



Vesta 2.0

## Uitbreidingen en dataverificaties

### Rapport

Delft, juni 2013

### Opgesteld door:

C. (Cor) Leguijt

B.L. (Benno) Schepers

Met medewerking van:

R. (Ruud) van den Wijngaart (PBL) en R. (Rob) Folkert (PBL)



# Colofon

## **Bibliotheekgegevens rapport:**

C. (Cor) Leguijt, B.L. (Benno) Schepers

Met medewerking van: R. (Ruud) van den Wijngaart (PBL) en R. (Rob) Folkert (PBL)

Vesta 2.0

Uitbreidingen en dataverificaties

Delft, CE Delft, juni 2013

Publicatienummer: 13.3440.45

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider, Cor Leguijt.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.



# Samenvatting

Het Vesta-model van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is op een aantal functionele punten uitgebreid, waardoor er ook behoefte is aan nadere invoerdata voor het model. Daarnaast was er bij de eerste versie van het Vesta-model al behoefte aan een check in de markt op de bestaande invoerdata in het model voor de investeringen in warmtedistributie en in warmte/koudeopslag (WKO), een check die nu is uitgevoerd.

In dit rapport wordt de nadere invoer informatie voor 'Vesta 2.0' beschreven. Het betreft onderdelen die relatief los van elkaar staan, en in dit rapport per hoofdstuk worden behandeld.

De onderwerpen die in dit rapport worden behandeld zijn achtereenvolgens:

- leercurves en ranges op kostprijzen van energetische verbeteringen aan de woning en op gebouwgebonden energieproductie (i.e. gebouwgebonden maatregelen);
- verdergaande woningverbetering, naar energieneutraal; inclusief leercurve;
- tussenstappen tussen huidig labelniveau van de woning en label B;
- check in de markt op de invoerdata in 'Vesta 1.0' voor investeringen in warmtedistributie en WKO (i.e. gebiedsgebonden maatregelen);
- prijzen en prijsontwikkeling van installaties om 'schone energiedragers' toe te kunnen passen (i.e. *all electric* woningen, en toepassing van groen gas).



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Inleiding	7
<b>2</b>	<b>Leercurves</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Energieneutrale woningen</b>	<b>27</b>
3.1	Inleiding	27
3.2	Aanpak	27
3.3	Gespreksverslagen	28
3.4	Cijferinput Vesta 2.0	30
3.5	Aanpak	31
3.6	Uitkomsten	33
3.7	Leercurve	41
3.8	Overzicht maatregelen en kosten voor energieneutraal	41
<b>4</b>	<b>Tussenstap naar label B</b>	<b>45</b>
4.1	Verband tussen energie-index en energielabel	45
4.2	Methodiek	46
4.3	Omzetting naar voorbeeldwoningen 2011	50
4.4	Leercurves	52
<b>5</b>	<b>Gebiedsmaatregelen</b>	<b>53</b>
5.1	Opzet en dataverzameling	53
5.2	Aanpassingen aan huidige input Vesta	53
5.3	Leercurves	59
<b>6</b>	<b>Toepassingen schone energiedragers</b>	<b>61</b>
6.1	Lagetemperatuurafgiftesysteem	61
6.2	Elektrische weerstandsverwarming	62
6.3	Groen gas en biogas	64
6.4	Leercurves	67
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>71</b>





# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Het Vesta-model van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is op een aantal functionele punten uitgebreid, waardoor er ook behoefte is aan nadere invoerdata voor het model. Daarnaast was er bij de eerste versie van het Vesta-model al behoefte aan een check in de markt op de bestaande invoerdata in het model voor de investeringen in warmtedistributie en in warmte/koudeopslag (WKO), een check die nu is uitgevoerd.

In dit rapport wordt de nadere invoerinformatie voor 'Vesta 2.0' beschreven. Het betreft onderdelen die relatief los van elkaar staan, en in dit rapport per hoofdstuk worden behandeld. Om die reden bevat dit rapport ook geen inhoudelijke samenvatting en conclusies.

De functionele uitbreidingen betreffen specifiek het toepassen van 'tussenvoegpunten' bij energetische woningverbetering tussen de huidige waarde en het huidige eindpunt 'label B', het opnemen van de mogelijkheid om de woning<sup>1</sup> verder te verbeteren naar 'energieneutraal', het hanteren van ranges op de invoerwaarden en het hanteren van leercurves op de prijsontwikkeling in de tijd. Niet alle informatie in dit rapport zal 1-op-1 worden overgenomen in het Vesta-model; de keuzes daarover worden door PBL gemaakt.

De opbouw van het rapport is als volgt:

Hoofdstuk	Inhoud
2	Leercurves en ranges op kostprijzen van energetische verbeteringen aan de woning en op gebouwgebonden energieproductie (i.e. gebouwgebonden maatregelen)
3	Verdergaande woningverbetering, naar energieneutraal; inclusief leercurve
4	Tussenschakels tussen huidig labelniveau van de woning en label B
5	Check in de markt op de invoerdata in 'Vesta 1.0' voor investeringen in warmtedistributie en WKO (i.e. gebiedsgebonden maatregelen)
6	Prijzen en prijsontwikkeling van installaties om 'schone energiedragers' (i.e. <i>all electric</i> woningen en toepassing van groen gas) te kunnen toepassen

<sup>1</sup> Utiliteitsbouw en glastuinbouw zijn buiten scope van dit rapport gehouden voor wat betreft leercurves, tussenvoegpunten en verdergaande verbeteringen dan label B.





## 2 Leercurves

### 2.1 Huidige investeringscijfers woningverbetering

In het Vesta-model zitten investeringscijfers voor woningverbeteringen van de huidige woningen. Om hiervoor leercurves (i.e. kostenreductie als functie van de tijd) op te stellen, is gekeken naar de gecombineerde ontwikkelingen in de materiaalprijzen, de arbeidskosten en productiviteit. Deze parameters bepalen de uiteindelijke kostenontwikkeling. Vanaf het basisjaar (2010=100) wordt een leercurve voor de kosten opgesteld tot 2050 door te kijken naar de individuele ontwikkelingen op die drie aspecten.

In de komende paragrafen worden de aannames achter de drie aspecten toegelicht en de bepaling van de uiteindelijke leercurve. Als eerste wordt echter de verdeling bepaald tussen de materiaal- en arbeidskosten van veel voorkomende maatregelpakketten. Dit vormt het uitgangspunt voor de verdere ontwikkelingen op de drie aspecten.

#### 2.1.1 Verdeling van kosten tussen materiaal en arbeid

Voor de toekomstige kostenontwikkelingen van woningverbeteringen zijn er verschillende verwachtingen. Zo is de verwachting dat de kosten van materiaal gaan dalen, maar de arbeidskosten gaan stijgen. Tegelijkertijd zal er productiviteitsverbetering plaats gaan vinden, waardoor minder arbeid nodig zal zijn.

Om deze ontwikkelingen uit elkaar te trekken is het noodzakelijk inzicht te hebben in de verdeling van de materiaal- en arbeidskosten. Om te zien wat deze verdeling is, is een tweetal maatregelpakketten gekozen uit de EPA-maatregelen (Agentschap NL, 2010) dat globaal representatief wordt geacht voor de woningen die nu in Vesta zitten (zie Tabel 1).

Tabel 1 EPA-maatregelpakketten

Woningtype	Pakket
Woningen met C-label of hoger	Isolatie, warmtepomp, vloerverwarming, zonneboiler
Woningen met B-label of lager	Warmtepomp, vloerverwarming, zonneboiler

Opmerking: Het isolatiepakket is gebaseerd op de gecombineerde maatregelen (vloer, dak- en gevelisolatie en dubbelglas) voor een Rijwoning 1965-1974 (Agentschap NL, 2011).

Van de gekozen maatregelen is gekeken wat de verhouding tussen materiaal- en arbeidskosten zijn. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen een individuele aanpak op een niet-natuurlijk moment (de maximale waarde) en een projectmatige aanpak op een natuurlijk moment (de minimale waarde). Hierdoor ontstaat een bandbreedte voor de leercurve. Om een gevoel te geven voor de bandbreedte in absolute kosten wordt in Tabel 2 de verhouding van de totale minimale en maximale kosten gegeven (kolom: verhouding min/max).

In Tabel 2 staan de uitkomsten samengevat.

Tabel 2 Verdeling materiaal- en arbeidskosten voor leercurve

Pakket	Max (individueel)		Min (projectmatig)		Verhouding min/max
	Materiaal	Arbeid	Materiaal	Arbeid	
Isolatie + WP + VV + ZoBo	55%	45%	60%	40%	80%
WP + VV + ZoBo	60%	40%	65%	35%	85%

Opmerking: Percentages zijn afgerond op vijftallen.

### 2.1.2 Ontwikkeling materiaalprijzen

Om een schatting te geven van de prijsontwikkeling van de materialen, is gekeken naar de historische prijsontwikkeling van enkele relevante productgroepen en is deze geëxtrapoleerd naar de toekomst. Hiervoor zijn de volgende stappen doorlopen:

- Er is gebruik gemaakt van de afgeleide consumentenprijsindex (CPI) van ‘Producten voor onderhoud/repatrie van de woning’ en ‘Kachels, boilers, geisers, e.d.’<sup>2</sup>. Door naar de *afgeleide* CPI te kijken, wordt de prijsontwikkeling zichtbaar, zonder de invloed van belastingen en subsidies. Dit in tegenstelling tot de gewone CPI, waar deze aspecten wel in verwerkt zitten.
- Om te berekenen wat de prijsontwikkeling in vaste prijzen is, wordt de gemiddelde afgeleide CPI tussen beide productgroepen verminderd met de afgeleide inflatie.
- De resulterende prijsontwikkeling wordt geijkt op 2010 (oorspronkelijke gegevens hebben 1996 of 2006 als basisjaar).

Voor het bepalen van de toekomstige spreiding/onzeketheid van de prijsontwikkeling, is gekeken naar de historische afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde trend. Hierbij is gekeken wat de totale afwijking *boven* de trend is (1996-2010), gedeeld door vijftien jaar. Dit geeft een indicatie van wat de gemiddelde jaarlijkse afwijking naar boven is geweest in de afgelopen vijftien jaar en wat dus logischerwijs ook tot 2050 de gemiddelde jaarlijkse afwijking naar boven kan zijn. Hetzelfde is gedaan voor de afwijking *onder* de trend. De aanname is dat in het maximale scenario deze gemiddelde afwijking naar boven ten opzichte van de trend zich tot 2050 voordoet.

