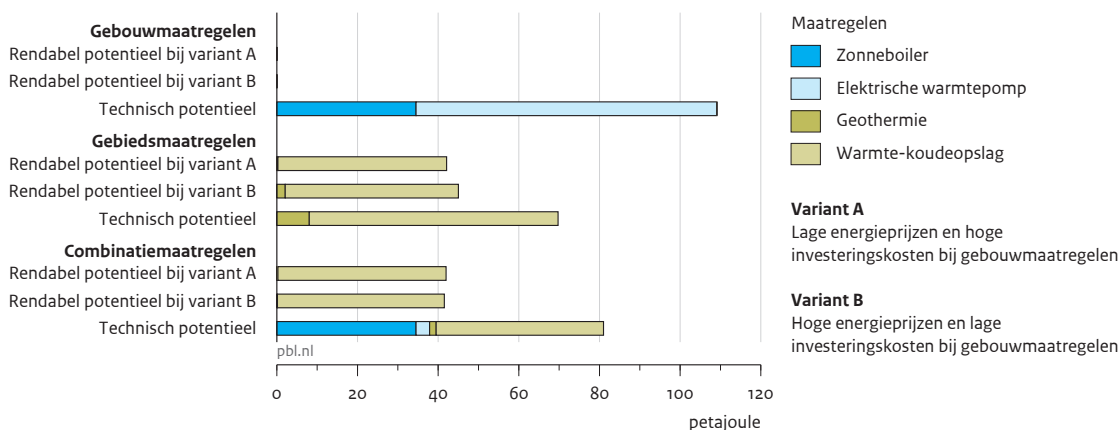
## 8.3 Doelstelling hernieuwbare energie

Naast de Europese klimaatdoelstelling van 80 tot 95 procent emissiereductie van broeikasgassen is er geen aparte doelstelling voor hernieuwbare energie in Nederland voor 2050. Wel zijn er Europese afspraken voor 2020 waarbij het aandeel van hernieuwbare energie in Nederland 14 procent moet bedragen.

Met hernieuwbare energietechnieken van de gebouw- en gebiedsmaatregelen<sup>3</sup> kan een aandeel van hernieuwbare energie in de totale warmtevoorziening van de gebouwde omgeving worden gerealiseerd van 13 tot 18 procent. Met alleen rendabele hernieuwbare energietechnieken<sup>4</sup> wordt een aandeel bereikt van 6 tot 9 procent. De bandbreedtes hangen af van de totale warmtevraag, die wordt beïnvloed door het wel of niet isoleren van gebouwen. Zonnecellen op daken en gevels van woningen en utiliteitsgebouwen kunnen 55 procent van de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw in 2050 produceren. Of en op welke wijze deze elektriciteitsproductie kan worden benut is echter niet onderzocht (zie vorige paragraaf).

De gebouwmaatregelen die bijdragen aan de doelstelling van hernieuwbare energie zijn de zonneboiler en de

Figuur 8.2  
Hernieuwbare energie, 2050



Bron: PBL

elektrische warmtepomp; van de gebiedsmaatregelen zijn het geothermie en warmte-koudeopslag (WKO). Daarnaast is zon-PV als aparte optie beschouwd. In de route met gebouwmaatregelen is noch de zonneboiler noch de elektrische warmtepomp rendabel. Het technische potentieel hiervan is circa 110 petajoule. Hierbij is de elektrische warmtepomp de belangrijkste optie met 75 petajoule, gevolgd door de zonneboiler met 35 petajoule. Het potentieel voor de zonneboiler ligt voor het grootste deel bij woningen (80 procent). Het rendabele potentieel van hernieuwbare energie van de gebiedsmaatregelen bedraagt circa 42 tot 46 petajoule in 2050 (figuur 8.2) en bestaat uit WKO en geothermie. Het potentieel van WKO is het grootst met circa 40 petajoule. Het rendabele potentieel van geothermie is klein (0 tot 2 petajoule) bij een kanskaart van 70 procent of hoger in de route met gebiedsmaatregelen. Dit komt door een beperkte countour voor de benutting van geothermie en doordat restwarmte prioriteit heeft. Als de countour met meer dan 10 procent of een onbekende kans worden beschouwd en geothermie prioriteit heeft dan kan dit potentieel in theorie oplopen naar 30 tot 115 petajoule bij huidige en 55 tot 225 petajoule bij 2050-prijzen (zie volgende paragraaf).

Het technische potentieel voor duurzame energie is circa 70 petajoule in 2050. Hier zijn WKO (62 petajoule) en geothermie (8 petajoule) de opties. De volgorde waarin warmtetechnieken worden ingezet (zie tabel 8.1) heeft invloed op het potentieel. Als geothermie als eerste wordt toegewezen dan stijgt hun potentieel met 75 procent. Bij WKO verandert het potentieel nauwelijks.

Blijkbaar is slechts een beperkt deel van de WKO-locaties rendabel voor andere warmteleveringsopties. In de combinatie bedraagt het rendabele potentieel circa 42 petajoule en wordt bijna volledig door WKO geleverd (zie ook figuur 8.5). Het technische potentieel bedraagt circa 70 petajoule. Hier zijn WKO (40 petajoule) en de zonneboiler (35 petajoule) de belangrijkste opties. De elektrische warmtepomp is hier grotendeels vervangen door gebiedsmaatregelen die voor een deel niet hernieuwbaar zijn.

De elektrische warmtepomp (EWP) en WKO zijn beide relatief nieuwe technieken. Omdat zij gebruik maken van (zeer) lage temperatuursystemen die alleen tegen hoge kosten in bestaande gebouwen zijn te installeren, zijn zij alleen als optie bij nieuwbouw ingezet bij zowel woningen als nieuwbouw. Het potentieel voor WKO en EWP ligt echter vooral (75 procent) bij utiliteit. De EWP is niet rendabel in zowel variant A als B, maar heeft wel een groot technisch potentieel. Het is mogelijk dat de investeringskosten van de EWP nog dalen en de EWP dan wel rendabel is, maar voorspellingen van de investeringskosten van de EWP zijn moeilijk te maken. De WKO heeft een rendabel potentieel van circa 40 petajoule in zowel variant A als B. In de praktijk is de toepassing van WKO vertienvoudigd van 0,2 naar 2,4 petajoule in de periode 2005 tot 2010 (CBS 2011). De modeluitkomsten zijn hiermee in lijn omdat het overgrote deel van de veronderstelde nieuwbouw nog gebouwd moet worden. Zon-PV is een belangrijke gebouwoptie voor de levering van duurzame elektriciteit. Deze optie heeft een technisch potentieel van 140 petajoule. Dit is 55 procent

Tabel 8.5

**Warmte- en koudelevering door gebiedsmaatregelen in 2050 (PJ)**

	Rendabel bij lage energieprijzen	Rendabel bij hoge energieprijzen	Technisch potentieel
Woningen	80	61	113
Utiliteit	109	101	124
Glastuinbouw	0	1	5

van de elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw in 2050. Zoals hierboven aangegeven heeft de utiliteitsbouw het grootste gedeelte van dit potentieel. Of en op welke wijze de elektriciteitsproductie van zon-PV kan worden benut, noch het rendabele potentieel is onderzocht (zie vorige paragraaf).

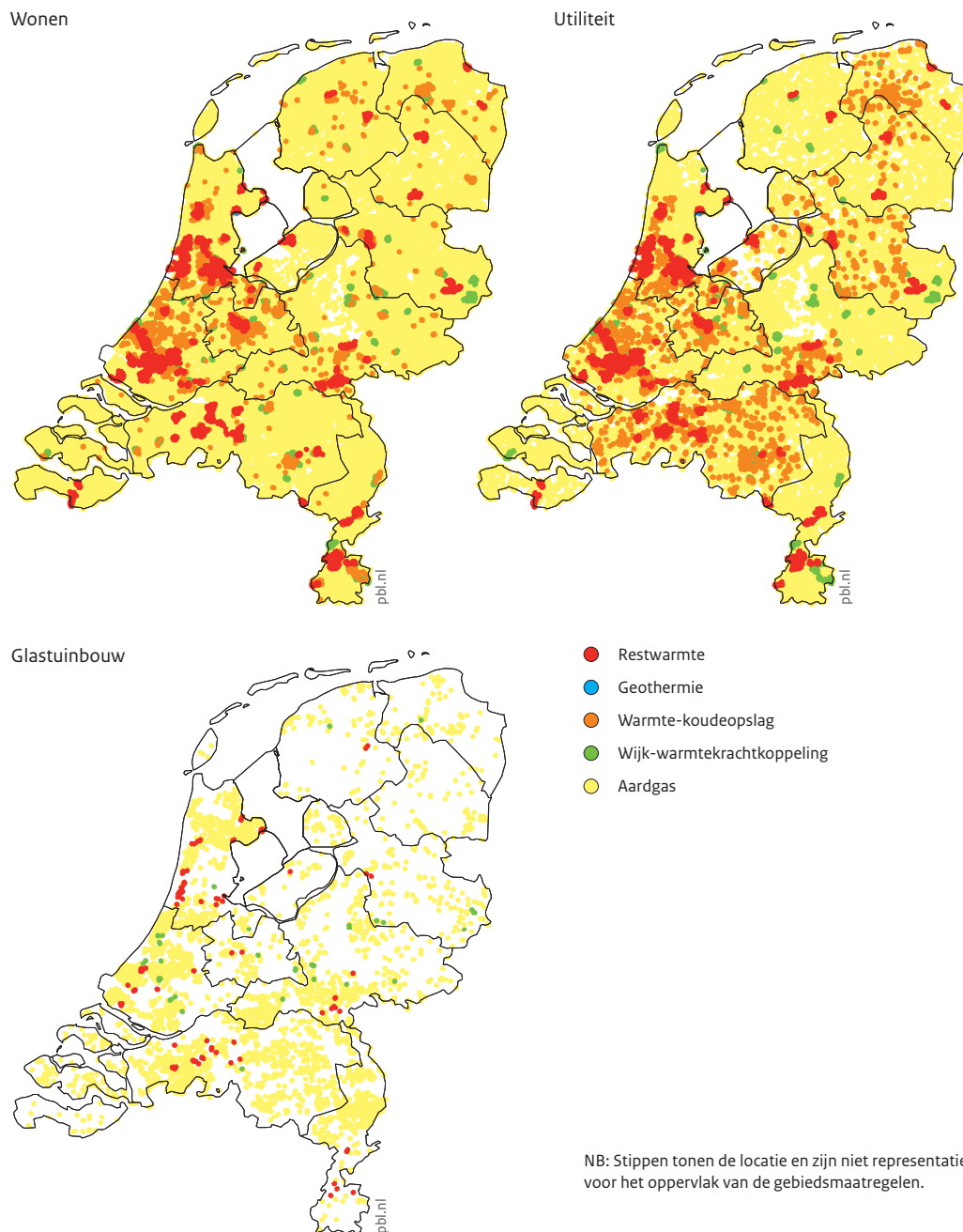
## 8.4 Ruimtelijke verdeling gebiedsmaatregelen

De gebiedsmaatregelen leveren energie in de vorm van warmte en koude aan de woningen, utiliteit en glastuinbouw (tabel 8.5) en vinden verspreid over Nederland plaats (figuur 8.3, 8.4 en 8.5).

Vanwege de benodigde grote, geconcentreerde warmtevraag en de beperking in de afstand waarover restwarmte getransporteerd kan worden, is de inzet van restwarmte beperkt tot een aantal stedelijke gebieden (in figuur 8.3 en 8.4 in rood aangegeven). Het aantal gebieden met restwarmte blijft ongeveer gelijk als de energieprijzen van variant A wordt verhoogd tot variant B. Wel komen er gebieden bij waar geothermie rendabel wordt vanwege de hogere energieprijzen. Daar staat tegenover dat er gebieden met wijk-WKK afvallen (voor de verklaring zie eerdere paragraaf).

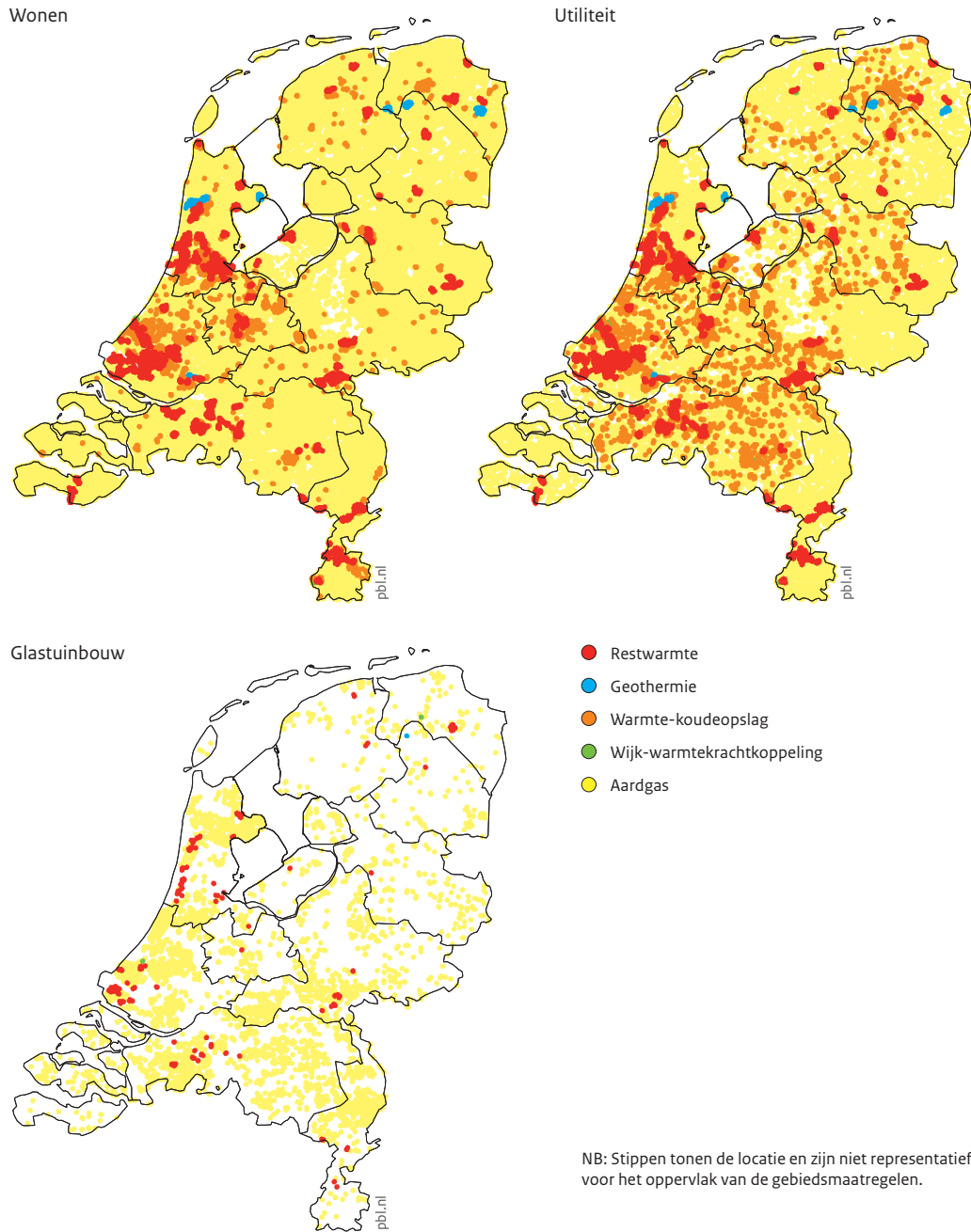
Als de hoge energieprijzen vervolgens verdubbelt, zoals gehanteerd om het technische potentieel te berekenen (figuur 8.5), dan komen er gebieden bij met een minder geconcentreerde warmtevraag en/of gebieden die verder weg liggen van de bron om rendabel aangesloten te kunnen worden op een warmtenet van restwarmte of geothermie (zie figuur 8.3, 8.4 en 8.5). Vooral in gebieden rondom restwarmtebronnen in Zeeland (Sloegebied, Vlissingen), Europoort, Zuid-Limburg (Geleen) en de Eemshaven breiden warmtenetten voor restwarmte zich dan fors uit. De uitbreiding van geothermie vindt vooral plaats in het noorden.