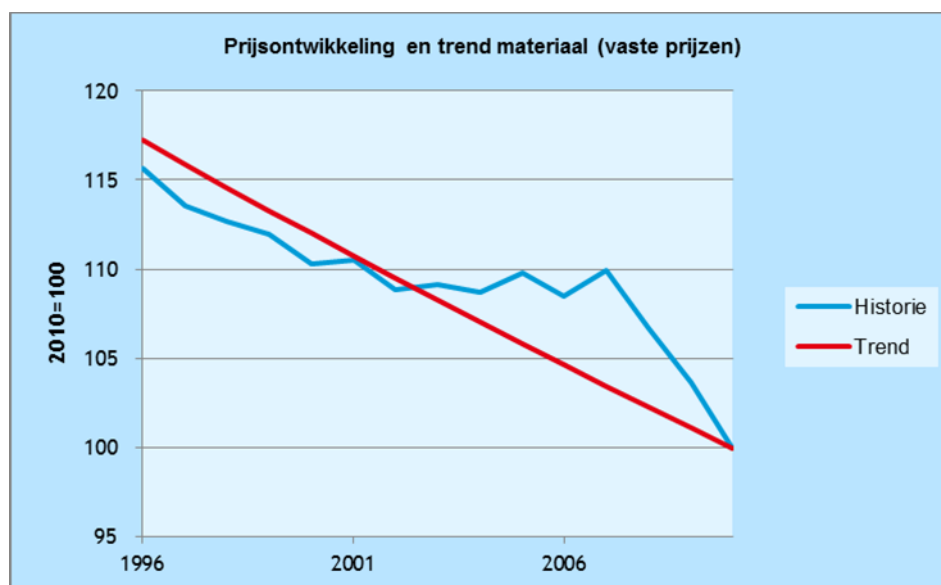
In het minimale scenario de gemiddelde afwijking naar onder.

In Figuur 1 is weergegeven wat het verschil tussen de trend en de historische cijfers is. Het gemiddelde verschil naar boven is 1,6 en naar onder is -0,7.

<sup>2</sup> Respectievelijk: ‘04310 Prod. v. onderh./rep. v.d. woning’ en ‘05314 Kachels, boilers, geisers, e.d.’

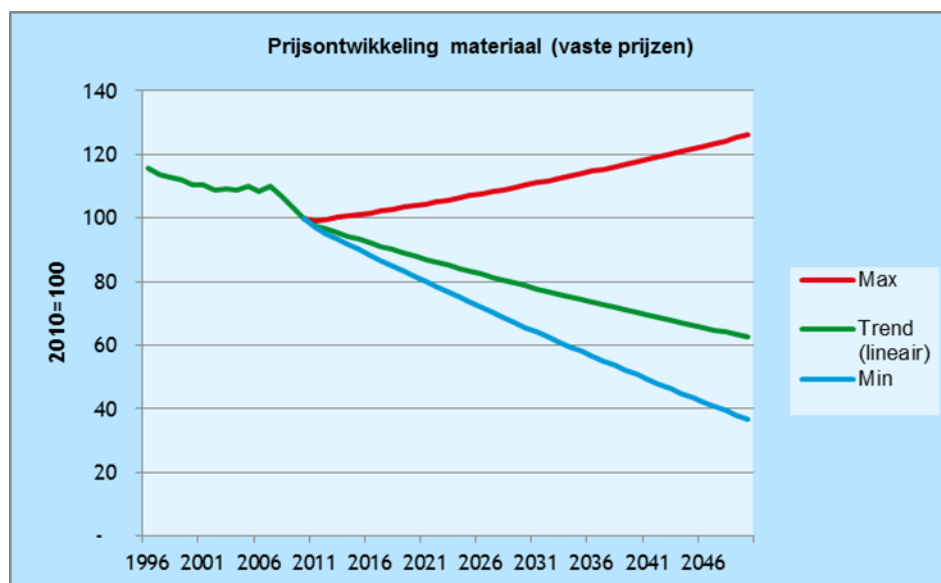


Figuur 1 Verschil tussen trend en historische cijfers



De resulterende prijsontwikkeling voor de materiaalkosten, gebaseerd op historische trends, is weergegeven in het onderstaande diagram. Voor Vesta is deze prijsontwikkeling voor de jaren 2020, 2030, 2040 en 2050 vastgesteld en weergegeven in Tabel 3.

Figuur 2 Historische trend en toekomstige prijsontwikkelingen materiaalkosten



Bron: Bewerking CBS-gegevens.

Tabel 3 Prijswontwikkeling materiaalkosten voor leercurve (index, in vaste prijzen 2010)

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	82	66	51	37
Max	100	104	110	118	126

### 2.1.3 Ontwikkeling arbeidskosten

Het bepalen van de toekomstige ontwikkelingen van de arbeidskosten is een zeer arbitraire oefening. Er zijn vele factoren die van invloed zijn op de ontwikkeling van de lonen en arbeidskosten. Te denken valt aan verjongen van het personeel (lagere kosten), tekort aan (correct) geschoold personeel (verhoging van de kosten), demografisch ontwikkelingen, et cetera. Daarnaast zijn er relatief weinig studies voor de loonontwikkelingen op lange termijn beschikbaar.

Om toch een inschatting te maken van het verloop van de arbeidskosten is gekeken naar de gecombineerde structuur- en conjunctuureffecten voor 2020, en zijn deze voortgezet naar 2050. Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Het gecombineerde structuur- en conjunctuureffect voor de marktsector is tot 2020 per jaar 0,4% (SEOR, 2011).
- Lage werkloosheid leidt tot hogere lonen, in de komende decennia stagneert het aanbod van arbeid, waardoor de werkloosheid daalt, en lonen sneller toenemen (SEOR, 2011).
- Aangenomen wordt dat het stagnerende aanbod en onvoldoende geschoold personeel een sterkere invloed hebben op de totale arbeidskosten dan de verjonging van het arbeidspotentieel en dat de totale arbeidskosten als gevolg daarvan stijgen.
- Als gevolg hiervan wordt aangenomen dat vanaf 2020 per decennium de jaarlijkse verandering 0,2% hoger ligt.<sup>3</sup>
- Er zijn te weinig bruikbare gegevens beschikbaar voor het opstellen van een minimale en maximale variant voor de ontwikkeling van de arbeidskosten. In het kader van deze studie is de beschikbare tijd te kort om een inventarisatie en analyse van eventuele historische gegevens uit te voeren.

Op basis van deze aannames worden de jaarlijkse veranderingen in arbeidskosten zoals weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Groeipercentages arbeidskosten

	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
% per jaar	0,4%	0,6%	0,8%	1,0%

Dit leidt tot de volgende ontwikkeling in arbeidskosten.

Tabel 5 Prijsontwikkeling arbeidskosten voor leercurve (index, in vaste prijzen 2010)

2010	2020	2030	2040	2050
100	104	110	120	132

### 2.1.4 Ontwikkeling productiviteit

Er vindt voortdurend incrementele productiviteitsverbetering plaats in technieken, methoden, producten, et cetera. Dit heeft eveneens invloed op de uiteindelijke kosten van energiebesparende maatregelen. Denk bijvoorbeeld aan nieuwe technieken voor het aanbrengen van spouwmuurisolatie, of goedkopere productiemethoden voor HR++ glas.

Dit heeft vooral invloed op hoeveel arbeidstijd het kost om een bepaalde handeling te doen. Het CBS houdt van verschillende sectoren bij wat de ontwikkeling van de productiviteit is.

<sup>3</sup> Dit is geen absoluut gegeven, de waarde kan ook iets lager of hoger liggen.



Hierbij worden de volgende stappen genomen:

- Voor de schatting wordt gekeken naar de multifactorproductiviteit van de gehele commerciële sector. De multifactorproductiviteit is de verandering van de productie (of toegevoegde waarde) gegeven een gelijkblijvende verzameling van productiemiddelen, zoals arbeid, kapitaal, energie, materialen of diensten. Dit kan ontstaan door bijvoorbeeld technologische vooruitgang, schaalvoordelen, veranderingen in bezettingsgraden en incidentele factoren zoals weersomstandigheden (bijvoorbeeld in de landbouw) (CBS Statline, 2012).
- Voor de toekomstige ontwikkelingen van de productiviteit wordt dezelfde methodiek (gemiddelde afwijking van de trend) gehanteerd als bij de materiaalkosten.

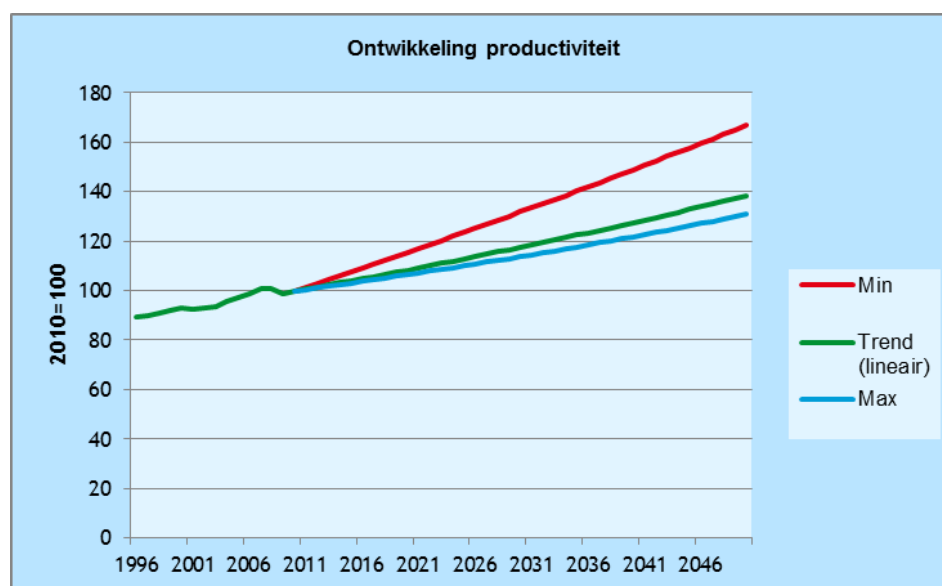
De resulterende productiviteit wordt weergegeven in Figuur 3 en Tabel 6. Voor toepassing in Vesta is deze afgerond op tientallen.

Het minimale en maximale scenario is in het geval van de productiviteit wel andersom dan bij de andere onderdelen. Voor minimaal kan het ‘gunstigste’ scenario worden gelezen en dat is in het geval van productiviteit de hoogste waarde.

Tabel 6 Ontwikkeling productiviteit voor leercurve

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	115	132	149	167
Max	100	106	114	122	131

Figuur 3 Historische trend en toekomstige ontwikkeling multifactorproductiviteit



Bron: Bewerking CBS-gegevens.

### 2.1.5 Gecombineerde leercurve

Op basis van de ontwikkelingen in de voorgaande paragrafen kan nu voor twee situaties (C-label en hoger, B-label en lager) een leercurve worden opgesteld die de boven- en ondermarge van de te verwachten prijsontwikkelingen aangeeft.

Aan de hand van de volgende formule wordt de curve bepaald.

$$\text{Index}_t = \left( \frac{AM \times MK_t}{100} + \frac{AA \times AK_t}{PI_t} \right)$$

Tabel 7 Variabelen

Variabele	Omschrijving	Variant
Index <sub>t</sub>	Index op moment t	Min, max
t	Beschouwde tijd	2010, 2020, 2030, 2040, 2050
AM	Aandeel materiaal	Min, max
AA	Aandeel arbeid	Min, max
MK <sub>t</sub>	Waarde materiaal kosten moment t	Min, max
AK <sub>t</sub>	Waarde arbeidskosten moment t	Min, max
PI <sub>t</sub>	Waarde productiviteit moment t	Min, max

### C-label en hoger

Voor de woningen met een C-label en hoger wordt de leercurve bepaald door de volgende waarden van de variabelen.

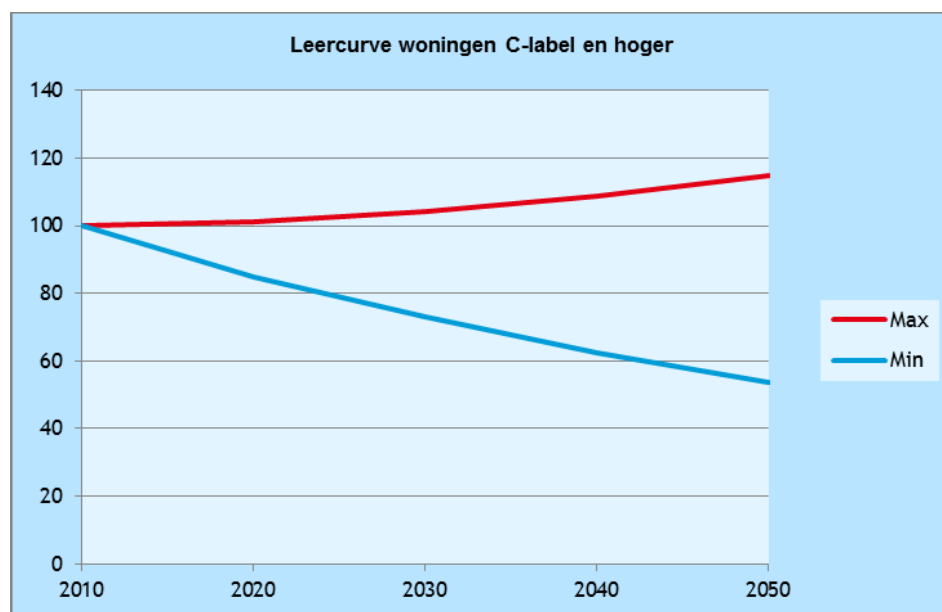
Tabel 8 Invoerwaarden

Variabele	2010	2020	2030	2040	2050
AM - max	55				
AM - min	60				
AA - max	45				
AA - min	40				
MK - max	100	104	110	118	126
MK - min	100	82	66	51	37
AK - max	100	104	110	120	132
AK - min	100	104	110	120	132
PI - max	100	106	114	122	131
PI - min	100	115	132	149	167

De resulterende leercurves zijn weergegeven in Figuur 4 en Tabel 9.



Figuur 4 Leercurves C-label en hoger



Tabel 9 Waarden leercurves C-label en hoger

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

### B-label en lager

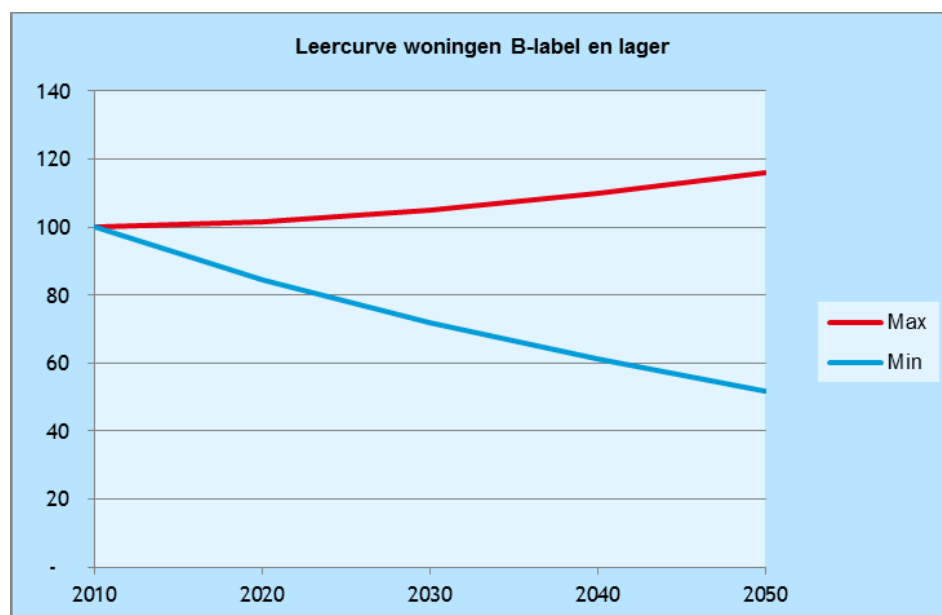
Voor de woningen met een B-label en lager wordt de leercurve bepaald door de volgende waarden van de variabelen.

Tabel 10 Invoerwaarden

Variabele	2010	2020	2030	2040	2050
AM - max	60				
AM - min	65				
AA - max	40				
AA - min	35				
MK - max	100	104	110	118	126
MK - min	100	82	66	51	37
AK - max	100	104	110	120	132
AK - min	100	104	110	120	132
PI - max	100	106	114	122	131
PI - min	100	115	132	149	167

De resulterende leercurves zijn weergegeven in de Figuur 5 en Tabel 11.

Figuur 5 Leercurves B-label en lager



Tabel 11 Waarden leercurves B-label en lager

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	85	72	61	52
Max	100	101	105	110	116

## 2.2 Gebouwgebonden installaties

Voor de woningen in Vesta zijn meerdere installaties beschikbaar. Van deze installaties worden eveneens leercurves opgesteld. Omdat deze echter techniekspecifiek zijn en het om relatief nieuwe technieken gaat, is er maar een beperkte basis voor het bepalen van de leercurve aan de hand van historische gegevens. Om hier toch invulling aan te geven, is gekozen voor een generieke aanpak die voortkomt uit de literatuur over innovatie-management. De uitkomsten zijn vervolgens geverifieerd bij marktpartijen en experts. In de komende paragrafen worden leercurves opgesteld voor HR-ketel, HRe-ketel, zonneboiler, elektrische warmtepompen (water/water en lucht/water) en zon-PV.

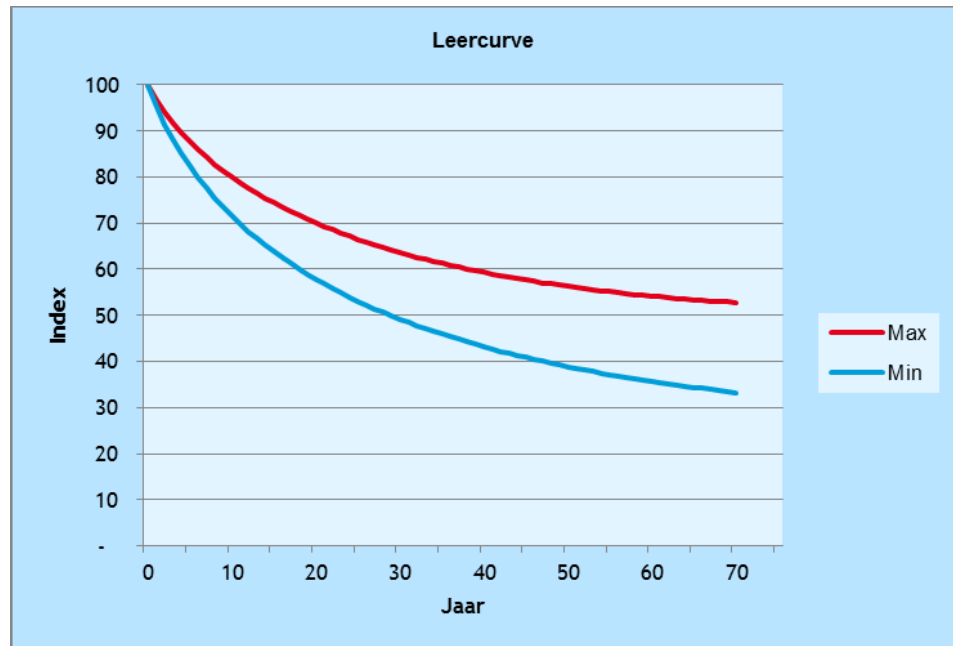
### 2.2.1 Van generieke naar specifiek

De literatuur over de ontwikkeling van kosten van (innovatieve) technieken is beperkt en veelal wordt er gerefereerd aan standaard curves. Deze curves hebben over het algemeen dezelfde vorm, maar verschillen in hun start- en eindpunt. In een recent onderzoek (Junginger, 2011) is gekeken naar leerprocessen in technologische ontwikkelingen. Hoewel deze studie niet specifiek over gebouwgebonden installaties gaat, kan hier wel een algemene trend uit worden opgemaakt voor wat betreft de leercurve. Op basis van de leercurve voor het ontwikkelen en plaatsen van windturbines (over een periode van 20 jaar), is de curve doorgetrokken voor een periode van 75 jaar. In Figuur 6 is deze curve weergegeven.



Aan de hand van terugkoppeling van experts (Overdiep, 2012; Wagener, 2012) is de vorm bevestigd en het eindpunt vastgesteld.

Figuur 6 Generieke leercurve gebouwgebonden installaties

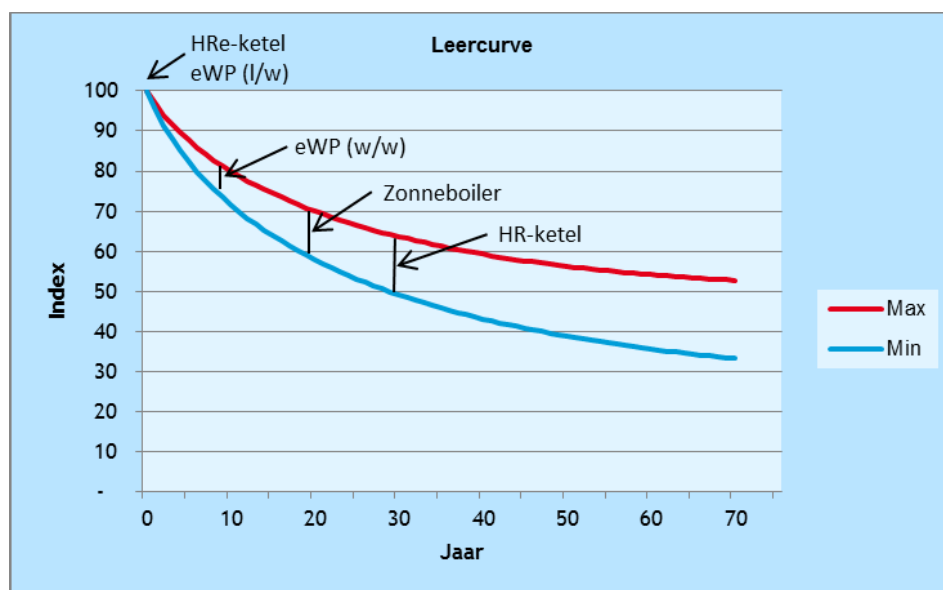


Voor de vertaling van bovenstaande, generieke leercurve naar installatie-specifieke curves, is een inschatting gemaakt van de positie van de techniek op de curve. Deze positie is het startpunt van de toekomstige kostenontwikkeling van de optie en het resultaat is een kostencurve voor de komende decennia.

### 2.2.2 Warmtetechnieken

Voor de warmtetechnieken HR-ketel, HRe-ketel, zonneboiler, elektrische warmtepompen (water/water en lucht/water) is in overleg met experts (Overdiep, 2012; Wagener, 2012) bepaald waar de startpunten van de leercurves liggen op de generieke curve en welk verloop de specifieke leercurve uiteindelijk dus heeft. In Figuur 7 wordt de uitkomst hiervan weergegeven. Voor het bepalen van de boven- en ondermarge van de curve is gekeken naar het verschil in kosten bij individuele plaatsing en projectmatige plaatsing.