Figuur 8.3  
**Rendabele gebiedsmaatregelen 2050, bij lage energieprijzen**



Bron: PBL

Figuur 8.4  
**Rendabele gebiedsmaatregelen 2050, bij hoge energieprijsen**

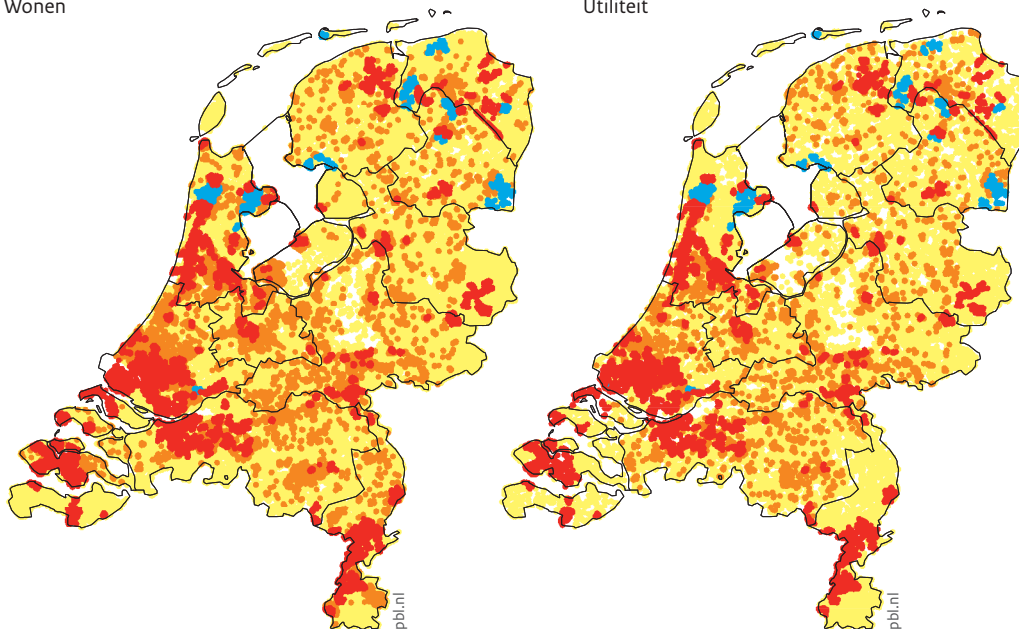


Bron: PBL

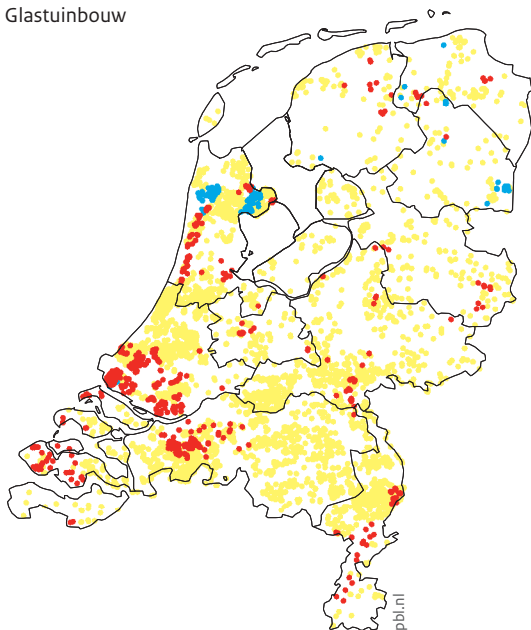
Figuur 8.5  
**Technisch potentieel gebiedsmaatregelen 2050**

Wonen

Utiliteit



Glastuinbouw



- Restwarmte
- Geothermie
- Warmte-koudeopslag
- Aardgas

NB:  
 Stippen tonen de locatie en zijn niet representatief voor het oppervlak van de gebiedsmaatregelen.

Technisch potentieel = rendabel potentieel bij verdubbeling van de hoge energieprijzen

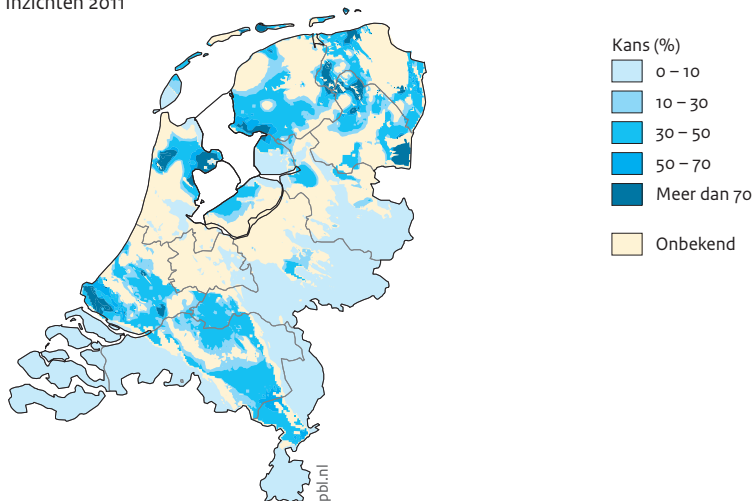
Bron: PBL

Gebaseerd op een verdubbeling van de energieprijzen van 2050.



Figuur 8.6  
Kans aanwezigheid benutbare geothermie

Inzichten 2011



Bron: PBL

De Geothermie-contour waarin de kans op een succesvolle boring groter is dan 70 procent, is als standaard gebruikt. Slechts op enkele locaties in Nederland is deze kans groter dan 70 procent. Het gaat hierbij om locaties bij Rotterdam, Alkmaar-Hoorn en enkele gebieden in Groningen, Friesland en Drenthe (zie figuur 8.6). Het potentieel van deze locaties is beperkt (zie paragraaf 8.3). Buiten deze locaties zijn er ook succesvolle geothermieprojecten mogelijk, maar de kans op een succesvolle boring is in deze gebieden als geheel kleiner of onbekend.

De kansen kunnen met lokaal onderzoek beter worden ingeschat, waardoor de kans op mislukte boringen kan worden verkleind. Om deze reden is berekend wat de mogelijke opbrengst van geothermie is bij de verschillende kanskaarten. In het Vesta-model gaat het om geothermie op postcode 4 niveau. Hierdoor neemt het model individuele afwegingen van glastuinbouw-bedrijven niet mee, waar ook geothermiewarmtelevering mogelijk kan zijn.

Er blijkt een groot potentieel te zijn voor geothermie als alle contouren met een kans groter dan 10 procent of een onbekende kans worden meegenomen (figuur 8.7). Analoog aan restwarmte worden er vooral op hoogstedelijke locaties rendabele projecten berekend. Dit is logisch omdat de investering voor de infrastructuur voor warmtelevering met geothermie kostbaar is en het snelst kan worden terugverdiend door veel warmte te leveren per gebiedsoppervlak. Bij de hoge energieprijzen neemt het aantal locaties met een factor 3 toe en worden ook de minder dichtbebouwde gebieden rendabel (figuur

8.7). Er is een groot potentieel aanwezig voor geothermie in termen van duurzame energie en vermeden CO<sub>2</sub>-emissies. Als er gecorrigeerd wordt voor de ongeschikte gebieden in de verschillende contouren, dan ligt het rendabele potentieel tussen de 10 en 125 petajoule voor hernieuwbare energie en 0,5 en 6 megaton vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot. De range is groot doordat het grootste deel van het potentieel voor geothermie in Nederland binnen de contour valt waarbij onbekend is wat de kans is op een succesvolle boring (tabel 8.6).

Het rendabele potentieel van deze contour is 95 petajoule, gevolgd door de contour met kans van 30 tot 50 procent (49 petajoule), en vervolgens de contour met kans van 10 tot 30 procent (25 petajoule) bij hoge energieprijzen. De rendabele potentiëlen zijn hier het grootst omdat er een geconcentreerde warmtevraag binnen deze contouren is.

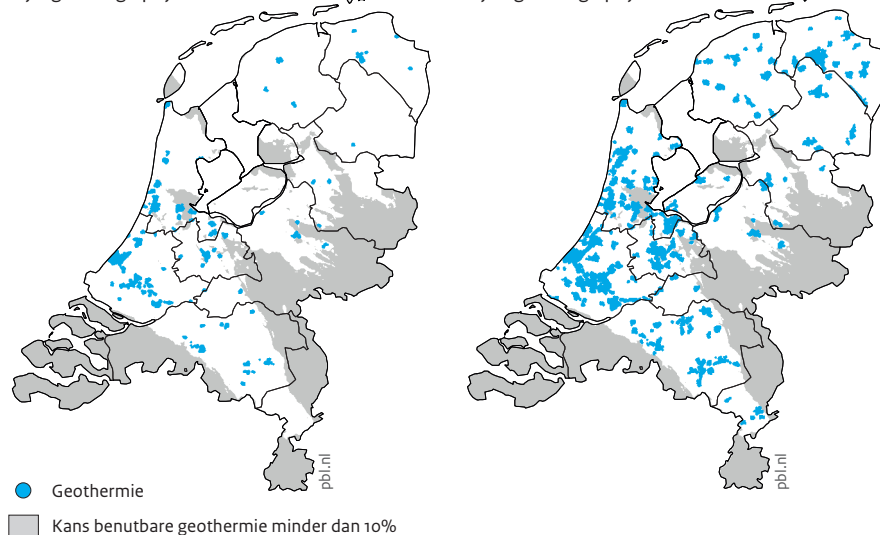
Zoals eerder vermeld kan de rendabele inzet van WKO bij hoge energieprijzen oplopen tot 60 petajoule (waarvan 40 petajoule hernieuwbaar). Uit figuur 8.3 en 8.4 blijkt dat WKO op veel meer locaties in de utiliteit rendabel kan worden toegepast dan bij wonen. Uit de vorige paragraaf bleek dat bij utiliteit ook het merendeel van het rendabele potentieel ligt. Bij het technische potentieel wordt WKO op meer locaties toegepast, maar het merendeel van het potentieel ligt dan ook nog steeds bij utiliteit, omdat daar per locatie meer energie afgenomen wordt.

Op basis van gegevens van Agentschap NL is verondersteld dat WKO in vrijwel heel Nederland mogelijk is, lokaal kunnen er echter beperkingen

**Figuur 8.7**  
**Rendabele geothermie**

Bij lage energieprijzen

Bij hoge energieprijzen



Aanname: Geothermie overall benutbaar, met uitzondering van 0 – 10% kanscontour

Bron: PBL

**Tabel 8.6**  
**Rendabel potentieel geothermie bij verschillende kansen op een succesvolle boring en energieprijzen<sup>1</sup>**

Varianten in termen van kans op succesvolle boring	Onbekende kans prijzen 2050	Kans 10-30% prijzen 2050	Kans 30-50% prijzen 2050	Kans 50-70% prijzen 2050	Kans 70-100% prijzen 2050	Alle kansen huidige prijzen	Alle kansen prijzen 2050
Percentage van oppervlak met succesvolle boringen in contour	onbekend	20%	40%	60%	85%	Hele contour	Hele contour
Energie als alle locaties geschikt zouden zijn (PJ)	95	25	49	4	3	59	177
Energie bij percentage succesvol oppervlak (PJ)	0-95	5	20	3	3	10-42	30-125
CO <sub>2</sub> -reductie als alle locaties geschikt zouden zijn (Mton)	5	1	2	0	0	3	9
CO <sub>2</sub> -reductie bij percentage succesvol oppervlak (Mton)	0-5	0	1	0	0	0.5-2	2-6

<sup>1</sup> In de tabel staan de potentiële weergegeven zonder en met correctie voor de kans op een succesvolle boring.

optreden door stuwings, vervuiling en ontbreken van afdekkingen. Omdat WKO werkt op basis van laagtemperatuurverwarming en daarom een goed geïsoleerd gebouw met vloer- en/of wandverwarming vereist, is het goed geschikt voor nieuwbouw, maar niet voor grootschalige toepassing in de bestaande bouw. Voor wijk-WKK is er een groot potentieel bij lage energieprijzen (figuur 8.3). Bij de hoge energieprijzen

neemt het potentieel echter flink af (zie vorige paragraaf en figuur 8.4). Wijk-WKK kent in het aanbod nauwelijks beperkingen omdat er bijna overal een (hoofd)gasnet beschikbaar is.

Tabel 8.7  
**Overzicht van deelname van groepen**

			Gebouwmaatregelen	Gebiedsmaatregelen
Wonen	Koop	Hoge inkomens	X	-
	Koop	Lage inkomens	-	-
	Huur	Flats en rijwoningen 1940-1990	X	X
	Huur	Overig	-	X
	Nieuwbouw <sup>1</sup>	Uitleg	X	X
Utiliteit	Grote bedrijven, zorg en onderwijs		X	X
	Overig		-	-
	Nieuwbouw uitleg		X	X
Glastuinbouw			-	-

<sup>1</sup> Vervangende nieuwbouw voor woningen heeft dezelfde sociaaleconomische kenmerken als de woning die vervangen is.

## 8.5 Beperkte deelname groepen

In hoofdstuk 2 zijn groepen geïdentificeerd die relatief grotere belemmeringen of weerstand hebben om bepaalde maatregelen te treffen. In deze paragraaf wordt nagegaan wat het effect is als deze groepen of deelsectoren niet meedoen met het nemen van maatregelen. In tabel 8.7 staan de groepen aangegeven die wel en niet meedoen met bepaalde maatregelen. De koopwoningen (eigenaren-bewoners) doen wel mee met gebouwmaatregelen maar niet met gebiedsmaatregelen. De huurwoningen doen mee met gebiedsmaatregelen maar alleen de rij- en flatwoningen uit de periode 1940-1990 doen mee met gebouwmaatregelen. Nieuwbouw op uitleglocaties doet met alle maatregelen mee. Bij vervangende nieuwbouw (herstructurering) is aangenomen dat de sociaaleconomische kenmerken gelijk blijven, het gaat hierbij vooral om huurwoningen. Alle grote bedrijven doen mee in beide routes. Van de kleine bedrijven doen alleen de deelsectoren zorg en onderwijs mee, eveneens in beide routes. Nieuwbouw bij utiliteit doet ook met alle maatregelen mee. De glastuinbouw doet in geen van beide routes mee.

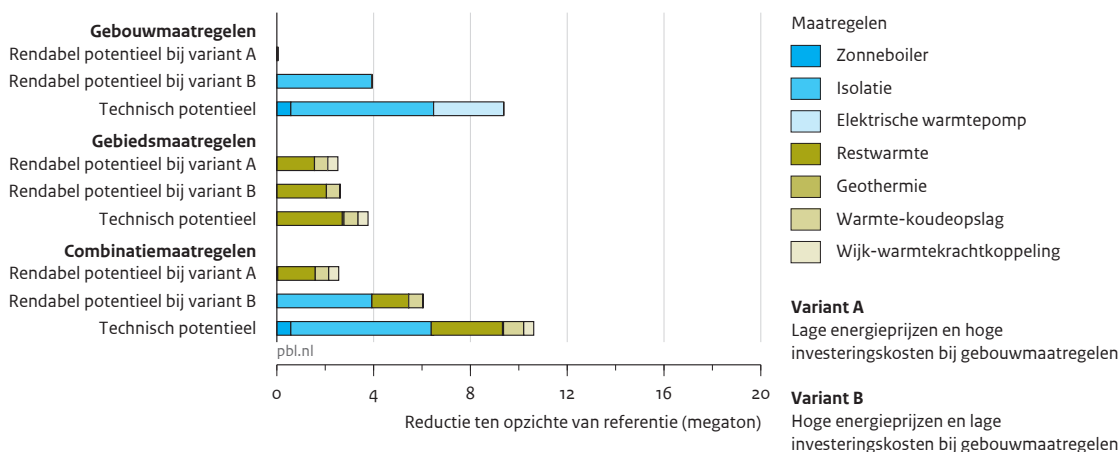
Door de beperkte deelname van deelsectoren neemt het CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel in de routes logischerwijs af (vergelijk figuur 8.8 met figuur 8.1).

In de route met gebouwmaatregelen doet 60 procent van de woningen en 70 procent van de utiliteit (uitgedrukt in aantal werknemers) mee met de energiemaatregelen. Het rendabele CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van de gebouwmaatregelen van de geselecteerde deelsectoren (figuur 8.8) is de helft van het rendabele potentieel bij volledige deelname van alle sectoren (figuur 8.1). De

relatief sterke afname wordt vooral veroorzaakt door het niet deelnemen van de koopwoningen met lage inkomens en huurwoningen gebouwd voor 1940. Bij deze groepen is met rendabele isolatie van de woning een relatief grote CO<sub>2</sub>-reductie te bereiken. Ook het technische CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel neemt af maar wel in lijn met de afname van het deelnemende aantal van woningen en utiliteit.

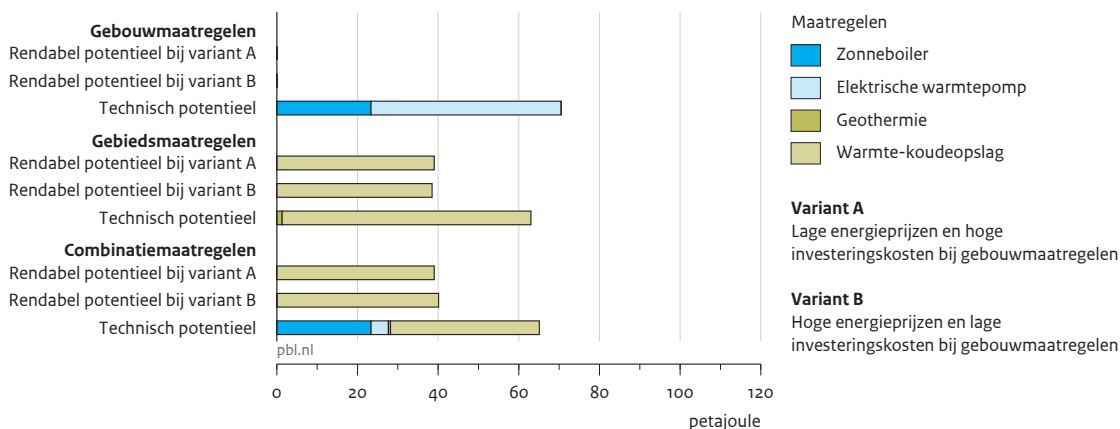
In de route met gebiedsmaatregelen doet 33 procent van de woningen en 70 procent van de utiliteit mee. Logischerwijs nemen ook hier de rendabele en technische potentiëlen af vergeleken met volledige deelname van alle sectoren. Vooral de inzet van wijk-WKK loopt fors terug (80 procent). Daarnaast halveert de inzet van restwarmte bijna in de variant met lage energieprijzen. De rentabiliteit van warmteleveringsprojecten is namelijk gevoelig voor het uitvallen van warmtevraag. De inzet van WKO neemt echter slechts met circa 10 procent af. Dit komt omdat WKO voor een groot deel onder de groep nieuwbouw op uitleglocaties valt en deze groep doet volledig mee met de gebiedsmaatregelen. Opgemerkt moet worden dat bij het verschil in afname van de warmteleveringsopties de voorkeursvolgorde van de opties een belangrijke rol speelt (zie paragraaf 8.1 en 8.2). Het reductiepotentieel van de combineringsroute is – net als in de situatie dat alle groepen meedoen – hoger dan de route met gebouwmaatregelen. Er resteert een rendabel potentieel van 3 tot 6 megaton CO<sub>2</sub> en een technisch potentieel van 11 megaton CO<sub>2</sub> in 2050 (figuur 8.8). Doordat niet alle gebouwen worden geïsoleerd, resteert – vooral in de variant met hoge energieprijzen – nog een aanzienlijk CO<sub>2</sub>-reductiepotentieel van rendabele warmteprojecten.

**Figuur 8.8**  
**CO<sub>2</sub>-reductie bij beperkte deelname van sectoren, 2050**



Bron: PBL

**Figuur 8.9**  
**Hernieuwbare energie bij beperkte deelname van sectoren, 2050**



Bron: PBL

Door de beperkte deelname van deelsectoren neemt logischerwijs het potentieel voor de opwekking van hernieuwbare energie af (vergelijk figuur 8.9 met figuur 8.2). Onveranderd blijft dat in de route met geboumaatregelen noch de zonneboiler noch de elektrische warmtepomp rendabel is. Er resteert een technisch potentieel voor de opwekking van duurzame energie door geboumaatregelen van 71 petajoule in 2050. Dit is 65 procent van het potentieel bij volledige

deelname in 2050. De afname is procentueel gelijk verdeeld over zonneboilers en elektrische warmtepompen.

Bij gebiedsmaatregelen resteert een rendabel potentieel van duurzame energie van circa 40 petajoule in 2050. Het technische potentieel is 63 petajoule. Dit is 90 procent van het potentieel bij volledige deelname van alle sectoren in 2050. De slechts beperkte afname wordt verklaard door het volledig mee blijven doen van WKO in

nieuwbouw op uitleglocaties (zie hierboven). De inzet van geothermie verdwijnt daarentegen bijna helemaal. Het beeld bij de combinatie is ongeveer gelijk. Hier ligt het rendabele potentieel eveneens rond de 40 petajoule en het technische potentieel is zo'n 65 petajoule. Dit is respectievelijk 95 en 80 procent van het potentieel bij volledige deelname. De afname bij rendabele maatregelen komt door het wegvallen van geothermie en bij het technisch potentieel wordt de afname veroorzaakt door een afname van de zonneboiler (35 procent) en WKO (10 procent).

Bij de opwekking van duurzame elektriciteit met zon-PV resteert een technisch potentieel van circa 60 petajoule. Dit is circa 40 procent van het technische potentieel bij volledig deelname. De forse afname wordt veroorzaakt doordat binnen de utiliteit bedrijven met relatief weinig personeel (kleine bedrijven) niet meer meedoen, terwijl deze relatief veel dakoppervlak hebben. Veel kleine bedrijven (zoals in de groothandel en autohandel en -reparatie) zijn namelijk niet gevestigd in een meerlaagsgebouw (PBL 2012). Evenals bij volledige deelname is het rendabele potentieel van zon-PV bij beperkte deelname niet onderzocht.

## 8.6 Casestudy's: Amsterdam en Tilburg

Met het Vesta-model kunnen regionale analyses worden gemaakt. Het model bevat alle ruimtelijke informatie over de energievraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw, maatregelen voor gebouwmaatregelen en regionale opties voor gebiedsmaatregelen zoals restwarmte, geothermie, WKO en wijk-WKK. Daarnaast bevat het model sociaaleconomische informatie, zoals eigendomsverhoudingen en inkomen, die van belang is bij weerstand tegen maatregelen van specifieke groepen. Het model kan de mogelijkheden voor de verschillende gebieden in een regio in kaart brengen voor gebouwmaatregelen en gebiedsmaatregelen. Dit hoofdstuk dient om te illustreren wat mogelijke effecten zijn van verschillende situaties op de rentabiliteit van gebiedsmaatregelen in een lokale context. Hiervoor worden de uitkomsten van Vesta bekeken voor verschillende situaties in Amsterdam en Tilburg:

- verandering in energieprijzen
- inzet van gebouwmaatregelen
- beperkte deelname van groepen

Het gaat hierbij om het demonstreren van mogelijke uitkomsten, en dus niet om het presenteren van exacte uitkomsten; er is namelijk geen rekening gehouden met de reeds aanwezige warmtenetten in deze gebieden, er is gebruik gemaakt van generieke en niet-locatiespecifieke kentallen, en de gehanteerde volgorde waarin

warmtetechnieken worden ingezet, is bepalend voor het resultaat (zie tabel 8.1) (zie paragraaf 1.2).

### 8.6.1 Amsterdam

#### Situatie a: Lage energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen

In de variant met lage energieprijzen (energieprijzen 2010) is een groot deel van Amsterdam rendabel van restwarmte te voorzien (figuur 8.10). Het model berekent rondom de bronnen van de Hemweg, het Afval Energie Bedrijf en de Diemercentrale vele buurten die rendabel kunnen worden aangesloten. In Amsterdam kan de hele capaciteit van restwarmte van deze bronnen worden afgezet. Ook Haarlem kan rendabel worden voorzien van warmte uit het Velzer cluster en Tata Steel. Daarnaast zijn er bij nieuwbouw van woningen en utiliteit (vooral herstructurering) mogelijkheden voor WKO in Amsterdam en zijn er in een aantal wijken rendabele projecten met warmtelevering door wijk-WKK's mogelijk.

#### Situatie b: Hoge energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen

Bij hoge energieprijzen verandert er niet veel aan het beeld voor restwarmtelevering in Amsterdam. De capaciteit is namelijk al vergeven bij huidige prijzen, alleen de volgorde van de meest rendabele gebieden verandert. Zo komt er een locatie met restwarmtelevering bij in Oostzanerwerf in Noord en in het Westelijk Havengebied en verdwijnen er locaties elders, zoals Buikslotermeer in Noord en Slotermeer. Opvallend is dat door de hogere energieprijzen wijk-WKK niet meer rendabel is in zowel Amsterdam als Haarlem. Dit komt vooral doordat de gasprijs harder stijgt dan de elektriciteitsprijs.

#### Situatie c: Hoge energieprijzen en gebouwmaatregelen

Als er rendabele gebouwmaatregelen voor het besparen van energie worden getroffen dan neemt de warmtevraag af. In Amsterdam kan dan bij hoge energieprijzen de warmte rendabel in andere delen van de stad worden ingezet. Dit is op de kaart te zien in Amsterdam-Noord, Buikslotermeer en Zuidoost. Er verdwijnen ook gebieden zoals in Amstelveen. Het kan zijn dat dit gebied niet meer rendabel is of dat andere gebieden rendabeler zijn. In Haarlem is hierdoor een aantal projecten voor restwarmte niet meer rendabel. Het gaat hierbij om locaties die ver van de restwarmtebron afliggen zoals in Zandvoort, of een lage energievraag kennen.

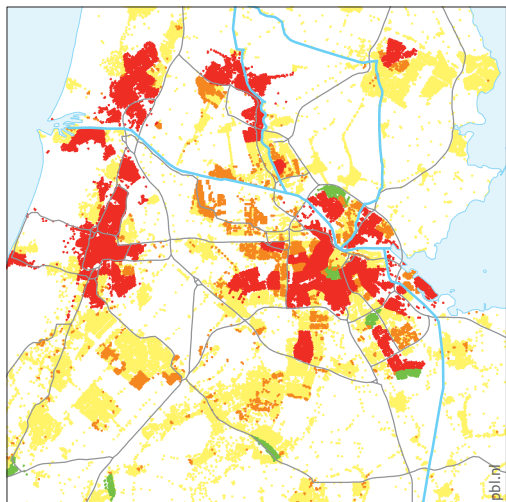
#### Situatie d: Hoge energieprijzen en gebouwmaatregelen en beperkte deelname van sectoren

Er zijn groepen die een weerstand hebben tegen de maatregelen of belemmeringen ervaren bij het nemen van maatregelen (zie paragraaf 8.5). Het gaat hierbij voor

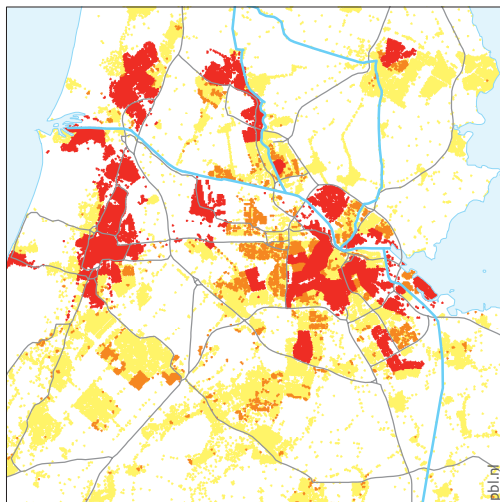
Figuur 8.10

**Rendabele gebiedsmaatregelen Amsterdam en Haarlem, 2050**

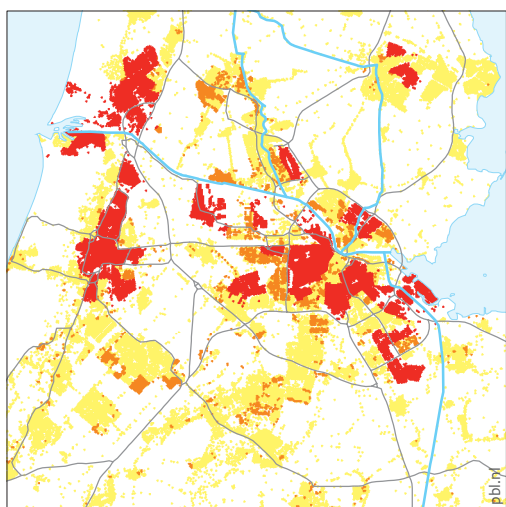
a. Bij lage energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen en volledige deelname van sectoren



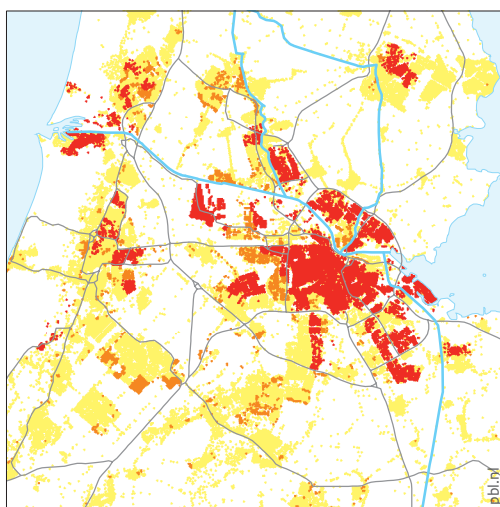
b. Bij hoge energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen en volledige deelname van sectoren



c. Bij hoge energieprijzen, met rendabele gebouwmaatregelen met lage investeringskosten en volledige deelname van sectoren



d. Bij hoge energieprijzen, met rendabele gebouwmaatregelen met lage investeringskosten en beperkte deelname van sectoren



- Restwarmte
- Warmte-koudeopslag
- Wijk-warmtekrachtkoppeling
- Aardgas

0 4 8 km



Bron: PBL



gebiedsmaatregelen om eigenaren-bewoners en bij besparen om eigenaren-bewoners met lage inkomens en huurwoningen gebouwd voor 1940 of na 1990. Bij bedrijven gaat het om sectoren buiten de zorg en het onderwijs of bedrijven kleiner dan 100 werknemers voor gebouw- en gebiedsmaatregelen.