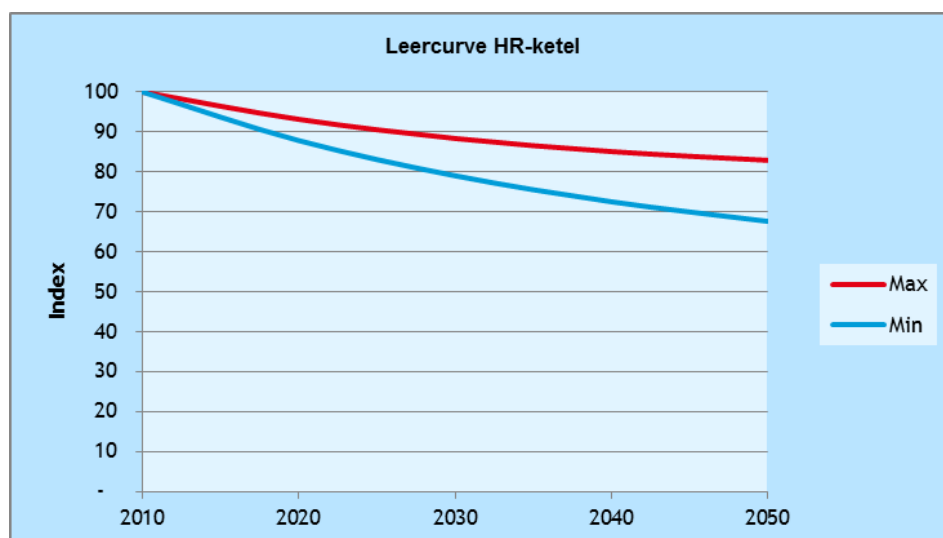
Figuur 7 Positie startpunten warmtetechnieken



### HR-ketel

Van de HR-ketel is bekend dat deze 'zo goed als' uitontwikkeld is en deze zich ver op de standaardcurve bevindt. De verwachting is dat de kosten de komende decennia nog licht afnemen. De huidige investeringskosten zijn (max) € 2.000 en (min) € 1.200 exclusief BTW.

Figuur 8 Leercurves HR-ketel



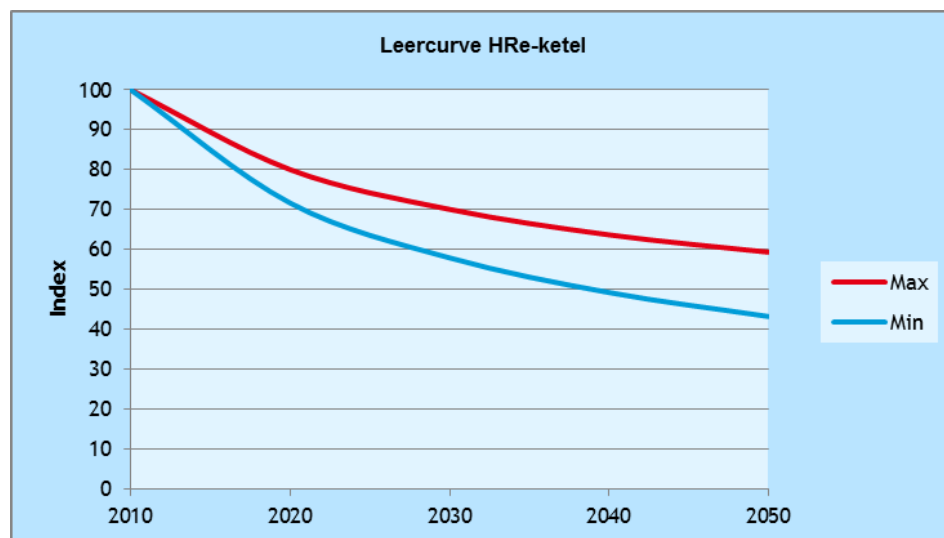
Tabel 12 Waarden leercurves HR-ketel

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	88	79	73	68
Max	100	93	88	85	83

### HRe-ketel (micro-WKK)

De ontwikkeling van de HRe-ketel staat nog aan het begin van de curve en kan nog een sterke prijsdaling doorlopen. De verwachting is dat deze op de lange termijn tot ongeveer een derde van de huidige kosten zal dalen. De huidige investeringskosten zijn (max) € 10.000 en (min) € 7.500 exclusief BTW. Bij het plaatsen van een HRe-ketel worden de kosten voor het plaatsen van een HR-ketel uitgespaard. Dit zit *niet* in de bovenstaande kosten verwerkt.

Figuur 9 Leercurves HRe-ketel



Tabel 13 Waarden leercurves HRe-ketel

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

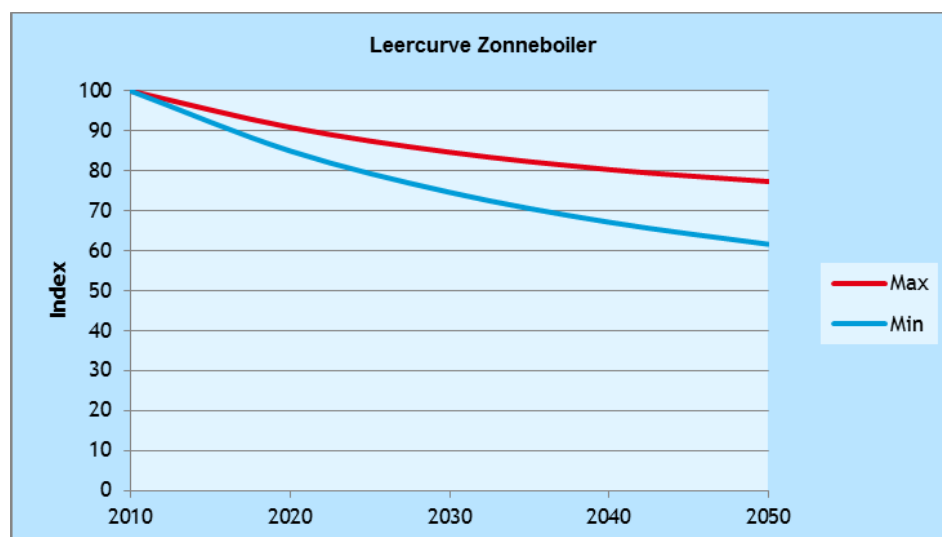
### Zonneboiler

De zonneboiler wordt al een lange tijd toegepast in Nederland en bevindt zich relatief gezien het 'verste' op de leercurve. De potentiële kostendaling van de zonneboiler is dan ook het laagste (met uitzondering van de HR-ketel).

De huidige investeringskosten per vierkante meter zonneboileroppervlak zijn (max) € 1.050 en (min) € 950 exclusief BTW<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Deze waarden zijn geldig voor gangbare zonneboilersystemen met een oppervlak in de range van 2-5 m<sup>2</sup>. Grotere systemen kennen aanvullende kosten door het toe moeten passen van andere onderdelen, zoals een groter voorraadvat.

Figuur 10 Leercurves zonneboiler



Tabel 14 Waarden leercurves zonneboiler

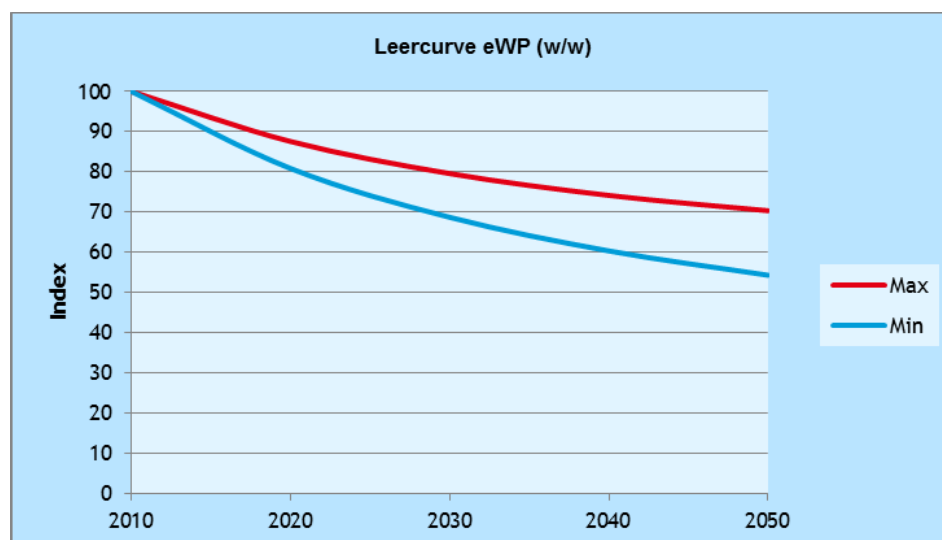
	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	85	75	67	62
Max	100	91	85	80	77

### Elektrische warmtepomp (water/water)

De water/water warmtepomp wordt vooral toegepast in de nieuwbouw. Aangezien op dit moment de nieuwbouw stagneert de toekomstverwachtingen naar beneden moeten worden bijgesteld en de techniek al meerdere jaren wordt toegepast in Nederland, bevindt deze optie zich tussen de zonneboiler en de HRe-ketel op de leercurve. De huidige investeringskosten zijn (max) € 15.500 en (min) € 10.500 exclusief BTW.

Deze kosten zijn bepaald aan de hand van de nieuwste versie van de EPA-maatregelen (Agentschap NL, 2013), waarbij gekeken is naar de kosten van het plaatsen de warmtepomp, inclusief boiler (*111 - Vervangen van lokale verwarming door warmtepomp met bodembron en warmtepompboiler, inclusief paneelradiatoren*). Hierbij zijn alle kosten die gerelateerd zijn aan het plaatsen van de warmtepomp en boiler (dus exclusief het afgiftesysteem) bij elkaar opgeteld. De resulterende kosten komen daarmee uit op € 12.000-12.500. Uit een beperkte analyse van de huidige marktprijzen is gebleken dat deze bandbreedte te smal is. Er is daarom gekozen om deze bandbreedte te vergroten met +25 en -15% om een realistischer beeld te krijgen (afgerond). Bij het plaatsen van een elektrische warmtepomp worden de kosten voor het plaatsen van een HR-ketel uitgespaard. Dit zit *niet* in de bovenstaande kosten verwerkt.

Figuur 11 Leercurves elektrische warmtepomp (w/w)



Tabel 15 Waarden leercurves elektrische warmtepomp (w/w)

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	81	69	60	54
Max	100	88	80	74	70

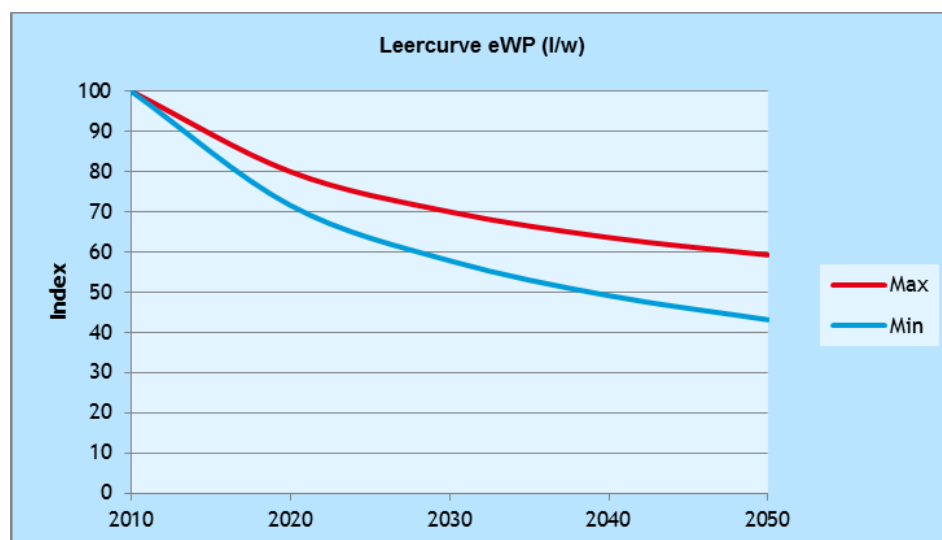
### Elektrische warmtepomp (lucht/water)

Een warmtepomp die gebruik maakt van de buitenlucht voor de verwarming van ruimte en warm tapwater heeft verschillende vormen. Zowel volledig elektrisch als een hybride variant, waarbij een hulpbrander op aardgas het piekvermogen levert. De verwachtingen in de markt zijn hooggespannen met betrekking tot het potentieel dat deze optie heeft. Zowel in aantallen als in uiteindelijke kostenreducties. Dit wordt deels versterkt door de marktpartijen die op dit moment met deze ontwikkelingen bezig zijn. Dit zijn vooral zeer grote Aziatische bedrijven die op dit moment voor hun thuismarkt produceren, maar ook tegen lage kosten de Nederlandse markt kunnen betreden. De verwachte prijsdalingen op de korte en lange termijn zijn daarom groot. De huidige investeringskosten zijn (max) € 13.000 en (min) € 8.500 exclusief BTW.

Deze kosten zijn bepaald aan de hand van de nieuwste versie van de EPA-maatregelen (Agentschap NL, 2013), waarbij gekeken is naar de kosten van het plaatsen de warmtepomp, inclusief boiler (*113 - Vervangen van CV- ketel en keukengeiser door warmtepomp met lucht als bron met warmtepompboiler en nieuwe paneelradiatoren*). Hierbij zijn alle kosten die gerelateerd zijn aan het plaatsen van de warmtepomp en boiler (dus exclusief het afgiftesysteem) bij elkaar opgeteld. De resulterende kosten komen daarmee uit op € 10.000-10.500. Uit een beperkte analyse van de huidige marktprijzen is gebleken dat deze bandbreedte te smal is. Er is daarom gekozen om deze bandbreedte te vergroten met +25 en -15% om een realistischer beeld te krijgen (afgerond).

Bij het plaatsen van een elektrische warmtepomp worden de kosten voor het plaatsen van een HR-ketel uitgespaard. Dit zit niet in de bovenstaande kosten verwerkt.

Figuur 12 Leercurves elektrische warmtepomp (l/w)



Tabel 16 Waarden leercurves elektrische warmtepomp (l/w)

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

### 2.2.3 Elektriciteitstechnieken: zon-PV

Zon-PV is, in tegenstelling tot de opties in de vorige paragraaf, gericht op de productie van elektriciteit. Daarnaast heeft de marktsituatie van zon-PV in de recente jaren een zeer sterke verandering doorlopen, zodat deze moeilijk te vergelijken is met de warmtetechnieken. In de komende alinea's worden deze toegelicht en de wijze waarop dit in Vesta is verwerkt. Naar prijsontwikkeling van zon-PV wordt wereldwijd veel studie verricht. Hoewel er verschillende soorten PV-technieken bestaan, kunnen de prijsontwikkelingen goed op 1 leest worden geschoeid (i.e. prijs per Wp en opbrengst in kWh/m<sup>2</sup>/jr). De cijfermatige onderbouwing van het onderdeel zon-PV is daarom anders van aard dan die bij de warmtetechnieken.

#### Modellering in Vesta 1.0

In Vesta 1.0 is voor de toepassing van zon-PV uitgegaan van:

- Woningbouw: 10 m<sup>2</sup> zon-PV per dak (default), met toepassing van een gemiddelde stapelfactor voor gestapelde woningbouw. Dit is een grove aanname, en zeker geen maximaal technisch potentieel.
- Utiliteitbouw: via een gemiddelde Floor-Space-Index per soort utiliteitsgebouw (kantoor, winkel, e.d.), volgt uit het gebouwoppervlak (m<sup>2</sup> bvo) een dakoppervlak. Daarvan wordt een deel belegd met zon-PV, als default is uitgegaan van 80%.

Dit levert een *oppervlak* aan zon-PV-potentieel in Vesta. Om van vierkante meters naar elektriciteitsproductie te komen is uitgegaan van de volgende defaults (peil 2010):

- Productie van 100 kWh/m<sup>2</sup> zon-PV/jr (met kanttekening dat dat in de loop der tijd stijgt tot circa 200 kWh/m<sup>2</sup> vanwege toegenomen module-efficiency, en dat de productie per specifieke installatie daarnaast afhankelijk is van oriëntatie, hellingshoek en beschaduwning).

- Kostprijs van € 350 per m<sup>2</sup> zon-PV turn key (incl. montage, installatie en omvormer), waarvan € 200 voor de aanschaf van de panelen. Oftewel: 57% voor de panelen, en 43% voor installatie, omvormer en montage.

Omgerekend naar prijs per Wp, via 135 Wp/m<sup>2</sup> (zie hieronder), betekent dit een systeemprijs van 2,59 euro/Wp. Dit is turn key, excl. BTW.

### Range op huidige kostprijs (prijspeil 2010)

Door de functionele wijziging in Vesta 2.0 om met prijsranges te werken is het nodig om ook een range aan te brengen in de prijs voor een PV-systeem in 2010. De basisinformatie hiervoor staat in (Zonnestroom, 2012).

De range is als volgt bepaald o.b.v. de informatie uit (Zonnestroom, 2012):

1. In april 2012 had de marktprijs van complete zon-PV-systemen in de ordegrootte van 1-5 kWp een prijsrange van 1,33-4,44 euro/Wp, inclusief 19% BTW, turn key. Exclusief BTW is dat 1,12-3,73 euro/Wp. Echter, uit de gegevens blijkt dat de bovengrens een uitschieter betreft. Uit de gegevens blijkt dat een realistischer waarde voor de bovengrens is: 3,00 euro/Wp incl. BTW, oftewel 2,52 euro/Wp excl. BTW, turn key. De range die we hier aanhouden is: 1,12-2,52 euro/Wp (excl. BTW, turn key, prijzen april 2012).
2. De prijzen van zon-PV-systemen zijn sterk gedaald. Om terug te rekenen naar de prijzen in 2010 gaan we uit van de *gemiddelde* prijs voor een voorbeeldsysteem van 2,5 kWp: 1,48 euro/Wp (excl. BTW, turn key, april 2012). In Zonnestroom (2012) staat al becijferd dat de prijs van een 2,5 kWp-systeem tussen oktober 2011 en april 2012 is gedaald met 26,6%, oftewel terug in de tijd een stijging van 36%. Het prijsverschil met de default die als gemiddelde in Vesta staat van 2,59 euro/Wp (2010) en 1,48 euro/Wp (april 2012) betekent een daling van 43%. Terug in de tijd betekent dat een stijging van 75%.
3. Rekenen we aldus de prijsrange van april 2012 terug naar prijzen in 2010, dan volgt een range van 1,96-4,41 euro/Wp (prijzen 2010, excl. BTW, turn key). We nemen aan dat de verhouding tussen aanschafkosten van de panelen en andere systeemkosten van 57 vs. 43% geldig blijft.
4. Omgerekend naar prijzen per vierkante meter, via 135 Wp/m<sup>2</sup>, volgt een prijsrange van 265-595 euro/m<sup>2</sup> (excl. BTW, turn key, prijzen 2010).

De huidige defaultwaarde in Vesta van 350 euro/m<sup>2</sup> ligt in die range.

### Kostenontwikkeling

Zon-PV heeft de afgelopen jaren een forse prijsverlaging doorgemaakt, in 2011 is een prijsdaling opgetreden tot wel 40% (ECN/PBL, 2012). Momenteel hebben dakgebonden zon-PV-systemen van een omvang tot 100 kWp in Nederland een turn key kostprijs van € 1.300 per kWp, met de verwachting dat dit per eind 2014 tot € 1.200 per kWp zal zijn gedaald (ECN/PBL, 2012). Er is momenteel sprake van overcapaciteit, door de sterke prijsdaling staan de marges van de producenten onder druk, ook van de grotere producenten.

Er wordt voor de SDE+ gerekend met 1.000 vollasturen per jaar (bij optimale oriëntatie en hellingshoek).

De lange termijn ontwikkeling van de kostprijs is afhankelijk van de ontwikkelingen op de wereldmarkt. In ECN/PBL (2012) wordt op basis van historische kostprijsontwikkelingen een leercurve genoemd van 19% kostprijsdaling bij verdubbeling van de wereldwijde productie.



In verschillende publicaties worden lange termijn verwachtingen gedaan. Voor Vesta 2.0 hebben we een optimistische en een pessimistische verwachting geselecteerd, met dank aan Stefan Luxembourg en Wim Sinke van ECN. De prijsontwikkeling wordt gepubliceerd als turn key prijs per kWp geïnstalleerd vermogen. Daarin zitten twee effecten: een kostprijsreductie per  $\text{m}^2$  cel c.q. paneel, en een verbetering van het vermogen per  $\text{m}^2$  door betere omzettingsefficiency. Omdat in Vesta 1.0 het opgestelde oppervlak de basis-eenheid voor zon-PV is wordt hieronder eerst kort ingegaan op de ontwikkeling van de vermogensdichtheid, in  $\text{Wh}/\text{m}^2$ , en de opbrengst in  $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{jr}$ .

De vermogensdichtheid in 2010 was gemiddeld  $135 \text{ Wp}/\text{m}^2$ , bij een aantal vollasturen per jaar voor een PV-systeem van  $900 \text{ hr}/\text{jr}$  volgt een productie van  $\text{kWh}/\text{kWp}/\text{jr}$ , oftewel een productie van  $120 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jr}$  (Fraunhofer, 2012). Dit geldt bij optimale oriëntatie en hellingshoek en bij geen beschaduwing. De default in Vesta 1.0 van  $100 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jr}$  is dus aan de voorzichtige kant, maar wel realistisch aangezien in de praktijk niet alle dakgebonden PV-installaties onder optimale condities opgesteld staan.

Fraunhofer (Fraunhofer, 2012) schat een gemiddelde vermogensdichtheid in van  $175 \text{ Wp}/\text{m}^2$  in 2020. IEA (IEA, 2010; p22) schat in dat dit in 2030 op  $225 \text{ Wp}/\text{m}^2$  kan liggen, gebaseerd op silicium technologie, en met de kanttekening dat dit getal bij gunstige ontwikkeling hoger kan liggen. Bij een aantal vollasturen per systeem van  $900 \text{ hr}/\text{jr}$  volgt hieruit een productie van  $157,5$  respectievelijk  $202,5 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jr}$ . Deze cijfers kunnen door gebruikers van Vesta worden gebruikt in plaats van de huidige default in het model van  $100 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jr}$ .

De leercurve van de systeemkosten wordt voor Vesta 2.0 uitgedrukt in percentages van de aanschafprijs (turn key) in 2010, uitgedrukt in reële prijzen dus in euro\_2010.

Het Sun Shot initiative (SunShot, 2012) geeft de meest ambitieuze ontwikkeling met turn key systeemprijzen van  $1,15 \text{ €/Wp}$  in 2020, de IEA-projectie (IEA, 2011) fungeert als conservatieve inschatting:  $1,50 \text{ €/Wp}$  in 2020. NB: dit niveau ligt al boven de huidige werkelijke waarde in de markt (ECN/PBL, 2012), wellicht is dit te verklaren uit de scherpe concurrentie in de markt waardoor er geen gezonde marges gemaakt kunnen worden.