Als deze groepen niet meedoen, valt er enerzijds vraag naar warmtelevering uit, maar anderzijds komt er vraag bij doordat er geen gebouwmaatregelen zijn getroffen door een deel van deze groepen. Doordat koopwoningen en kleine bedrijven niet meedoen aan de restwarmteprojecten, is er restwarmte over. Deze restwarmte wordt rendabel in andere delen van Amsterdam en in Amstelveen afgezet. Dit is zichtbaar doordat in veel delen van Amsterdam de inzet van restwarmte toeneemt (figuur 8.10). Ook is zichtbaar dat Amstelveen weer van restwarmte kan worden voorzien. Doordat restwarmte op meer locaties wordt ingezet neemt het aandeel WKO af. In Haarlem zijn door het wegvallen van de warmtevraag veel gebieden onrendabel geworden en resteert maar een klein aantal rendabele projecten voor restwarmte.

### 8.6.2 Tilburg

#### **Situatie a: Lage energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen**

Tilburg ligt in een gebied waar mogelijk geothermie aanwezig is. Bij Tilburg loopt echter geen 70 procentkanscontour. Voor deze berekeningen met Tilburg zijn alle kanscontouren hoger dan 10 procent meegenomen inclusief de contour met een onbekende kans. Bij de lage energieprijzen zijn er rendabele projecten voor restwarmte in Tilburg zoals in Oud-Noord en in het centrum (figuur 8.11). Na de inzet van deze restwarmte zijn er geen rendabele mogelijkheden voor geothermie. Wel zijn er bij herstructurering van stadswijken mogelijkheden voor WKO en beperkte inzet van wijk-WKK in het oosten van de stad.

#### **Situatie b: Hoge energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen**

Bij de hoge energieprijzen verandert de verdeling van restwarmte over Tilburg. Dit komt doordat de volgorde van meest rendabele projecten verandert. Zo verdwijnt een restwarmtegebied in Tilburg-Noord en -West (Wandelbos) en komt bedrijventerrein Vossenberghoeve als nieuw gebied bij. Door de hogere energieprijzen is Vossenberghoeve rendabeler geworden dan de locaties in Tilburg-Noord en -West die verder van de restwarmtebron (Amercentrale) liggen. Bij een hogere energieprijs ontstaan er ook mogelijkheden voor geothermie in de Reeshof, West, Noord en Goirle.

#### **Situatie c: Hoge energieprijzen en gebouwmaatregelen**

Als er rendabele gebouwmaatregelen worden getroffen, daalt de warmtevraag. Hierdoor is een aantal projecten voor restwarmte niet meer rendabel in Tilburg zoals in het Zuiden en een deel van Oud-Noord. Doordat er minder restwarmte per gebied nodig is, is er voldoende capaciteit om een deel van Tilburg-West weer rendabel van restwarmte te voorzien. Door de verminderde vraag naar warmte per locatie is geothermie alleen nog rendabel in Goirle. In Tilburg-Zuid is een locatie rendabel met WKO van warmte te voorzien doordat restwarmte daar nu geen optie meer is.

#### **Situatie d: Hoge energieprijzen en gebouwmaatregelen en beperkte deelname van sectoren**

Er zijn groepen die een weerstand hebben tegen maatregelen of belemmeringen ervaren bij het nemen van maatregelen (zie paragraaf 8.4). Het gaat hierbij voor gebiedsmaatregelen om eigenaren-bewoners en bij besparen om eigenaren-bewoners met lage inkomens en huurwoningen gebouwd voor 1940 of na 1990. Bij bedrijven gaat het om sectoren buiten de zorg en het onderwijs of bedrijven kleiner dan 100 werknemers voor gebouw- en gebiedsmaatregelen. Als deze groepen niet meedoen dan daalt enerzijds de vraag naar warmte, maar anderzijds komt er vraag bij doordat er geen gebouwmaatregelen worden getroffen door een deel van deze groepen. Doordat er echter ook groepen zijn die niet besparen, is er weer rendabele levering van restwarmte mogelijk in het centrum van Tilburg en in Tilburg-West. Door de opgelegde prioriteit voor restwarmte verdringt restwarmte WKO in Tilburg-West en -Zuid ten opzichte van de vorige situatie met volledige deelname. Door vraaguitval naar warmte in Goirle is de inzet van geothermie niet meer rendabel.

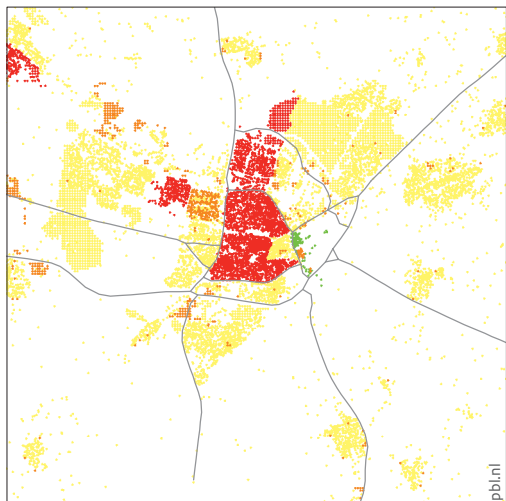
### 8.6.3 Vergelijking berekende en bestaande locaties warmtenetten Amsterdam en Tilburg

De berekende rendabele locaties voor warmtenetten voor restwarmte overlappen voor een groot deel met de bestaande locaties in Amsterdam (vergelijk figuur 8.12 met figuur 8.10). Vesta berekent als meest rendabele locaties de wijken in Amsterdam-West, -Noord en -Zuid nabij het afval- en energiebedrijf AEB, de Hemwegcentrale en in Oost bij de Diemer elektriciteitscentrale. Op deze locaties liggen warmtenetten en in Amsterdam-Noord zijn plannen voor uitbreiding van het net. Een verschil met de bestaande situatie is dat Vesta binnen de ringweg aantrekkelijke locaties signaleert. Die omvatten wijken in en rond het centrum waar het technisch en organisatorisch lastiger is warmtenetten aan te leggen, omdat de ruimte voor warmtenetten onder de grond beperkt is en er met vele

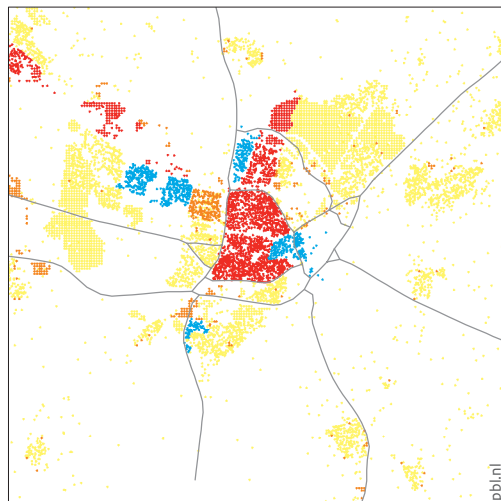
Figuur 8.11

**Rendabele gebiedsmaatregelen Tilburg, 2050**

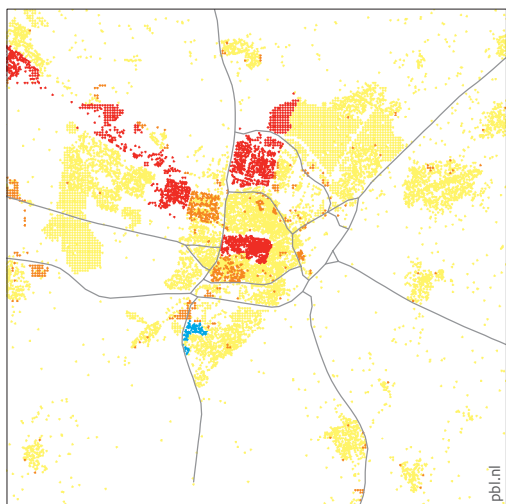
a. Bij lage energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen en volledige deelname van sectoren



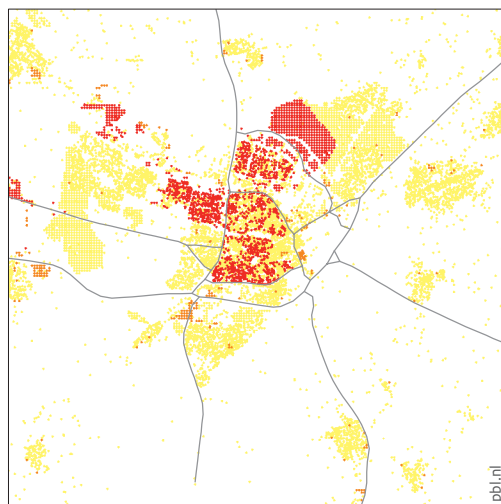
b. Bij hoge energieprijzen, zonder gebouwmaatregelen en volledige deelname van sectoren



c. Bij hoge energieprijzen, met rendabele gebouwmaatregelen met lage investeringskosten en volledige deelname van sectoren



d. Bij hoge energieprijzen, met rendabele gebouwmaatregelen met lage investeringskosten en beperkte deelname van sectoren



- Restwarmte
- Geothermie
- Warmte-koudeopslag
- Wijk-warmtekrachtkoppeling
- Aardgas

0 2 4 km

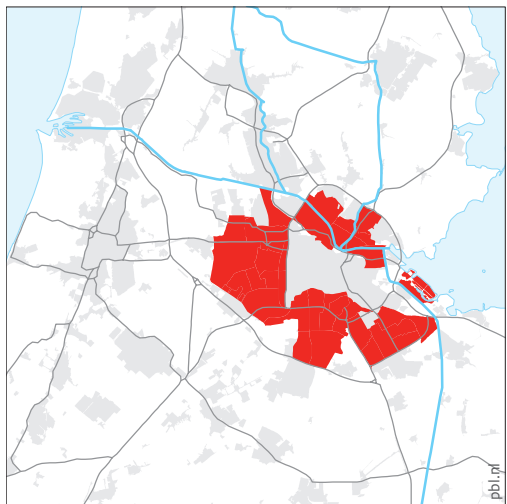


Bron: PBL

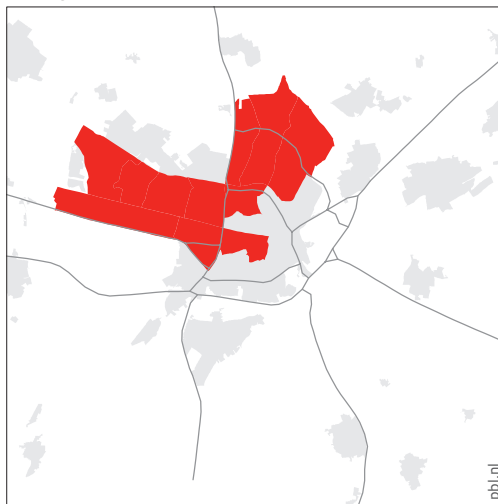


Figuur 8.12  
Restwarmte, situatie 2012

Amsterdam (inclusief gepland)



Tilburg



Bron: PBL

verschillende partijen zaken moet worden gedaan. Uit contact met de gemeente Amsterdam bleek dat de gemeente het centrum wel overweegt voor aansluiting op een warmtenet.

De berekende locatie van warmtenetten in Tilburg-Noord, -West en Vossenberg komen overeen met de huidige situatie, maar Vesta ziet de Reeshof niet als meest rendabele locatie en geeft prioriteit aan de wijken van Tilburg binnen de ring (vergelijk figuur 8.12 met figuur 8.11). Hier speelt een vergelijkbare situatie als in Amsterdam. Dit is historisch een lastig gebied met vele verschillende partijen, terwijl de Reeshof als nieuwbouwwijk als geheel kon worden aangesloten op het warmtenet. De indicaties van Vesta lijken hiermee goed overeen te komen met geschikte locaties, waarbij goed rekening moet worden gehouden met de geschiedenis en de verschillende partijen (eigenaren-bewoners, woningcorporaties en eigenaren van de utiliteitsgebouwen) in het gebied.

## 8.7 Kosten

### 8.7.1 Referentiescenario

De energiekosten worden berekend volgens twee benaderingen van de MilieukostenMethodiek (VROM 1998): de maatschappelijke kostenbenadering en de eindgebruikerbenadering. De maatschappelijke kostenbenadering biedt het perspectief voor de gehele Nederlandse samenleving. Hiertoe wordt een lage rentevoet voor de jaarlijkse kapitaalslasten van investeringen gehanteerd en worden overhevelingen tussen sectoren en overheid, zoals energiebelasting en btw, niet meegerekend. Bij de eindgebruikerbenadering wordt voor iedere sector (woningen, utiliteit, warmteleveranciers) en de overheid bepaald wat de kosten zijn. De rentevoet wordt daarbij gebaseerd op praktijkgemiddelde sectorale rentevoeten.<sup>5</sup> Daarnaast worden in de eindgebruikerbenadering wel de energiebelasting en btw meegenomen.

In het referentiescenario – dat wil zeggen dat de gebouw- en gebiedsmaatregelen niet worden genomen – (zie paragraaf 3.3) zijn de maatschappelijke kosten van het energiegebruik van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw 18 miljard euro in 2050 in de variant met de

Tabel 8.8

Energiekosten van de gebouwde omgeving in het referentiescenario in 2050 bij lage energieprijzen en hoge energieprijzen in miljard euro

Energie-prijzen	Scenario	Maatschappelijke benadering		
		Kosten	Eindgebruikerbenadering	
			Kosten eigenaren gebouwen woningen, utiliteit en glastuinbouw	Opbrengsten overheid (energieheffing en btw)
Laag	Referentie 2050	18	28	10
Hoog	Referentie 2050	22	35	13

Tabel 8.9

Kosten van energiemaatregelen van de gebouwde omgeving in het referentiescenario in 2050 bij huidige energieprijzen en geraamde energieprijzen in 2050 in miljard euro

Energieprijzen	Energiemaatregel	Maatschappelijke benadering		
		Kosten	Kosten Eigenaren gebouwen woningen, utiliteit en glastuinbouw	Opbrengsten overheid (energieheffing en btw)
Laag	Rendabele gebouwmaatregelen	0	0	0
Hoog	Rendabele gebouwmaatregelen	0	0	-1
Laag	Technisch potentieel gebouwmaatregelen	8	11	-1
Hoog	Technisch potentieel gebouwmaatregelen	5	6	-1
Laag	Rendabele gebiedmaatregelen	-1	0	-1
Hoog	Rendabele gebiedmaatregelen	-1	0	-1
Laag	Rendabele gebouwmaatregelen en rendabele gebiedmaatregelen	-1	0	-1
Hoog	Rendabele gebouwmaatregelen en rendabele gebiedmaatregelen	0	0	-1

lage energieprijzen, en 22 miljard euro in de variant met de hoge energieprijzen (tabel 8.8). De kosten van de eindverbruikers (woningen, utiliteit en glastuinbouw) zijn gezamenlijk 28 miljard bij de lage energieprijzen en 35 miljard euro bij de hoge energieprijzen. De inkomsten van de overheid bestaan uit de opbrengsten van de energieheffing en btw. Deze zijn afhankelijk van de genoemde energieprijzen 10 tot 13 miljard euro in 2050. Bij de bepaling van de energiekosten<sup>6</sup> zijn meegenomen de inkoop van aardgas,

warmte en elektriciteit; vastrecht voor aardgas en warmte, afschrijving van de verwarmingsketel<sup>7</sup> en aansluitkosten van warmtelevering.