In een publicatie in Green noemt Sinke (Sinke, 2012) een lange termijn potentieel voor kostenverlaging tot  $0,6 \text{ €/Wp}$ . Als we dit als optimistische ondergrens aanhouden voor 2050, zou bij een vergelijkbare spreiding als voor de genoemde investeringskosten voor 2020, de bovengrens voor de lange termijn op  $0,78 \text{ €/Wp}$  liggen. Voor het verloop van de ontwikkeling tussen 2020 en 2050 gaan de meeste studies uit van een afvlakkende curve waarin het grootste deel van de prijsreductie in de komende 20 jaar wordt gerealiseerd.

NB: merk op dat de laagste waarde van de prijsrange in 2010 ( $1,96 \text{ euro}/\text{Wp}$ ) in combinatie met de snelst dalende leercurve (in 2050 tot 21% van prijs 2010) leidt tot een prijs van  $0,41 \text{ euro}/\text{Wp}$ , en ook de andere leercurve leidt tot een prijs van  $0,53 \text{ euro}/\text{Wp}$  in 2050. Deze waarden liggen onder de genoemde lange termijn schatting van Sinke van  $0,6 \text{ euro}/\text{Wp}$ . Waarschijnlijk weer-spiegelt de gegeven ondergrens van de systeemprijzen in 2010 een weliswaar feitelijke prijs in de markt, maar een te lage prijs om als basis voor een lange termijn prognose in een gezonde markt te fungeren. We raden dan ook aan om de ondergrens van de prijsrange in 2010 voorzichtig te gebruiken in het model, en als basis voor langere termijn verkenningen uit te gaan van een midden-waarde uit de prijsrange 2010.





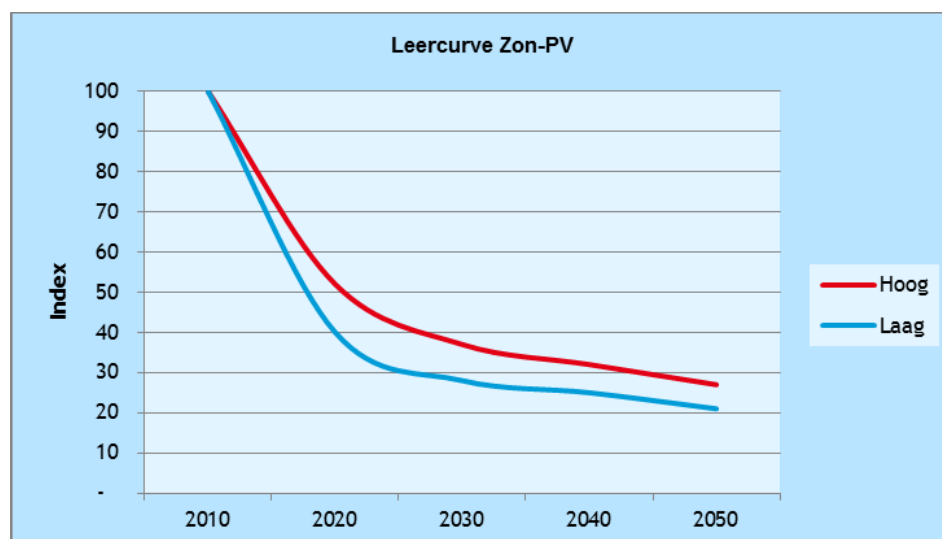
#### 2.2.4 Leercurvecijfers zon-PV (turn key systeemkosten)

Om de leercurve voor alle zichtjaren in Vesta 2.0 te kunnen maken zijn uit de bovengenoemde cijfers de volgende regels afgeleid:

- 2010 is 100%, voor pessimistisch en optimistisch;
- 2040 via lineaire interpolatie tussen 2030 en 2050;
- pessimistisch 2020, 2030 en 2050: uit IEA-prognose (IEA 2011), en uitgedrukt in percentage van de systeemkosten in 2010;
- optimistisch 2020, 2030 en 2050: 77% van pessimistische prognose.

Met deze regels volgen Figuur 13 en Tabel 17.

Figuur 13 Leercurves zon-PV



Tabel 17 Waarden leercurves zon-PV

	2010	2020	2030	2040	2050
Laag	100	40	28	25	21
Hoog	100	52	37	32	27



# 3 Energieneutrale woningen

## 3.1 Inleiding

In 'Vesta 2.0' is de functionaliteit ingebouwd om de bestaande woningbouw energetisch verder te verbeteren dan het eindpunt in 'Vesta 1.0' dat voor bijna alle woningen bij label B ligt. Dit laatste is ontleend aan de voorbeeldwoningen van Agentschap NL, en dan specifiek aan de efficiencyverbeteringen aan gebouwschil en installatie (CV-ketel). Bij de voorbeeldwoningen is ook sprake van toepassing van een zonneboiler, die leidt tot een verdergaande labelverbetering, de zonneboiler is in Vesta echter separaat gemodelleerd als gebouwgebonden optie.

In dit hoofdstuk wordt nagegaan wat de range in kosten en kostenontwikkeling is om naar 'energie neutraal' te gaan voor de bestaande woningbouw, maar wel toegespitst op de toegepaste modellering in Vesta.

## 3.2 Aanpak

Energetische verbetering van de bestaande woningbouw tot het niveau van energieneutraliteit wordt wel al toegepast in de praktijk, maar is nog geen gangbare maatregel waarvoor breed geaccepteerde datasets beschikbaar zijn, zoals het geval is met de voorbeeldwoningen van Agentschap NL. Om toch getalsmatige input voor 'Vesta 2.0' te kunnen geven is besloten om een tweetal experts te raadplegen en hen te vragen naar de kwalitatieve mogelijkheden en naar de bijbehorende investeringscijfers. De cijfers hebben daarmee een andere status dan de cijfers over gangbaarder maatregelen zoals bij de voorbeeldwoningen, en zullen naar verwachting de komende jaren nog onderhevig zijn aan voortschrijdende inzichten naarmate de praktijkervaringen met 'diepe renovaties' zullen toenemen.

De twee geraadpleegde experts zijn:

- de heer Ivo Opstelten, van Platform31;
- de heer Pieter Hameetman, van GEN.

De interviews zijn eind 2012 gehouden, de gespreksverslagen en cijfermatige input zijn begin 2013 geaccordeerd.

In de beide gesprekken is verkend wat de mogelijkheden zijn voor 'diepe renovatie' tot energieneutrale woningen. Daarbij spelen ook technieken als elektrische warmtepompen, zonnecellen en zonneboilers een rol. In Vesta zijn die echter afzonderlijk gemodelleerd. De investeringscijfers zijn daarom toegespitst op de input die voor Vesta nodig is, te weten isolatie van de gebouwschil, ventilatie en warmteterugwinning. De stap naar energieneutraliteit wordt in het Vesta-model gemaakt door ook de andere investeringen 'aan te zetten'.



### 3.3 Gespreksverslagen

De vragen over energieneutrale bestaande woningbouw die in de beide gesprekken zijn behandeld, zijn:

1. Wat is er mogelijk t.a.v. energieneutraliteit in de bestaande woningbouw?
2. Wat is de resterende gebouwgebonden energievraag van 'het gebouw' aan de installaties en de netten? (NB: Vesta werkt met aparte 'knoppen' voor gebouwefficiëntie en installatie-efficiëntie)
3. Wat zijn de huidige benodigde investeringen (kostprijs; range)?
4. Wat is de verwachte kostprijs in 2020, 2030, 2040, 2050, in optimistische en pessimistische schatting (range)?
5. Wat zijn eventuele negatieve punten waar rekening mee moet worden gehouden?

#### *Reacties de heer Opstelten:*

- Het pleidooi is om te denken in integrale concepten, dus integraler dan wat nu in 'Vesta 1.0' is gemodelleerd. Idealiter zouden de stuk of twintig integrale concepten die er nu in de markt ontwikkeld zijn allemaal in Vesta gemodelleerd zouden worden, dat zou recht doen aan de marktontwikkeling.
- De uitdaging bij energieneutraliteit in de bestaande bouw is om marktvolume te realiseren. De route naar een passiefhuis gedijt goed in een cultuur van zelfbouw, zoals in Oostenrijk en België. In Nederland komt dat echter heel traag van de grond. Voor Nederland is een route op basis van energieneutraalconcepten meer voor de hand liggend. Dat is waar de Energiesprong op inzet. Door de deelname van de grote bouwbedrijven aan het programma wordt ook gelijk gewerkt aan realisatie van volume.
- De modelaanpak in Vesta waarin de gebruiker van het model verschillende afzonderlijke technieken kan 'aanzetten' levert een risico op dat dingen worden samengevoegd die technisch niet goed samengaan; de modelgebruiker moet daarom heel goed weten wat er technisch goed samengaat en wat niet.
- De kosten van elk concept zijn wel bekend bij SEV, maar zijn op dit moment niet openbaar. De eerste projecten kwamen (in 2008) op ca. 100.000 euro per woning uit, in 2009-2010 kon het 10-15% goedkoper (dus 85.000-90.000 euro/woning) en eind 2010 is renovatie naar energieneutraliteit reeds voor ca. 80.000 euro/woning gerealiseerd. De verwachting is dat procesoptimalisaties gaan leiden tot nog eens een kostendaling met 20-30%. Dus: tot 55.000-60.000 euro/woning investeringskosten, en dat binnen ca. 10-15 jaar vanaf nu.
- Alle bestaande woningen kunnen naar een warmtevraagniveau van 0,1 (i.e. de passiefhuishuisnorm voor renovatie) tot 0,14 GJ/jr per m<sup>2</sup> gebruiksoppervlak. NB: dit is GJ, niet GJ<sub>primair</sub>. Dit kan door een combinatie van vraagzijde-efficiëntiemaatregelen: goede isolatie van de schil plus vraaggestuurde natuurlijke ventilatie of balansventilatie met warmterugwinning (keuze deels afhankelijk van de binnenzijdige bouwconstructie, zoals houten of betonnen verdiepingsvloeren). Dit kan echter niet met alleen spouwmuurisolatie want daarvoor is de spouw te smal, er moet binnen- of buitenisolatie bij. De 0,14 GJ/m<sup>2</sup>/jr vergt een Rc van 4,5 tot 5, overeenkomend met 13-15 centimeter isolatiedikte (bij huidige materialen).
- Onderverdeling van de kosten binnen een concept, zoals nodig als input voor het Vesta-model, zullen de marktpartijen naar verwachting niet willen geven. De precieze kostenopbouw binnen een concept is bedrijfsgeheim, men verkoopt het concept als geheel.