### 8.7.2 Kosten van de energiemaatregelen

De kosten van de energiemaatregelen worden berekend als saldo van de jaarlijkse kapitaalslasten van de investeringskosten van de maatregelen en de uitgespaarde jaarlijkse energiekosten. Deze laatste betreffen de bespaarde inkoopkosten van energie

vanwege een verminderde energievraag of eigen opwekking van energie door bijvoorbeeld de zonneboiler of zonnecel-PV. Voor de warmteleverancier worden de kosten van de lokale warmtebronnen en de aanleg van warmtenetten verrekend met de opbrengsten van de warmteverkoop aan de sectoren (CE 2011).

In tabel 8.9 staat het effect van de energiemaatregelen op de kosten in het referentiescenario in 2050. De route met rendabele gebouwmaatregelen, de route met rendabele gebiedsmaatregelen en de combineroute hebben jaarlijks maatschappelijke baten tussen 0 en 1 miljard euro in 2050. Voor de eindgebruikers liggen de jaarlijkse baten van de rendabele energiemaatregelen ook tussen 0 en 1 miljard euro in 2050. De overheid heeft echter minder inkomsten uit de energieheffing, die deels worden gecompenseerd door de inkomsten van btw op de investeringen van de energiemaatregelen. De inkomstenderving van de overheid ligt tussen 0 en 1 miljard euro in 2050.

Indien het volledige technische potentieel aan gebouwmaatregelen wordt genomen dan variëren de maatschappelijke kosten van 5 tot 8 miljard euro en de eindgebruikerkosten van 6 tot 11 miljard euro in 2050. De inkomstenderving van de overheid is 1 miljard euro in 2050. De lagere inkomsten uit de energieheffing worden voor het grootste deel gecompenseerd door de inkomsten van btw op de energiemaatregelen.

## 8.8 Vergelijking modelresultaten met literatuur

De potentiële schattingen voor gebouw- en gebiedsmaatregelen uit de literatuur uit hoofdstuk 5 en 6 zijn samengevat in tabel 8.10. In de tabel zijn ook de potentiële zoals Vesta ze voor 2050 berekent weergegeven. In deze paragraaf kijken we naar de overeenkomsten en verschillen van de verschillende potentiële schattingen. Voor restwarmte, geothermie en WKO zijn in de literatuur alleen potentiële schattingen voor 2020 gevonden, en niet voor 2050 of andere jaren na 2020.

De Vesta-uitkomsten voor restwarmte in 2050 verschillen sterk met de potentiële schattingen die diverse studies voor 2020 geven: Vesta schat het potentieel factoren hoger in. Een studie van SenterNovem (2007) (21 petajoule) heeft echter alleen gekeken naar nieuwbouw, terwijl het potentieel in Vesta vooral betrekking heeft op bestaande woningen en utiliteitsgebouwen. Een verschil met andere studies is dat Vesta de warmtevraag en de warmtebronnen koppelt op basis van gedetailleerde geografische data. Daarnaast gaat het in sommige andere bronnen meer om een inventarisatie van bestaande en geplande warmteprojecten, terwijl Vesta kijkt naar alle

mogelijke locaties. De recente ECN-studie laat het potentieel van restwarmte buiten beschouwing als er andere alternatieven zijn.

Voor geothermie geldt dat de bovenkant van de in de literatuur gevonden bandbreedte (11 petajoule) nagenoeg overeenkomt met de onderkant van de bandbreedte die door Vesta wordt berekend (10 petajoule). De onderwaarde van Vesta is gebaseerd op gebieden in Nederland waar de kans op een succesvolle boring volgens TNO groter is dan 70 procent. De bovenkant van de bandbreedte van Vesta geeft een verwachtingswaarde van het rendabele potentieel voor de gebieden waarvan de kans op aanwezigheid van geothermie groter is dan 10 procent, dan wel onbekend is. Omdat mislukte boringen in de praktijk grote financiële risico's hebben, is dit een theoretisch potentieel. Meer (lokale) kennis over de aanwezigheid van geothermie is nodig om in zulke gebieden mislukte boringen te voorkomen.

Voor WKO geldt dat het rendabele potentieel in Vesta (60 petajoule) ongeveer gelijk is aan de hoogste waarde die in de literatuur is gevonden (57 petajoule). Deze waarde is afkomstig uit een studie (Ecofys 2007) die uitgaat van zeer optimistische veronderstellingen over nieuwbouw- en renovatietempo's en van penetratiegraden van WKO-systemen in 2020. Andere studies gaan van minder optimistische veronderstellingen uit en komen daardoor tot aanmerkelijk lagere ramingen van het potentieel voor 2020. Omdat het referentiescenario dat met Vesta is doorgerekend doorloopt tot 2050, is meer nieuwbouw van woningen en utiliteit verondersteld dan in de andere studies. Aangezien WKO vooral wordt toegepast in nieuwbouw, wordt daardoor een groter potentieel van WKO gevonden in Vesta.

De gebouwgebonden potentiële uit Vesta komen redelijk overeen met de inschattingen uit de literatuur voor woningen, welke gebaseerd zijn op de veronderstelling dat de hele bestaande woningvoorraad (gebouwd voor 1995) wordt geïsoleerd. In Vesta ligt het potentieel wel lager voor zowel het rendabele (8 tot 68 petajoule) als het technische potentieel (52 petajoule). De inschatting voor het besparingspotentieel bij de utiliteit ligt zo'n 30 petajoule hoger in Vesta. In de literatuur is gewerkt met andere investeringskosten voor maatregelen en andere energieprijzen waardoor het rendabele potentieel afwijkt. Daarnaast is het potentieel in de literatuur niet gecorrigeerd voor klimaatverandering. Door de klimaatverandering is er minder energievraag voor ruimteverwarming in 2050 en wordt er dus ook minder energie bespaard door isolatie van gebouwen.

Voor het potentieel van de elektrische warmtepomp, zonneboiler en zon-PV zijn in de literatuur (i.c. factsheets optiedocument 2020) alleen ramingen voor 2020 beschikbaar. Daarbij is rekening gehouden met penetratiegraden van deze technieken die in 2020 geen

Tabel 8.10

**Additioneel potentieel voor gebouw- en gebiedsmaatregelen van modelresultaten Vesta en in de literatuur**

	Vermeden inzet primaire energie (PJ) 2020	Vermeden inzet primaire energie (PJ) 2050	Opmerkingen
<b>Restwarmte</b>			
Vesta	-	45 (90)	Rendabel (en technisch) potentieel. Huidig gebruik is 25 PJ
Literatuur	12-25	-	
<b>Geothermie</b>			
Vesta		10-125	Rendabel potentieel bij kans op benutting van 10% of meer of onbekende kans
Literatuur	3-11		
<b>WKO</b>			
Vesta		60 (80)	Rendabel (en technisch) potentieel
Literatuur	11-57		
<b>Isolatie (Label B)</b>			
Vesta	-	2-130 [2 woningen & 62 woningen en 68 utiliteitsgebouwen]; (200 [108 woningen en 91 utiliteitsgebouwen])	Rendabel (en technisch) potentieel
Literatuur		70 rendabel en 160 technisch (alleen woningen) 90 (60 woningen en 30 utiliteitsgebouwen)	Inschatting voor 2050 is langetermijninschatting voor gehele woningvoorraad berekend voor 2020
<b>Zonneboiler, EWP</b>			
Vesta		94 (75 van elektrische warmtepomp; 19 van zonneboiler)	
Literatuur		Enkele tientallen PJ's	
<b>Zon-PV (in vermeden inzet elektra)</b>			
Vesta		142 (24 van woningen 118 van utiliteitsgebouwen)	
Literatuur	8 (woningen)		

100 procent zullen zijn. Dit verklaart dat Vesta veel hogere potentiëlen voor 2050 raamt, omdat daarin wél wordt uitgegaan van volledige penetratie van zonneboilers in alle woningen, elektrische warmtepompen in alle nieuwbouw en zon-PV op een groot deel van het oppervlak van alle gebouwen.

## Noten

- 1 Voor een verdergaande vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in deze sectoren zijn andere opties nodig, zoals aanvullende energiebesparingen van gebouwen, groen gas en elektrificatie van de warmtevoorziening met groene stroom. Deze opties zijn echter niet onderzocht in deze studie.
- 2 WKO heeft een groot energetisch potentieel (figuur 8.2), maar afgezet tegen veel efficiëntere HR-ketels in de toekomst levert WKO relatief minder CO<sub>2</sub>-reductie op (figuur 8.1).
- 3 Zonneboilers, elektrische warmtepomp, geothermie en warmte-koudeopslag.
- 4 Geothermie en warmte-koudeopslag.
- 5 De praktijkgemiddelde sectorale rentevoeten zijn verschillend voor woningen (5,5 procent), utiliteit (8 procent), glastuinbouw (8 procent), warmteleveranciers (6 procent) en overheid (4 procent).
- 6 De jaarlijkse kosten van energie en maatregelen uit de verkende routes bestaan uit de kapitaalslasten van de investeringen, de bediening en het onderhoud van de geïnstalleerde voorzieningen, de inkoop van energie en de verkoop van energie door de warmteleveranciers.
- 7 Vastrecht van aardgas en afschrijving van de verwarmingsketel zijn meegenomen om de rentabiliteit van de warmteprojecten te kunnen berekenen. Deze is namelijk gebaseerd op het niet meer dan anders principe waarbij deze posten een rol spelen.

# Bijlagen

## Bijlage 1: Overzicht van belemmeringen

In deze bijlage geven we een overzicht van belemmeringen voor de implementatie van rendabele CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen per sector (gebaseerd op CE 2006, 2009a en 2010, en op de in de tabel vermelde

referenties en eigen onderzoek). De belemmeringen hebben vooral betrekking op de bestaande bouw; tenzij anders vermeld, gelden voor nieuwbouw de eisen volgens de Energieprestatiecoëfficiënt (EPC).

Sector	Willen	Weten	Kunnen
Eigenaren-bewoners	<p>Voor het nemen van CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen in de bestaande bouw is weinig interesse, omdat de energieprijs niet als hoog wordt ervaren en er weinig aandacht is voor het milieu; vooral bij grote verbouwingen en het vervangingsmoment van de CV-ketel is er meer bereidheid om energiebesparende maatregelen te nemen.</p> <p>Onwil vanwege verwachte overlast (stof, werkluï over de vloer).</p> <p>Vrees voor verslechtering binnenklimaat.</p> <p>Een groot deel van de eigenaren-bewoners verhuist een aantal keren gedurende hun leven. Daardoor zijn investeringen die een lange terugverdientijd hebben voor veel eigenaren niet interessant (Nyenrode 2008).</p> <p>Geringe bereidheid van aannemers en installateurs om in de particuliere sector te werken.</p> <p>Mede door de liberalisering hechten energiebedrijven minder aan energiebesparing.</p>	<p>Onbekendheid eigen verbruik.</p> <p>Onbekendheid met duurzame en energiebesparende oplossingen bij eigenaren, maar ook bij aannemers, installateurs en gemeenten.</p>	<p>Volgens ECN &amp; PBL (2010b) heeft 33 procent van de eigenaren-bewoners van een woning met een G-label een inkomen beneden modaal. Deze groep zal meestal niet in staat zijn om de noodzakelijke investeringen te financieren. Deze belemmering geldt alleen voor gebouwmaatregelen.</p>
Sociale huursector	<p>Corporaties hebben bij herstructurerings- en renovatieprojecten meer aandacht voor leefbaarheid dan voor CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen. Het is de vraag in hoeverre het Meer met Minder-convenant met de koepelorganisatie Aedes individuele corporaties kan prikkelen.</p> <p>Tot nu toe liggen de kosten van CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen bij de verhuurder, terwijl de baten (een lagere energierekening) bij de huurder liggen. Dit wordt wel aangeduid als 'split incentive'. De overheid heeft het voornemen om het energielabel in het woningwaarderingstelsel op te nemen (zie bijlage 2). Dit geeft een betere balans tussen kosten en baten bij huurder en verhuurder.</p>	<p>Aannemers, installatiebedrijven, gemeenteambtenaren en architecten hebben vaak te weinig kennis en ambitie. De corporaties moeten deze partijen aansturen.</p>	<p>Huurders hebben soms weerstand bij inspraaktrajecten, waardoor een project niet kan doorgaan.</p> <p>Traagheid en onduidelijkheid bij subsidieverstrekkers.</p> <p>Corporaties hebben momenteel een slechte financiële positie.</p>

Sector	Willen	Weten	Kunnen
Particuliere huursector	Ook voor particuliere verhuurders geldt tot nu toe een 'split incentive'. Opnemen van het energielabel in het woningwaarderingstelsel zal leiden tot een betere balans tussen kosten en baten bij huurder en verhuurder.	De particuliere huursector omvat zowel vastgoedfondsen als kleine particuliere verhuurders. Beide categorieën zullen in het algemeen weinig kennis hebben van de mogelijkheden om CO <sub>2</sub> -reductie te realiseren. Vastgoedfondsen zouden externe deskundigheid kunnen inhuren, maar het is onbekend in hoeverre dit gebeurt.	Waarschijnlijk zijn institutionele beleggers in staat om investeringen te financieren. Het is onbekend in hoeverre dit voor particuliere verhuurders geldt.
Kantoren	Vanaf 50.000 kWh/25.000 m <sup>3</sup> verplicht de Wet milieubeheer tot het nemen van maatregelen met een terugverdientijd van minder dan vijf jaar. Hierop vindt echter onvoldoende controle en handhaving plaats. Een aantal gebruikers, zoals banken en verzekeraars, neemt deel aan meerjarenafspraken (MJA's). Niet-deelnemers hebben zeer weinig aandacht voor energiebesparing. Bijna 60 procent van de kantoren wordt gehuurd. De kosten en de baten liggen in dat geval bij verschillende partijen ('split incentive'). De focus van investeerders en beheerders ligt niet op onderwerpen die niet direct met de kernactiviteit te maken hebben. Ook bij de huurders is weinig vraag naar energiebesparing.	Eigenaren (de gebruiker of vastgoedfondsen) hebben weinig kennis van CO <sub>2</sub> -reducerende maatregelen. Eigenaren kunnen externe deskundigheid inhuren, maar het is onbekend in hoeverre dit gebeurt.	Aangezien het slecht gaat met de kantorenmarkt, is er waarschijnlijk weinig ruimte voor investeringen.
Ziekenhuizen en Zorg	Vanaf 50.000 kWh/25.000 m <sup>3</sup> verplicht de Wet milieubeheer tot het nemen van maatregelen met een terugverdientijd van minder dan vijf jaar. Hierop vindt echter onvoldoende controle en handhaving plaats. In ziekenhuizen en zorginstellingen wordt veel energie gebruikt. Bij ongeveer twee derde van de instellingen vormt energiebesparing een vast onderdeel van het bedrijfsbeleid. Bij ziekenhuizen worden al relatief veel energiebesparende technieken toegepast, zoals WKK, WKO en warmtepompen. Zorginstellingen lopen daarbij achter, maar passen wel vaak WKK toe. Alleen academische ziekenhuizen (12 van de in totaal 131 ziekenhuizen) nemen nog deel aan de MJA. Daardoor nemen de aandacht en het ambitieniveau voor energiebesparing af. Het draagvlak bij het personeel is beperkt, omdat zorg de eerste prioriteit heeft. Men heeft het (onterechte) idee dat energiebesparing ten koste zou gaan van comfort en/of de kwaliteit van de zorg.	In de ouderenzorg is sprake van afbrokkeling van kennis, omdat facilitaire zaken worden uitbesteed aan derden. Een instellingsdirectie krijgt tijdens haar bestuursperiode meestal slechts eenmaal te maken met nieuwbouw of grootschalige renovatie. Er zijn dan veel onbekende aspecten aan de orde, waarvan duurzaamheid en energie-efficiency niet de meest urgente zijn.	Instellingen hebben een beperkte autonomie op het gebied van investeringen en exploitatie. De bewaking van exploitatie- en investeringskosten ligt bij verschillende partijen: het College Tarieven Gezondheidszorg (CTG) en het College Bouw Ziekenhuisvoorzieningen (CBG). Er is vanuit het CTG en het CBG een normbedrag voor het in stand houden van gebouwen. Als dit bedrag niet toereikend is, moet de organisatie zelf de investering doen. Het aanvragen van subsidies is ingewikkeld en tijdrovend.
Winkels	Onwil om maatregelen te nemen die in de ogen van winkeliers de omzet kunnen verlagen, zoals gesloten koel- en vrieskasten en gesloten toegangsdeuren. Veel winkelpanden zijn niet in eigendom van de uitbater ('split incentive').	Waarschijnlijk weinig kennis.	Winkels met een slechte financiële positie zullen niet in staat zijn om de benodigde investeringen te financieren.

Sector	Willen	Weten	Kunnen
Scholen	<p>Vanaf 50.000 kWh/25.000 m<sup>3</sup> verplicht de Wet milieubeheer tot het nemen van maatregelen met een terugverdientijd van minder dan 5 jaar. Hierop vindt echter onvoldoende controle en handhaving plaats.</p> <p>In het primair en voortgezet onderwijs is de gemeente nog vaak hoofverantwoordelijk voor de huisvestingskosten. De gebruikers van de gebouwen hebben weinig aandacht voor energiebesparing, omdat ze daar niet zelf van profiteren ('split incentive'). Dit geldt niet voor volwassenenonderwijs, hbo's en universiteiten: hier berust de verantwoordelijkheid voor de huisvesting volledig bij het bestuur van de onderwijsinstelling. Het merendeel van de universiteiten heeft inmiddels een energiezorgsysteem.</p> <p>Energiekosten zijn erg beperkt in relatie tot de totale uitgaven, waardoor er weinig aandacht is voor energiebesparing.</p>	<p>Binnen primair en voortgezet onderwijs is vaak weinig kennis van energiebesparende maatregelen. Universiteiten, hbo's en instellingen voor volwassenenonderwijs hebben naar verwachting meer kennis in huis.</p>	<p>Door genormeerde bedragen is er weinig ruimte voor meer investeringen, ook niet als ze rendabel zijn.</p>
Bedrijfshallen	<p>Voor bedrijfshallen geldt geen EPC. Vanaf 50.000 kWh/25.000 m<sup>3</sup> verplicht de Wet milieubeheer tot het nemen van maatregelen met een terugverdientijd van minder dan 5 jaar. Hierop vindt echter onvoldoende controle en handhaving plaats.</p> <p>Opdrachtgever en -nemer voor de bouw van een bedrijfshal hebben weinig aandacht en ambitie voor energiebesparing.</p> <p>De energiekosten maken een klein deel uit van de totale exploitatiekosten.</p>	<p>De benodigde kennis en vaardigheden zijn beperkt aanwezig, zeker bij opdrachtgevers die eenmalig bouwen.</p> <p>Opdrachtgevers denken (ten onrechte) dat energiezuinig bouwen duur is.</p>	
Horeca	Niet onderzocht.	Niet onderzocht.	Niet onderzocht.
Glastuinbouw	Wil lijkt aanwezig vanwege hoog aandeel van energiekosten in totale kosten.	Zou aanwezig kunnen zijn, hetzij bij kaseigenaren, hetzij bij kassenbouwers. Ook vanwege deelname aan Convenant Schone en Zuinige agrosectoren.	Niet bekend.



## Bijlage 2: Beleidsdoelen, stimuleringsmaatregelen en wetgeving

### Inleiding

In deze bijlage bespreken we de huidige beleidsdoelen (tot 2020), stimuleringsmaatregelen (zoals subsidies) en wetgeving met betrekking tot energiebesparing en warmte en koude. Het is goed om te benadrukken dat het vooral bij de stimuleringsmaatregelen en wetgeving om een momentopname gaat. De vigerende stimuleringsmaatregelen en wetgeving hebben vooral betekenis voor het heden en de nabije toekomst, terwijl het Vesta-model tot 2050 vooruitkijkt. Veel subsidieregelingen hebben een tijdelijk karakter (waar dit het geval is, zal dit worden vermeld), en vooral voor warmte en koude wordt de wetgeving momenteel aangepast. Dat betekent dat de beschrijvingen van de desbetreffende wetgeving zijn gebaseerd op wetsvoorstellen, waarbij niet kan worden uitgesloten dat deze nog worden geamendeerd.

### Beleidsdoelen

#### Convenant Meer met Minder

Om energiebesparing te realiseren in bestaande koopwoningen en particuliere huurwoningen heeft de Rijksoverheid het Meer met Minder-convenant afgesloten met energiebedrijven, de installatiebranche en de bouwsector. Deze partijen hebben gezamenlijk een programma opgezet waarmee eigenaren van woningen worden ondersteund bij het aanbrengen van besparingsmaatregelen. Deelname van woningeigenaren is vrijwillig (ECN & PBL 2010a). In het convenant is de doelstelling geformuleerd dat de gebouwde omgeving in 2020 100 petajoule besparing op het energiegebruik heeft gerealiseerd (extra ten opzichte van bestaand beleid). In een toelichting bij het convenant is de 100 petajoule vertaald naar een verbetering van ten minste 3,2 miljoen woningen en gebouwen met 20 tot 30 procent (ECN & PBL 2010a). De doelstelling van het convenant is gebaseerd op een door McKinsey uitgevoerde haalbaarheidsstudie. Die studie heeft een hele reeks aan besparingsmaatregelen verondersteld, waaronder duurzame energie en WKK (23 petajoule), isolatie en installaties (62 petajoule) en elektrische apparaten (14 petajoule). De besparing op elektrische apparaten moet komen van aanscherping van de gebruiksnormen in het kader van de Europese Ecodesign-richtlijn.

Verdeeld over de verschillende sectoren gelden de volgende doelstellingen (MMM 2007):

- particuliere woningbezitters: 43 petajoule;
- woningcorporaties: 27 petajoule;

- particuliere en institutionele verhuurders: 8 petajoule;
- utiliteitsbouw: 22 petajoule.

Een convenant met de sociale huursector (Aedes en de Woonbond) specificeert welke bijdrage woningcorporaties moeten leveren aan de Meer Met Minder-doelstelling. Koepelorganisatie Aedes heeft toegezegd dat corporaties in totaal 2,5 miljard euro extra zullen investeren om in 2020 24 petajoule energiebesparing te realiseren. Daarvoor moeten woningen op het niveau van energielabel B worden gebracht, of minimaal twee labelstappen worden verbeterd. Het op nationaal niveau afgesloten convenant is maar in beperkte mate vertaald naar afspraken met individuele corporaties. Het is daardoor onduidelijk of corporaties voldoende besef hebben van de grote inspanning die van hen wordt verwacht en of zij voldoende faciliteiten en financiële middelen ter beschikking zullen stellen om de afgesproken doelstelling in het convenant te realiseren (ECN & PBL 2010a).

#### Warmte op stoom

Het werkprogramma Warmte op stoom is gericht op versnelling van de omslag naar een duurzame warmte- en koudevoorziening (EZ 2008). Voor 2020 zijn de ambities van dit programma:

- nieuwe woningen en gebouwen zijn energieneutraal;
- bestaande woningen en gebouwen zijn goed geïsoleerd;
- de gastuinbouw stoot 45 procent minder CO<sub>2</sub> uit dan in 1990;
- in nieuwe kassen wordt klimaatneutraal geteeld;
- industriële processen zijn tot 30 procent efficiënter dan in 2005, waardoor er minder warmteverlies is;
- overal waar dit rendabel is, zijn restwarmteprojecten gerealiseerd;
- het aandeel duurzame warmte groeit sterk door meer zonneboilers, warmtepompen en geothermie;
- in de energiesector wordt 46 petajoule energie bespaard via collectieve warmteprojecten, waarvan 21 petajoule door duurzame warmte.

Met ingang van het kabinet-Rutte is het programma echter gestopt en zijn de ambities komen te vervallen.

#### Meerjarenafspraken 3 dienstensector

De Meerjarenafspraken Energie-Efficiëntie (MJA3) met verschillende sectoren uit de industrie, de voedings- en genotmiddelenindustrie en de dienstensector, is een convenant dat is gericht op het bevorderen van de energie-efficiëntie bij middelgrote bedrijven. Uit de dienstensector nemen 26 hbo-instellingen, 8 universitaire medische centra, 14 universiteiten en 18 financiële instellingen deel (AgentschapNL 2010e). Voor bedrijven betekent deelname dat zij energiebesparings-

plannen maken, alle rendabele maatregelen nemen en dat zij jaarlijks de resultaten hiervan aanleveren voor de monitoring. Het doel van de MJA3 is dat alle partijen gezamenlijk 2 procent energiebesparing per jaar realiseren (optellend tot 30 procent energiebesparing in 2020 ten opzichte van 2005).

### Agroconvenant en Programma Kas als Energiebron

In 2008 is het Convenant Schone en Zuinige Agrosectoren (oftewel het Agroconvenant) afgesloten tussen de Nederlandse overheid en de agrosectoren. Hierin zijn de volgende doelen opgenomen (LEI 2010):

- een totale emissiereductie van minimaal 3,3 megaton CO<sub>2</sub> per jaar in 2020 ten opzichte van 1990; hiervan wordt door de inzet van WKK circa 2,3 megaton gerealiseerd<sup>2</sup>, terwijl circa 1 megaton is gerelateerd aan de teelt; de ambitie is dat in 2020 in totaal 4,3 megaton emissiereductie wordt gerealiseerd, waarvan 2,3 megaton door WKK en 2,0 megaton op teeltniveau;
- verbetering van de energie-efficiëntie met gemiddeld 2 procent per jaar tot 2020;
- een aandeel duurzame energie van 20 procent in 2020.

Voor het bereiken van de doelen en ambities in het Agroconvenant werken de glastuinbouw en de Rijksoverheid samen in het energietransitieprogramma 'Kas als Energiebron'. De ambitie van dit programma is dat vanaf 2020 in nieuwe kassen klimaatneutraal en economisch rendabel kan worden geteeld.

## Stimuleringsmaatregelen

### Financiële stimuleringsmaatregelen

Financiële stimuleringsregelingen van de Rijksoverheid hebben in veel gevallen een beperkte looptijd en veranderen in sommige gevallen tussentijds, bijvoorbeeld door amendementen van de Tweede Kamer en bij wisselingen van kabinetten. Voor het meest accurate overzicht van de stimuleringsregelingen wordt daarom verwezen naar het plan van aanpak Energiebesparing Gebouwde Omgeving en de klimaatbrief 2020.<sup>3</sup> Hieronder geven we een gedetailleerder opsomming van bestaande en recent beëindigde stimuleringsmaatregelen. Het kan echter voorkomen dat regelingen zijn achterhaald bij het verschijnen van het rapport.

- In maart 2011 heeft de Tweede Kamer een wetsvoorstel aangenomen om energielabels in het woningwaarderingssysteem (WWS) te waarderen (Aedes 2011). Als het voorstel ook door de Eerste Kamer wordt aangenomen, kunnen woningcorporaties meer huur vragen voor energiezuinige woningen. Huurders hebben het voordeel dat hun energierekening daalt. Bij het maken van lokale afspraken over energiebesparende maatregelen kunnen corporaties

en huurders gebruikmaken van de 'woonlastenwaarborg'. Die is door Aedes en de Woonbond ontwikkeld, en geeft huurders de garantie dat hun woonlasten per saldo niet stijgen.

- Het kabinet zette in 2011 10 miljoen euro in voor het uitvoeren van de Rijkspremieregeling Meer Met Minder. Woningeigenaren die het energielabel één stap verbeterden, ontvingen een premie van 300 euro. Bij twee stappen was dat 750 euro. De regeling liep tot uiterlijk 31 december 2011, en is daarna beëindigd (BZK 2011).
- De Regeling Groenprojecten is in 2008 aangepast, zodat woningen bij verbetering van minimaal twee energielabelsprongen in aanmerking komen voor een 'groene hypotheek'. Begin 2009 is de regeling ook opengesteld voor niet-eigenaren-bewoners. Daardoor kunnen onder andere banken en energiebedrijven arrangementen aanbieden voor financiële producten op basis van een rente die circa 1,5 procent lager is dan normaal (EZ 2008). Overigens is het kabinet-Rutte van plan om de regeling in 2014 te beëindigen (AgentschapNL 2011).
- Tot 31 december 2011 konden particuliere woningbezitters gebruikmaken van een energiebesparingskrediet. Het Rijk staat garant voor leningen die banken verstrekken voor energiebesparende maatregelen, waardoor de rente van de leningen omlaag kan. In de periode 2009 tot en met 2011 wordt maximaal 35 miljoen euro (inclusief uitvoeringskosten) ingezet voor de garantstelling (BZK 2011).
- In de utiliteitsbouw kan via de EIA 44 procent van de investeringskosten voor energiebesparingsmaatregelen worden afgetrokken van de fiscale winst. Als het effect van maatregelen een verbetering van minstens twee labelstappen of het bereiken van label B is, zijn de aftrekmogelijkheden nog ruimer (AgentschapNL 2010a).
- Voor eigenaren-bewoners geldt dat de loonkosten die moeten worden betaald bij het aanbrengen van isolatie aan vloeren, muren en daken onder het lage btw-tarief vallen (6 in plaats van 19 procent). Ook de materiaalkosten vielen tot 1 juli 2011 onder dit lage tarief als zij minder dan 50 procent van de totale kosten zouden uitmaken. Er wordt subsidie gegeven op HR++-glas (ECN & PBL 2010a).
- Het kabinet zal een blok-voor-blokaanpak introduceren (BZK 2011). Daarbij wordt beoogd om meerdere bestaande woningen tegelijk aan te pakken met standaardpakketten waarmee gemiddeld 30 tot 50 procent energiebesparing wordt gerealiseerd. Lokale partijen werken samen onder regie van bijvoorbeeld een gemeente of corporatie, met inzet van private financiers (bijvoorbeeld institutionele beleggers). Ook het beïnvloeden van het gedrag van bewoners en

gebruikers zal onderdeel uitmaken van deze aanpak. Het voornemen is om de komende periode een pilot te starten met vijf projecten. De Rijksoverheid zal deze pilot met 2,5 miljoen euro ondersteunen, met een kleine financiële bijdrage voor de te maken proceskosten. De kennis en ervaring die in de pilotfase worden verzameld, worden verspreid ten behoeve van andere overheden en marktpartijen. De pilot is succesvol als is aangetoond dat de blok-voor-blokaanpak bruikbaar is voor een landelijke uitrol. Er zal nader worden onderzocht of daarbij een rol voor de Rijksoverheid nuttig of nodig is.