- Bij de analyses moet rekening gehouden worden met de factor tijd van de investeringen en dus met natuurlijke momenten. Een installatie wordt gemiddeld eens in de 15 jaar vervangen; groot onderhoud (waaronder vervanging van kozijnen en aanbrengen van spouwisolatie) wordt eens in de 20 jaar gedaan; en een grootschalige schilrenovatie eens in de 40 jaar. Voor woningen die nu energielabel G, F of E hebben is het economisch aantrekkelijk om direct naar energieneutraal te gaan, voor woningen die nu label D, C of B hebben is dat nu niet het geval.
- Spouwisolatie is een quick win bij de huidige kosten voor verwarming, maar voor de levensduur van de maatregel c.q. de woning is het eigenlijk een lange termijn verliezer (i.e. een desinvestering, met bij latere toevoeging van binnen- of buitenzijdige isolatie een potentieel condensatierisico in de constructie<sup>5</sup>). Als er sprake is van binnen- of buitenisolatie, is het advies om het dan gelijk goed te doen, en niet slechts een relatief dunne laag, maar 20-30 centimeter. Voor een passiehuys is 20-30 centimeter isolatiedikte nodig, afhankelijk van het gebruikte materiaal. Nadelen zijn: binnenisolatie kost leefruimte (hoewel de uiteindelijk ruimteverliezen mee kunnen vallen als de CV-radiator als warmtedistributiesysteem ook wordt vervangen voor b.v. vloer- of luchtverwarming) en is ingrijpend voor een zittende bewoner. Buitenzijde-isolatie beïnvloedt het aanzicht van de woning (welstand).

#### *Reacties de heer Hameetman:*

- GEN gaat nog een stap verder dan het denken in concepten zoals Opstellen dat beschreven heeft. Binnen GEN is de consequentie getrokken uit het feit dat er altijd ‘laagstokers’ zijn. Dat zijn mensen met een stookgedrag dat een dermate laag energiegebruik oplevert dat vrijwel geen enkele energiebesparende maatregel zichzelf terugverdient. GEN wil die mensen niet met hogere woonlasten opzadelen. De consequentie die GEN daar aan verbindt is: er is maatwerk nodig, en de maat is het huidige individuele huishouden. Het energiepakket dat moet worden aangeboden moet zorgen voor lagere woonlasten voor dat specifieke huishouden. Dus niet meer als marktpartij 1 concept naar energieneutraal aanbieden, maar maatwerk leveren. NB: zelfs bij huidige bestaande woningen die qua bouw precies hetzelfde zijn blijkt in de praktijk een verschil in jaarlijks energiegebruik (en dus variabele energiekosten) met een factor 9.
- De focus van GEN ligt op de 3 miljoen woningen in Nederland uit de periode 1946-1976, dus van voor de tijd dat er energie-eisen aan de nieuwbouw werden gesteld.
- De toekomst van de bestaande bouw ziet er volgens GEN uiteindelijk als volgt uit: all electric, en voorzien van zonneboiler, zon-PV en eWP.
- Daarbij gaat GEN uit van een 5-traps-aanpak, als volgt:
  1. Isoleren schil.
  2. Goede ventilatie (NB: geen balansventilatie in bestaande bouw, want te ingewikkeld voor gebruiker; maar een CO<sub>2</sub>-gestuurd afzuigsysteem zodat wel rekening wordt gehouden met het momentane aantal mensen in huis).
  3. Zonneboiler als het past, én: op maat voor het specifieke huishouden (‘geen kleine zonneboiler voor groot gezin met opgroeiende kinderen, geen grote zonneboiler voor een alleenstaand bejaard persoon’).

<sup>5</sup> NB: dit is te ondervangen door goede ventilatie. Zie bijvoorbeeld: Building and Environment 40 (2005) 353-366 (Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials).



4. Toepassen van zon-PV, afhankelijk van kostenontwikkeling en regelgeving rond saldering; de insteek is immers: kosteneffectieve maatregelen.
  5. Later (vanaf ca. 2030): van gebouw tot gebouw afstappen van gaslevering en overstappen van gasgestookte CV-ketel naar all electric woning met een eWP plus een collectief 'bronnet' als voedingsnet voor de elektrische warmtepompen (12°C aanvoer, 9°C retour).  
De eWP heeft tegen die tijd een COP=4 voor tapwater en COP>7 voor ruimteverwarming, en is tevens de back-up voorziening van de grote zonneboiler.
- In 2030 kan de penetratiegraad van dit concept (stap 1 t/m 4) 75% van de bestaande bouw zijn, de andere 25% krijg je niet in beweging, die willen niet, om allerlei redenen. En door het bovengenoemde maatwerk heeft ook niet elke woning hetzelfde energielabel, maar wél alle 75% een laag energieverbruik.
  - Om die genoemde hoge penetratiegraden te bereiken zijn wel andere marktstructuren nodig, het is bijvoorbeeld mogelijk dat pensioenfondsen op grote schaal bestaande woningen gaan opkopen en zorgen voor de (dan grootschalig projectmatig uitgevoerde) investeringen in energie-efficiency, om ze daarna met een lage energierekening te verhuren/leasen of weer te verkopen.
  - Wat de schilisolatie betreft (stap 1): zeker niet naar passiefhuisniveau voor de bestaande bouw, vanwege de gewenste economische optimalisatie en wegens het beslag op binnenruimte. Het optimale isolatiepakket voor de bestaande bouw is een pakket met Rc=3,5 voor de gevel en vloer- en dakisolatie, en HR++ of HR+++ voor de ramen; dat kan nu al. De nieuwbouw kan naar Rc=5-5,5 (i.e. 15-20 cm isolatie). Die Rc=3,5 bij de bestaande bouw kan aan de binnenzijde van de muur, zodat het buitenaanzicht van het gebouw intact blijft, terwijl het ook niet teveel aan binnenruimte kost.
  - Wat warmtedistributie betreft: volgens Hameetman is dit een veel te duur concept ten opzichte van energieneutraal renoveren, vanwege de benodigde investeringen in het warmtenet. Niet doen, is zijn advies.
  - Wat investeringskosten betreft: uitvoeren van stap 1 t/m 4 (in het geval van label F naar energieneutraal) kost nu 60-80 k€ per woning, waarbij 60 nog een uitzondering is en 80 vaker voorkomt. Hameetman voorziet een prijsdaling van 20-30% over de komende tien jaar.

### 3.4 Cijferinput Vesta 2.0

De gehouden interviews gaven weliswaar bruikbaar inzicht in de mogelijkheden om naar energieneutrale bestaande gebouwen te komen, maar niet voldoende cijfermatige informatie als invoer voor het Vesta-model.

De inzichten uit de beide interviews zijn daarom vertaald naar variabele maatregelen op woningtypeniveau. Hierbij is onderscheid gemaakt naar maatregelen voor de schil van de woning en de installaties in de woning.

De kern van de maatregelen betreft het verder verbeteren van een woning die inmiddels op label B is gebracht en welke een zogenaamde 'warme jas' aan krijgt, oftewel toepassing van na-isolatie.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de verbeteringen aan de schilefficiëntie. Er wordt gekeken naar de maatregelen, de kosten en energetische verbeteringen die deze opleveren. In Paragraaf 3.8 wordt nader ingegaan op de aanvullende maatregelen en bijbehorende kosten die nodig zijn om de aldus verbeterde woning tot energieneutraal te brengen.



### 3.5 Aanpak

Voor de bepaling van investeringen en schil-efficiency maken we gebruik van de gegevens uit de publicatie *Investeringskosten energiebesparende maatregelen Bestaande woningbouw 2012* (Agentschap NL, 2012). Als methodiek voor de bepaling van de investeringen hanteren we het volgende stappenplan:

- De Voorbeeldwoningen 2011 worden met het voorgestelde besparingspakket tot label B gebracht (over het algemeen). Hierbij wordt een isolatiewaarde behaald met een Rc-waarde van ongeveer 2,5 voor vloer-, dak- en gevelisolatie.
- Uit de gesprekken over energieneutrale woningen met de heer Hameetman blijkt dat de stap naar energieneutrale woningen wordt behaald door een *optimale isolatie* van de bestaande woning. Dit betekent niet dat de woning de technisch beste isolatie krijgt om het energieverbruik tot een absoluut minimum te brengen, maar dat het een afweging is tussen de praktische en economische haalbaarheid. We gaan er hier van uit dat de *optimale isolatie* bij de Voorbeeldwoningen wordt behaald door het plaatsen van isolatie aan de binnenzijde van de woning (NB: de Voorbeeldwoningen zijn al voorzien van andere isolatie en HR++ glas), conform het stappenplan dat is beschreven in het gespreksverslag van de heer Hameetman. Concreet betekent dat, dat de Voorbeeldwoningen worden na-geïsoleerd met de volgende maatregelen uit de bovengenoemde studie van Agentschap NL (maar zie ook de navolgende opmerkingen):
  - maatregel nr. 005; Dakisolatie: 100 mm binnenzijde schuin dak - afwerking met gipsplaten (*hoofdzakelijk voor de eengezinswoningen*);
  - maatregel nr. 006a; Dakisolatie: PS 100 mm op bestaande dakbedekking - ballastlaag hergebruiken (*hoofdzakelijk voor de meergezinswoningen*);
  - maatregel nr. 010; Gevelisolatie: 100 mm binnenzijde - regelwerk en gipsbeplating - behangklaar.

Om de woningen naar een B-label te krijgen, is overal al vloer/bodem-isolatie toegepast. Omdat additionele isolatie van de vloer of kruipruimte maar zeer beperkt effect voor de optimale isolatie heeft, ten opzichte van de aanwezige isolatie (en ook niet overal mogelijk zal zijn), wordt deze niet additioneel toegepast t.b.v. de Vesta-input.

- Met de genoemde additionele isolatiemaatregelen wordt een totale Rc-waarde gehaald die hoger is dan de door Hameetman genoemde  $R_c=3,5$ . Een grove indicatie van de nieuwe isolatiewaarde is  $R_c=5,0$ . In overleg met de opdrachtgever is afgesproken om af te wijken van de informatie uit de interviews, en te rekenen met de bovengenoemde EPA-maatregelen<sup>6</sup>.
- Van de genoemde maatregelen is bekend wat de investeringskosten per  $m^2$  zijn en bij de Voorbeeldwoningen (en daarmee Geomarkt-woningen) is bekend hoeveel  $m^2$  van de specifieke maatregel nodig is. Deze kosten zijn bekend voor vier varianten: natuurlijk/niet-natuurlijk moment en individuele/projectmatige aanpak. Daarnaast wordt een onderscheid gemaakt tussen een- en meergezinswoningen.
- De kosten voor de na-isolatie per Voorbeeldwoning zijn te bepalen aan de hand van kosten per  $m^2$ .

---

<sup>6</sup> Het effect van deze 'uitgebreidere' maatregel, kan in de praktijk betekenen dat er meer moet worden aangepast dan alleen het plaatsen van de na-isolatie. Doordat de gekozen maatregelen een dikte hebben die misschien niet in iedere situatie toe te passen is, omdat er bij voorbeeld vensterbanken, kozijnen, et cetera voor aangepast moeten worden. De berekende kosten houden *geen* rekening met deze aanpassingen en moeten dan ook als ondergrens worden gezien.



- Een integraal onderdeel van de stap naar energieneutraal is het aanpassen van het ventilatiesysteem van een woning. Voor energieneutrale woningen kan gebruik worden gemaakt van verschillende typen ventilatiesystemen. Omdat de keuze voor een bepaald type sterk persoonlijk getint is, is er op voorhand geen duidelijke keuze te maken voor een energieneutrale woning. Daarom worden de gemiddelde kosten genomen van mechanische ventilatie (maatregel 088) en balansventilatie met warmteterugwinning (maatregel 090)<sup>7</sup>.
- De kosten van het ventilatiesysteem zijn niet afhankelijk van de omvang van de woning, enkel van het type: een- of meergezinswoning. Per woning worden de kosten van het ventilatiesysteem opgeteld bij de kosten van de na-isolatie.