- Binnen het programma Energie Onderzoek Subsidie (EOS) loopt de subsidieregeling Industriële warmtebenutting.<sup>4</sup> Deze is erop gericht om een beter gebruik te stimuleren van restwarmte en duurzame warmte uit de industrie. Het gaat daarbij om financiële ondersteuning van concrete projecten en haalbaarheidsonderzoeken. In 2010 was het budget ruim 10 miljoen euro.<sup>5</sup> Het programma is echter niet gecontinueerd.
- De MEI-regeling<sup>6</sup> vergoedt 40 procent van het investeringsbedrag voor demonstratieprojecten van innovatieve energiesystemen in de glastuinbouw. De regeling is onderdeel van het programma Kas als Energiebron. In 2010 was het budget 26 miljoen euro.<sup>7</sup> Ongeveer 40 procent van het budget is gereserveerd voor semigesloten kassystemen, en het overige deel voor overige energiesystemen, zoals aardwarmte, biomassa-afvalverbranding en hoogwaardige warmteopslag.
- Om het gebruik van duurzame aardwarmte te stimuleren, zijn de toenmalige ministeries van EZ en LNV in 2009 een tijdelijke garantieregeling gestart om het financiële risico bij misboringen te verkleinen (AgentschapNL 2010b). In oktober 2010 is de regeling voor de tweede keer opengesteld. De regeling (SEI Aardwarmte<sup>8</sup>) geldt alleen voor geothermie en niet voor WKO. De initiatiefnemer voor een boring betaalt vooraf een premie (7 procent van het maximale subsidiebedrag); in ruil daarvoor worden de kosten van een mislukte boring voor 85 procent gecompenseerd, tot een maximum van ruim 7,2 miljoen euro. Een boring is mislukt als het vermogen dat aan de bodem kan worden onttrokken lager is dan verwacht. Om voor de regeling in aanmerking te komen, moet de aanvrager in het bezit zijn van een locatiespecifiek geologisch onderzoeksrapport, een opsporings- of winningsvergunning en een uitgewerkt financieringsplan. Overigens is de tweede ronde per 1 april 2011 weer gesloten (EL&I 2011), maar naar verwachting zal de garantieregeling – in aangepaste vorm – voorlopig wel worden voortgezet.
- Via de EIA kunnen kosten voor onderzoek naar energiebesparingsmaatregelen worden betrokken bij de eventuele investering die daaruit volgt. Dat geldt

ook voor investeringen in warmtenetten en in de uitkoppeling van warmte uit productiebronnen, inclusief de voorbereidingskosten (EZ 2008).

- Vanaf september 2008 bestond de Subsidieregeling Duurzame Warmte, met een budget van 60 miljoen euro. De regeling gold voor bestaande woningen, maar is inmiddels stopgezet. Tot en met januari 2011 zijn in totaal 14.700 subsidieaanvragen ingediend voor zonneboilers en warmtepompen, en ruim 500 aanvragen voor micro-WKK.<sup>9</sup>
- Binnen de oude SDE-regeling kwam restwarmte die afkomstig is van elektriciteitsopwekking uit biomassa in aanmerking voor subsidie (EZ 2009). Voor geothermie en WKO was echter geen subsidie beschikbaar.<sup>10</sup> In 2011 is een traject gestart om het Besluit SDE zodanig te wijzigen dat de productie van duurzame warmte onder de SDE+ gesubsidieerd kan worden. Het gaat daarbij onder andere om warmte uit geothermie, WKO en met biomassa, -olie of -gas gestookte ketels en WKK-installaties. Deze wijziging zou in 2012 van kracht moeten worden (EL&I 2010b).
- Er zijn ook lokale subsidieregelingen van provincies en gemeenten. In het kader van deze studie zijn deze regelingen niet onderzocht.
- Niet-financiële stimuleringsmaatregelen
- Om er voor te zorgen dat de milieuprestaties van verschillende technieken (zoals zonneboilers, warmtepompen, WKO, geothermie, restwarmte en verbranding van biomassa) beter vergelijkbaar worden, ontwikkelt het Nationaal Expertisecentrum Warmte een uniforme maatlat. De maatlat is vooral bedoeld voor gebruik in de verkennende fase van de ontwikkeling van een woningbouwlocatie. Op internet is inmiddels een 1.0-versie van het rekenmodel beschikbaar.<sup>11</sup> Tevens is er een bètaversie van het protocol beschikbaar (AgentschapNL 2010c).
- Vanaf 2009 worden op regionale warmtekaarten vraag en aanbod van warmte inzichtelijk gemaakt voor overheden, bedrijven en ontwikkelaars. Hierbij kan de beschikbare restwarmte in beeld worden gebracht, maar kan het bijvoorbeeld ook gaan om de mogelijkheden voor gebruik van aardwarmte. Zo wordt duidelijk waar mogelijkheden liggen om restwarmte of duurzame warmte in de directe omgeving te benutten. Warmtegebruik kan zo eenvoudiger worden meegenomen in bouwbesluitvorming van bedrijven, glastuinbouw, woningbouw en overheden. De kaarten worden via internet beschikbaar gesteld.<sup>12</sup> TNO beheert een soortgelijke website voor geothermie en WKO.<sup>13</sup> Deze kaarten van AgentschapNL en TNO zijn vergelijkbaar met de invoer van het Vesta-model. Met het Vesta-model kunnen echter ook toekomstige ontwikkelingen van de warmtevraag en gebouw- en gebiedsmaatregelen worden doorgerekend.

- De nieuwe Wet ruimtelijke ordening is mede gericht op het stimuleren van duurzame energie. Er zal bij de provincies op worden aangedrongen om restwarmtebenutting aan te merken als Provinciaal Belang. Daarmee kan de provincie gemeenten dwingen om vraag en aanbod op elkaar aan te laten sluiten. Daarnaast heeft het Rijk de bevoegdheid om aan restwarmtebenutting de categorie Groot Openbaar Belang toe te kennen en daarmee warmtenetwerken te ondersteunen bij de vergunningverlening (EZ 2008). We merken hierbij op dat restwarmte niet wordt aangemerkt als hernieuwbare energie volgens de EU-definitie.

## Wetgeving

### Inleiding

Aan energiebesparing wordt in regelgeving als de Energieprestatienorm, de Wet milieubeheer, de Ecodesign-richtlijn en de European Building Performance Directive (EPBD) specifiek aandacht besteed. Omdat er echter pas sinds een aantal jaren sprake is van substantiële aandacht voor de toepassing van restwarmte, geothermie en WKO, was de wetgeving tot voor kort nog nauwelijks toegespitst op warmteprojecten. Zo moesten in het kader van de Warmtewet nog een aantal Algemene Maatregelen van Bestuur (AMvB's) en ministeriële regelingen worden ingevuld, en kenden de Mijnbouwwet (geothermie) en de Waterwet (WKO) nog geen of nauwelijks specifieke bepalingen voor deze technieken. In 2011 is een wetsvoorstel ingediend voor de aanpassing van de secties in de Mijnbouwwet die betrekking hebben op geothermie, alsmede een voorstel om een viertal voor WKO relevante AMvB's aan te passen. Ook de Warmtewet zal worden aangepast.

### Energieprestatienorm

Bij nieuwbouw van kantoren en woningen worden binnen het Bouwbesluit eisen gesteld aan de energiezuinigheid. De Energieprestatienorm (EPN) is daarbij de richtlijn. Met de EPN wordt de energieprestatie van een gebouw of woning berekend. De uitkomst van een EPN-berekening is de maat voor de energie-efficiëntie: de Energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Binnen de EPN staat het de bouwer vrij om te kiezen met welke maatregelen de vereiste EPC-waarde wordt gehaald. Daarbij worden maatregelen op het gebied van ruimteverwarming, de verwarming van warm tapwater, verlichting, ventilatie en koeling meegewogen. De EPC-eis is afhankelijk van de gebruiksfunctie. De EPC voor woningen heeft sinds 2011 een waarde van 0,6. Dit komt volgens ECN (persoonlijke communicatie) voor eengezinswoningen overeen met een gemiddeld<sup>14</sup> jaarlijks gasgebruik van ongeveer 1.400 kubieke meter (voor verwarming, warm tapwater en

koken). Voor de utiliteitsbouw gelden voor de verschillende sectoren (ziekenhuizen, winkels, kantoren, enzovoort) verschillende EPC-waarden, variërend van 1,0 voor gezondheidszorg tot 2,6 voor winkels. Aangezien het energiegebruik sterk afhangt van de grootte van het gebouw, is het niet mogelijk hier een gemiddeld gasgebruik aan te koppelen.

In 2008 is in het Lenteakkoord<sup>15</sup> afgesproken dat ernaar zal worden gestreefd om het gebouwgebonden energieverbruik van nieuwbouwwoningen per 1 januari 2011 te verlagen met 25 procent<sup>16</sup> en per 1 januari 2015 met 50 procent ten opzichte van de op 1 januari 2007 geldende bouwregelgeving (VROM 2008). Dit betekent dat de EPC voor nieuwbouwwoningen in twee stappen wordt verlaagd van 0,8 naar 0,4. De verlaging naar een EPC van 0,6 is inmiddels doorgevoerd. De EPC voor utiliteitsgebouwen is in 2009 met gemiddeld 20 procent aangescherpt, en moet in 2015 zijn gehalveerd (VROM 2008). De partijen zijn tevens overeengekomen dat eind 2014 zal worden onderzocht of het haalbaar is om per 2020 nieuwbouwlocaties energieneutraal te bouwen. Dat zou in overeenstemming zijn met de bepaling uit de EPBD (zie hierna) dat lidstaten ervoor moeten zorgen dat eind 2020 alle nieuwe gebouwen bijna-energie neutraal zijn. De inzet van het kabinet is om uiterlijk vanaf 1 juli 2012 één basisnorm te hebben voor de berekening van de energieprestatie van gebouwen (zowel woningen als niet-woningen, zowel nieuwbouw als bestaande bouw): de Energieprestatienorm Gebouwen (BZK 2011). Hierbij zal rekening worden gehouden met wensen van marktpartijen, zoals: eenvoud in gebruik van de bepalingmethode, aandacht voor de relatie tussen berekende energieprestatie en werkelijk energieverbruik, aandacht voor binnenmilieu en aandacht voor comfort. Tevens zal een bepalingmethode worden gepubliceerd voor de energieprestatie van maatregelen op gebiedsniveau (EMG), bijvoorbeeld collectieve systemen zoals WKO, WKK, collectieve warmtepompen en diverse vormen van restwarmtelevering.<sup>17</sup> Op dit moment worden gebiedsgerichte maatregelen al in de berekening van de EPC meegenomen, echter met onjuiste rendementen of door middel van gelijkwaardigheidsverklaringen.<sup>18</sup> Daardoor worden deze systemen onvoldoende gewaardeerd.

### Wet milieubeheer

Op grond van het Activiteitenbesluit uit de Wet milieubeheer zijn ondernemingen met een elektriciteitsgebruik van meer dan 50.000 kilowattuur of een gasgebruik van meer dan 25.000 kubieke meter verplicht om energiebesparende maatregelen met een terugverdientijd van minder dan 5 jaar te nemen. Dit besluit geldt niet voor ondernemingen die onder het ETS-systeem vallen. Als het verbruik hoger is dan 200.000 kilowattuur of 75.000 kubieke meter aardgas per jaar,

dan kan de handhaver (meestal de gemeente) verplichten om een energiebesparingsonderzoek uit te voeren als aannemelijk is dat niet aan de zorgplicht wordt voldaan. In het werkprogramma Warmte op stoom is aangekondigd dat onderzoek naar restwarmtemogelijkheden hiervan deel moet gaan uitmaken (EZ 2008). Er zijn aanwijzingen dat de handhaving slechts beperkt plaatsvindt en het besluit in de praktijk nauwelijks wordt nageleefd (ECN & PBL 2010b).

#### **Ecodesign-richtlijn en Richtlijn Energielabels**

De Europese Ecodesign-richtlijn is een verplichtend beleidsinstrument en stelt door middel van zogenaamde uitvoeringsmaatregelen eisen aan het maximale energiegebruik van een aantal productgroepen. Dit betreft vooral elektrische apparaten (zoals pc's, tv's, vaatwassers en dergelijke), maar ook voor cv-ketels gelden energie-eisen. Daarnaast stelt de Richtlijn Energielabels de beschikbaarheid van energielabels op bepaalde apparaten verplicht. De verwachting van de opstellers van deze richtlijn is dat dit een stimulans zal zijn tot energiezuinig aankoopgedrag (ECN & PBL 2010a).

#### **Europese richtlijn Energieprestaties van gebouwen**

In het kader van de herziene Europese richtlijn Energieprestaties van gebouwen (EPBD, Energy Performance of Buildings Directive) van 2010, moeten lidstaten minimumeisen vaststellen voor de energieprestatie van nieuwe gebouwen, van grote gebouwen die ingrijpend gerenoveerd worden en van nieuwe installatiesystemen in de bestaande bouw. Tevens moeten lidstaten ervoor zorgen dat eind 2020 alle nieuwe gebouwen bijna-energie neutraal zijn<sup>19</sup>, en dat er bij de bouw, verkoop of verhuur van een gebouw een energieprestatiecertificaat (oftewel energielabel) wordt verstrekt. Nederland heeft de regels voor energielabels uitgewerkt in het Besluit Energieprestatie Gebouwen (BEG) en de daarop gebaseerde Regeling Energieprestatie Gebouwen (REG).

#### **Warmtewet**

De Warmtewet uit 2009 stelt regels aan de levering van warmte aan huishoudens. Met de wet voorkomt de overheid dat bedrijven na de liberalisering van de energiemarkt aan consumenten een te hoge prijs vragen voor warmte of de leveringszekerheid van warmte. In de wet staat dat de prijs die energiebedrijven mogen vragen voor de restwarmte die in stadsverwarming wordt gebruikt, niet hoger mag zijn dan de prijs voor het stoken met gas. Deze regel, die ook bekend is als het Niet Meer Dan Anders-principe (NMDA-principe), zal naar verwachting gelden voor gebruikers met een aansluitcapaciteit tot 100 kilowatt (EL&I 2010a). De maximumprijs is opgebouwd uit de vaste kosten (zoals

aansluitbijdrage) en de variabele kosten (het aantal geleverde gigajoules). De wet is aangenomen, maar wordt pas van kracht nadat deze is uitgewerkt in een Warmtebesluit. Een ontwerp-Warmtebesluit is inmiddels beschikbaar en wordt waarschijnlijk in 2012 behandeld in de Tweede en Eerste Kamer (EL&I 2010a).

#### **Mijnbouwwet**

De Mijnbouwwet vormt de basis voor de vergunningverlening voor het zoeken naar en het winnen van aardwarmte op dieptes groter dan 500 meter. Het Staatstoezicht op de Mijnen is daarvoor het bevoegd gezag.

Tot op heden gelden in de Mijnbouwwet voor aardwarmte min of meer dezelfde voorschriften als voor delfstoffen zoals olie en gas. Er was (begin 2011) een wetsvoorstel in voorbereiding voor de aanpassing van de secties in de Mijnbouwwet die betrekking hebben op aardwarmte (EL&I 2011). Het doel van het wetsvoorstel is het vereenvoudigen van de vergunningverlening voor het opsporen en winnen van aardwarmte. De aardwarmtestartvergunning komt in de plaats van de opsporingsvergunning uit de Mijnbouwwet. Het verschil daarmee is dat de vergunninghouder met de aardwarmtestartvergunning ook direct mag beginnen met het winnen van de aardwarmte zodra aardwarmte is opgespoord. Binnen de duur van de aardwarmtestartvergunning is er gelegenheid om de aardwarmtevervolgvergunning aan te vragen. Deze vergunning komt in de plaats van het winningsplan en de goedkeuring daarvan. Daardoor kan de vergunninghouder eerder beginnen met het terugverdienen van zijn investering. Ook zal de afdrachtregeling die voor de winning van delfstoffen geldt, niet van toepassing zijn op aardwarmte.

#### **Waterwet**

Tot op heden moet voor open WKO-systemen van enige omvang in het kader van de Waterwet bij de provincie een vergunning worden aangevraagd. Voor gesloten systemen is geen vergunning vereist. De procedure gaat gepaard met onderzoekskosten en leges (samen gemiddeld 9.000 euro) en monitoringskosten (gemiddeld 3.500 euro per jaar) (Taskforce WKO 2009). Ter onderbouwing van de aanvraag moet een studie worden opgesteld die de effecten van de activiteit op de omgevingsbelangen in kaart brengt. Omgevingsbelangen zijn bijvoorbeeld drinkwaterwinning, natuurgebieden, zettingsgevoelige bebouwing, verontreiniging of bestaande energieopslagsystemen. De huidige Waterwet is primair gericht op bescherming van het grondwater en niet op het verantwoord en effectief benutten van de energieopslagcapaciteit van de ondergrond. Daarnaast zijn de regels voor vergunningverlening vaak niet uniform (CE 2009a). Provincies hanteren op dit moment nog

verschillende criteria voor het verlenen van vergunningen op grond van de Waterwet. Sommige provincies verbieden het gebruik van bepaalde watervoerende pakketten en staan niet toe dat netto-onttrekking van warmte of koude aan de ondergrond plaatsvindt (Taskforce WKO 2009). Daarnaast bestempelen enkele provincies het gebruik van grondwater voor open systemen als 'laagwaardig', waardoor dit gebruik veel kritischer wordt beoordeeld dan het 'hoogwaardig' gebruik als drinkwater. De verschillen leiden tot onduidelijkheden voor marktpartijen.

Begin 2011 is in de Tweede Kamer een voorstel ingediend om een viertal relevante AMvB's aan te passen, zodat een aantal knelpunten als gevolg van de bestaande wetgeving wordt weggenomen (I&M 2011b). De aanpassingen hebben niet alleen betrekking op het Waterbesluit (onder de Waterwet), maar ook op het Activiteitenbesluit (onder de Wet milieubeheer), het Besluit lozen buiten inrichtingen (onder de Wet bodembescherming) en het Besluit omgevingsrecht (onder de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht).<sup>20</sup> De meest relevante wijzigingen zijn:

- Verwezenlijken van een zo veel mogelijk gelijk speelveld voor open en gesloten WKO-systemen, door ook regels te stellen voor de momenteel nog niet geregelde gesloten systemen. Daardoor moet worden voorkomen dat het ontbreken van voorschriften en procedures de keuze voor een bepaald WKO-systeem gaat sturen, in plaats van prestatie en kwaliteit.
- Verkorting van de procedure voor vergunningverlening voor open systemen. In plaats van de in de Waterwet voorgeschreven uitgebreide openbare voorbereidingsprocedure gaat nu de reguliere voorbereidingsprocedure op grond van de Algemene wet bestuursrecht gelden.<sup>21</sup> Hiermee wordt een betere inpassing van WKO-systemen in bouwprojecten beoogd. In de oude situatie vormde het lange vergunningtraject een risico voor het kritische tijdpad van projectontwikkelaars.
- Uniformering van de uiteenlopende voorschriften van provincies voor WKO-systemen door invoering van een algemeen beschermingsniveau dat voor heel Nederland geldt. Waar nodig wordt de mogelijkheid geboden om maatwerkvoorschriften te stellen. Als sprake is van specifieke bodemwaarden of -functies (zoals bescherming van drinkwaterwinning) behouden gemeenten en provincies de mogelijkheid in aanvulling hierop een bijzonder beschermingsniveau in te stellen. Voor grondwaterbeschermingsgebieden is regulering via de provinciale milieuverordening volgens de Wet milieubeheer verplicht.
- De mogelijkheid voor gemeenten en provincies om interferentiegebieden<sup>22</sup> aan te wijzen. In die gebieden kan beleid worden gevoerd ter bevordering van een doelmatig gebruik van bodemenergie. Voorkomen van

interferentie is hierbij een belangrijk aandachtspunt, naast het doorbreken van het beginsel van 'Wie het eerst komt, het eerst pompt'. Interferentie kan worden voorkomen door een betere ordening van bodemenergiesystemen in de ondergrond.



## Noten

- 1 Dit is naderhand bijgesteld naar 24 petajoule.
- 2 Dat wil zeggen op nationaal niveau: door de inzet van WKK nemen de emissies van de glastuinbouw toe, maar die van de elektriciteitssector nemen in sterkere mate af. Het convenant houdt geen rekening met het feit dat de emissies van de elektriciteitssector onder het ETS-systeem vallen.
- 3 Zie <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/02/25/plan-van-aanpak-energiebesparing-gebouwde-omgeving.html>, respectievelijk <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2011/06/08/kabinetsaanpak-klimaatbeleid-op-weg-naar-2020.html>.
- 4 Voorheen was dit het Unieke Kansen Programma 'Verduurzaming Warmte en Koude'.
- 5 [Http://regelingen.agentschapnl.nl/content/subsidieregeling-industrie%20warme-warmtebenutting](http://regelingen.agentschapnl.nl/content/subsidieregeling-industrie%20warme-warmtebenutting).
- 6 De subsidie Marktintroductie Energie-Innovaties is bedoeld voor het stimuleren van de vroege marktintroductiefase van energieinnovaties in de glastuinbouw.
- 7 [Http://www.energiek2020.nu/subsidies/markt-introductie-energie-innovaties-meij/](http://www.energiek2020.nu/subsidies/markt-introductie-energie-innovaties-meij/).
- 8 Voluit: Subsidieregeling Energie en Innovatie Risico's dekken voor Aardwarmte.
- 9 De doelstelling was 55.000 zonneboilers, 5.000 warmtepompen en 10.000 micro-WKK's.
- 10 Warmtepompen vallen als gezegd wel onder de subsidieregeling Duurzame Warmte.
- 11 [Http://regelingen.agentschapnl.nl/content/uniforme-maatlat](http://regelingen.agentschapnl.nl/content/uniforme-maatlat).
- 12 [Http://agentschapnl.kaartenbalie.nl/gisviewer/indexlist.do](http://agentschapnl.kaartenbalie.nl/gisviewer/indexlist.do).
- 13 [Http://www.thermogis.nl/thermogis.html](http://www.thermogis.nl/thermogis.html).
- 14 Gemiddeld over alle woningtypen: vrijstaand, twee-onder-een-kap, hoekwoning, rijtjeswoning en meergezinswoning.
- 15 Het Lenteakkoord is een convenant dat door VROM is afgesloten met Bouwend Nederland, NEPROM en NVB.
- 16 Deze aanscherping is inmiddels gerealiseerd.
- 17 Zie <http://www.nen.nl/web/Actueel/Energieprestatienorm-gebiedsmaatregelen.htm>.
- 18 Bij de EPC-berekeningen wordt via het Bouwbesluit de mogelijkheid geboden de toepassing van innovaties die (nog) niet zijn gewaardeerd in de rekenmethodiek voor de EPC en het energielabel, via gelijkwaardigheidsverklaringen te waarderen.
- 19 Voor gebouwen die eigendom zijn van overheidsinstanties geldt deze eis al eind 2018. Onder een bijna-energie neutraal 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 die ter plaatse of dichtbij uit hernieuwbare bronnen wordt geproduceerd te bevatten.
- 20 De bundeling van wijzigingsbepalingen wordt in I&M (2011) korthedshalve aangeduid als Besluit bodemenergiesystemen. Dit is echter geen 'officiële' citeertitel van dit besluit.
- 21 In individuele uitzonderingsgevallen kan het bevoegd gezag alsnog gemotiveerd de uitgebreide openbare voorbereidingsprocedure volgen.
- 22 Dit zijn gebieden waarin een grote energiebehoefte per oppervlakte-eenheid bestaat en een groot aantal WKO-systemen wordt verwacht (veelal stedelijk gebied).

# Literatuur

- Aedes (2011) <http://www.aedesnet.nl/content/artikelen/achtergrond/unknown/dossier-huur-en-verhuur/Energielabel-opgenomen-in-WWS.xml>.
- AgentschapNL (2010a) *Gebouweigenaren en facilitair managers, Energielabel als keurmerk*, Agentschap NL, februari 2010.
- AgentschapNL (2010b) *SEI Risico's dekken voor Aardwarmte, Handleiding, Garantierегeling tegen het risico van misboring van het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit*, september 2010.
- AgentschapNL (2010c) *Uniforme Maatlat voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw, versie 2.2 (bèta-versie)*, AgentschapNL, juni 2010.
- AgentschapNL (2010d) *Warmte in Nederland*, AgentschapNL, Publicatienummer 2NECW1003, januari 2010.
- AgentschapNL (2010e) *Meerjarenafspraak Energie-Efficiency MJA3, Resultaten 2009*, AgentschapNL, oktober 2010.
- Bakker en Campen (2007) *Aardwarmte in de glastuinbouw: duurzame energie met grote energiebesparingpotentie*, Wageningen UR, Nota 495, 2007
- BZK (2011) *Plan van aanpak energiebesparing gebouwde omgeving*, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, februari 2011.
- CBS (2011) *Hernieuwbare energie in Nederland 2010*, ISBN: 978-90-357-1608-7, ISSN: 1573-2215, 2011.
- CE (2006) *Belemmeringen binnen en buiten de muren, Inventarisatie knelpunten en belemmeringen energiebesparingsmaatregelen Gebouwde Omgeving*, CE Delft, mei 2006.
- CE (2009a) *IPO Routekaart Warmte, Provincies op weg naar effectieve benutting van warmte en koude*, CE Delft, maart 2009.
- CE (2009b) *Warmtenetten in Nederland, overzicht van grootschalige en kleinschalige warmtenetten in Nederland*, CE, oktober 2009.
- CE (2009c) *Energieprestatie-eisen bestaande woningen*, CE, augustus 2009.
- CE (2010) *Halvering CO<sub>2</sub>-emissie in de Gebouwde Omgeving, Een beoordeling van negen instrumenten*, CE Delft, juni 2010.
- CE (2011) *Functioneel ontwerp Vesta*, CE, C. Leguijt en B.L. Schepers, juli 2011.
- ECN (2009) *Duurzame warmte en koude in Nederland, D3 van WP2 van het RES-H Policy project*, ECN, juni 2009.
- ECN (2010) *Benutting restwarmte, Notitie voor Werkgroep Heroverweging Energie en Klimaat*, ECN, ECN-BS--10-015, 2010.
- ECN (2011) *Restwarmtebenutting: potentiëlen, besparing, alternatieven*, Daniëls et al. ECN-E--11-058, november 2011.
- ECN & PBL (2010a) *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*, ECN en PBL, april 2010.
- ECN & PBL (2010b) *Aanvullende beleidsopties Schoon en Zuinig*, ECN en PBL, april 2010.
- ECN & RIGO (2010) *Evaluatie EPC-aanscherping woningen*, ECN en RIGO, ECN-E--10-043, april 2010.
- Ecofys (2007) *Duurzame warmte en koude 2008-2020: potentiëlen, barrières en beleid*, Ecofys, juli 2007.
- Ecofys (2009) *Factsheet diepe geothermie*, opgesteld door Ecofys (S. Hagedoorn) voor Ener-giesymposium 16/10/2009, Den Haag.
- EL&I (2010a) *Wijziging Warmtewet en Ontwerp Warmtebesluit*, ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 21 december 2010.
- EL&I (2010b) *Brief van de minister van EL&I aan de Tweede Kamer over de SDE+*, vergaderjaar 2010-2011, dossier 31239, nr. 103, 30 november 2010.
- EL&I (2011) *Actieplan Aardwarmte*, ministerie van EL&I, april 2011.
- Energieraad (2009) <http://www.energieraad.nl/newsitem.asp?pageid=12730>.
- EZ (2008) *Warmte op stoom, werkprogramma voor verduurzaming van de warmte- en koudevoorziening*, ministerie van EZ, 2008.
- EZ (2009) *Stimulering duurzame energieproductie*, brief van de minister van Economische Zaken aan de Tweede Kamer, 31239, nr. 43.
- I&M (2011a) *Klimaatbrief 2050: uitdagingen voor Nederland bij het streven naar een concurrerend, klimaatneutraal Europa*, brief van de minister van I&M aan de Tweede Kamer, 18 november 2011.
- I&M (2011b) *Toelichting bij brief van de minister van I&M betreffende voorhang Besluit bodemenergiesystemen*, 17 maart 2011.
- KWR (2010) *Ordering van de ondergrond, een fysiek en juridisch afwegingskader (bijlagenrapport)*, KWR Watercycle Research Institute, maart 2010.
- LEI (2008) *Duurzame energie: stroomt het? Managementsamenvatting over de belemmeringen in wet- en regelgeving en vergunningverlening bij de implementatie van duurzame energiesystemen in de glastuinbouw*, LEI/WUR, oktober 2008.
- LEI (2010) *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2009*, LEI-rapport 2010-091, december 2010.



- MMM (2007) *Meer Met Minder*, PeGO, EnergieNed en Aedes, juni 2007.
- MNP (2009) *Productie en opslag van warmte en koude, Evaluatie van transitie op basis van systeemopties*, concept van februari 2009.
- NMa (2010) *Onderzoek effect Warmtewet op warmteprijs en bedrijfsrendement*, Nederlandse Mededingingsautoriteit, mei 2010.
- Novem (2002) *Een bron van informatie, warmtelevering in de praktijk*, Novem.
- Nyenrode (2008) *Draaien aan knoppen, onderzoek naar het creëren van business-opportunities bij het MKB in het kader van het terugdringen van het energiegebruik van woningen van eigenaar-bewoners*, Nyenrode, december 2008.
- PBL & ECN (2011) *Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2012) *Vesta Ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving, Data en methoden*, Folkert R.J.M. en R.A. van den Wijngaart, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Platform Geothermie (2010) *Factsheet diepe geothermie*, Platform Geothermie, november 2010.
- Rebel (2010) *Analyse Impact Warmtewet, Analyse Impact Warmtewet op projecten en inventarisatie belanghebbenden*, Rebel advisory, augustus 2010.
- SenterNovem (2007) *Warmteleveringsystemen voor Nederland*, SenterNovem, juli 2007 (concept-hoofdrapport, niet gepubliceerd).
- Tasforce WKO (2009) *Groen licht voor bodemenergie*, advies Taskforce WKO, maart 2009.
- TTE (2009) *KWO potentie van de Randstad*, TTE, maart 2009.
- VROM (1998) *Kosten en baten in het milieubeleid – definities en berekeningsmethoden*, Publicatierreeks milieustrategie 1998/6, ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM), Den Haag.
- VROM (2008) *Lenteakkoord, Energiebesparing in de nieuwbouw*, 22 april 2008.