#### Een- en meergezinswoningen

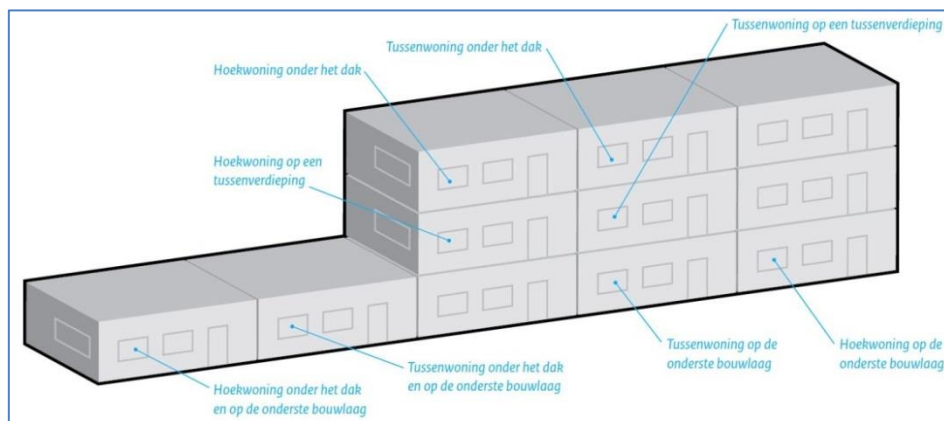
De kosten van de EPA-maatregelen zijn voor een- en meergezinswoningen. Iedere Voorbeeldwoning is ofwel een eengezinswoning ofwel een meergezinswoning, als volgt:

- eengezinswoning: vrijstaand, 2-onder-1-kap, rijwoning;
- meergezinswoning: maisonnette, galerij, portiek, overig.

Deze woningen hebben verschillende varianten waarbij het verschil relevant is voor de maatregelen. Bij een galerijflat heeft bijvoorbeeld niet iedere woning een dak en niet iedere woning heeft een zijgevel. Voor de meergezinswoningen bestaan voor ieder type acht van deze varianten (zie Figuur 14). Om recht te doen aan deze variatie, worden de kosten van de maatregelen bepaald door de hoeveelheid vierkante meters te bepalen naar rato van deze varianten. Zo heeft een blok van 2x2 woningen maar 50% dakoppervlak (dus 25% per woning) en 50% zijgevel (dus 25% per woning).

Van de huidige Voorbeeldwoningen is niet bekend hoeveel woningen van welke variant aanwezig zijn in Nederland, maar van de Voorbeeldwoningen 2007 wel. Op basis van deze hoeveelheden wordt bepaald wat het gewogen gemiddelde is van de oppervlakten die gebruikt worden voor het berekenen van de maatregelkosten.

Figuur 14 Woningvarianten



Bron: Agentschap NL, 2011.

<sup>7</sup> Er is geen correctie toegepast voor de effecten van het ventilatiesysteem op de functionele warmtevraag. Naar verwachting heeft balansventilatie een verlagend effect op de vraag en mechanische ventilatie een verhogend effect.



- Om de gevraagde range in investeringscijfers te bepalen, gebruiken we als laagste waarde de projectmatige aanpak op een natuurlijk moment en als hoogste waarde de individuele aanpak op een niet-natuurlijk moment. Omdat het meerinvesteringen zijn ten opzichte van de investeringen voor de Voorbeeldwoningen van Agentschap NL om van huidig naar label B te komen, liggen de investeringen altijd hoger dan die voor label B waardoor op dat punt geen inconsistenties op kunnen treden in de cijferset. Daarnaast worden zijn ook de tussenliggende waarden bepaald van projectmatige aanpak op een niet-natuurlijk moment en individuele aanpak op een natuurlijk moment.

Het berekenen van de resulterende energie-index of energielabel met een EPA-rekenpakket maakt geen deel uit van de opdracht.

Voor de bepaling van de schilefficiency voor de input van Vesta wordt aangenomen dat de efficiency van de woning evenredig is met de verbetering van de Rc-waarde van de isolatie. Een woning die van  $R_c=2,5$  naar  $5,0$  gaat, verbruikt dan  $2,5/5,0=50\%$  van het verbruik bij  $R_c=2,5$  (= het verbruik bij B-label), waarbij nog een globale correctiefactor wordt bepaald en meegenomen (gelijk voor alle woningcategorieën) omdat glas en vloer niet worden verbeterd. Uiteindelijk wordt aangenomen dat ten opzichte van de woning met een B-label, de schilefficiëntie van de energieneutrale woning op 60% uitkomt. In vergelijking met een G-label-woning betekent dat een totale reductie van ongeveer 75%.

### 3.6 Uitkomsten

Voor het berekenen van de uitkomsten van de bovenstaande aanpak wordt eerst bepaald hoeveel oppervlak van welk type maatregel getroffen moet worden. Hiertoe wordt gekeken welke varianten er zijn en welke schil-onderdelen (dak, gevel) zij hebben. Vervolgens wordt dit per woningtype verrekend met de oppervlaktes van één woning en aansluitend worden de kosten bepaald.

#### 3.6.1 Aantal woningvarianten en bouwdelen

In de voorgaande versie van de Voorbeeldwoningen (Agentschap NL, 2007) is van alle woningtypen ook aangegeven welke varianten daarvan zijn. In Tabel 18 wordt daarvan een overzicht gegeven. In Tabel 19 staat aangegeven welke bouwonderdelen een enkele variant heeft. Tabel 20 geeft het resultaat van het *gemiddeld aantal bouwdelen* per woning.

Tabel 18 Overzicht aantal woningtype varianten (Voorbeeldwoningen 2007)

Woningtype	Eindwoning	Tussenwoning	Tussen midden woning	Tussen vloer woning	Tussen dak woning	Tussen dak vloer woning	Hoek midden woning	Hoek vloer woning	Hoek dak woning	Hoek dak vloer woning
Rijwoning, <1946	188.537	312.511								
Rijwoning, 1946-1964	269.099	399.629								
Rijwoning, 1965-1974	277.433	376.203								
Rijwoning, 1975-1979	60.809	104.162								
Rijwoning, 1980-1988	179.705	289.084								
Rijwoning, 1989-2000	122.117	206.094								
<b>Rijwoning totaal</b>	<b>39%</b>	<b>61%</b>								
Galerijwoning, <1965			47.614	17.243	18.380	0	15.579	4.907	7.413	832
Galerijwoning, 1965-1988			93.754	17.091	28.712	574	26.332	17.150	22.301	1.691
Galerijwoning, 1989-2000			31.021	14.489	37.295	553	12.216	4.208	7.763	0
<b>Galerijwoning totaal</b>			<b>40%</b>	<b>11%</b>	<b>20%</b>	<b>0%</b>	<b>13%</b>	<b>6%</b>	<b>9%</b>	<b>1%</b>
Maisonettewoning, <1965			6.921	28.944	117.831	6.684	2.628	4.769	32.824	2.762
Maisonettewoning, 1965-1988			4.189	6.604	40.729	29	1.262	2.091	32.828	6.724
Maisonettewoning, 1989-2000			1.601	5.394	7.907	1.613	0	1.279	1.387	0
<b>Maisonettewoning totaal</b>			<b>4%</b>	<b>13%</b>	<b>53%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>	<b>21%</b>	<b>3%</b>
Portiekwoning, <1965			181.663	82.305	88.629	2.207	48.288	31.766	21.738	1.498
Portiekwoning, 1966-1988			58.709	34.151	37.179	2.639	22.973	8.474	15.081	0
Portiekwoning, 1988-2000			17.532	19.322	14.785	960	22.877	13.303	4.538	0
<b>Portiekwoning totaal</b>			<b>35%</b>	<b>19%</b>	<b>19%</b>	<b>1%</b>	<b>13%</b>	<b>7%</b>	<b>6%</b>	<b>0%</b>
(Overige) flatwoning, <1965			52.873	89.397	21.340	8.519	14.168	19.343	12.832	4.827
(Overige) flatwoning, 1965-1988			56.653	53.856	17.723	1.005	33.567	21.312	15.545	2.576
(Overige) flatwoning, 1989-2000			16.457	10.026	19.171	0	7.666	10.783	7.665	330
<b>(Overige) flatwoning totaal</b>			<b>25%</b>	<b>31%</b>	<b>12%</b>	<b>2%</b>	<b>11%</b>	<b>10%</b>	<b>7%</b>	<b>2%</b>

Tabel 19 Bouwdelen per variant

Bouwdeel per variant	Eindwoning	Tussenwoning	Tussen midden woning	Tussen vloer woning	Tussen dak woning	Tussen dak vloer woning	Hoek midden woning	Hoek vloer woning	Hoek dak woning	Hoek dak vloer woning
Zijgevel	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Dak	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0

Tabel 20 Gemiddelde (gewogen) bouwdelen per woningtype

Woningtype	Voor/achtergevel	Zijgevel	Dak
Rijwoning	1,00	0,20	1,00 /woning
Galerijwoning	1,00	0,14	0,29 /woning
Maisonettewoning	1,00	0,14	0,79 /woning
Portiekwoning	1,00	0,13	0,26 /woning
(Overige) flatwoning	1,00	0,15	0,22 /woning

Opmerking: Voor de voor/achtergevel wordt niet gecorrigeerd, want aangenomen wordt dat iedere woning die beide heeft.

### 3.6.2 Oppervlaktes

De oppervlaktes van de Voorbeeldwoningen 2011 kunnen op basis van de gegevens uit de voorgaande paragraaf worden omgerekend naar oppervlaktes voor een *gemiddelde* woning. In Tabel 21 staan hiervan de uitkomsten. In de tabel staan enerzijds de waarden van de Voorbeeldwoningen en anderzijds de gecorrigeerde oppervlakten, waarbij de waarden zijn vermenigvuldigd met de waarden uit Tabel 20.

Tabel 21 Oppervlaktes per Voorbeeldwoning (in m<sup>2</sup>)

Woningtype	Oorspronkelijk				Gecorrigeerd		
	Dak		Gevel		Dak		Gevel
	Hellend	Plat	Voor/achter	Zij	Hellend	Plat	
Vrijstaande woning, <1965	128,1		136,7		128,1		136,7
Vrijstaande woning, 1965-1974	120,7		164,7		120,7		164,7
Vrijstaande woning, 1975-1991	125,6		144,0		125,6		144,0
Vrijstaande woning, 1992-2005	120,8	17,4	150,9		120,8	17,4	150,9
2-onder-1-kapwoning, <1965	63,7	15,4	97,8		63,7	15,4	97,8
2-onder-1-kapwoning, 1965-1974	65,2	14,0	104,7		65,2	14,0	104,7
2-onder-1-kapwoning, 1975-1991	73,4	16,9	96,6		73,4	16,9	96,6
2-onder-1-kapwoning, 1992-2005	74,2	16,4	108,5		74,2	16,4	108,5
Rijwoning, <1946	55,9	17,7	49,0	48,8	55,9	17,7	58,6
Rijwoning, 1946-1964	57,3		42,3	53,0	57,3		52,7
Rijwoning, 1965-1974	65,5		40,5	58,3	65,5		52,0
Rijwoning, 1975-1991	68,6		40,6	58,4	68,6		52,1
Rijwoning, 1992-2005		56,1	49,9	59,3		56,1	61,6
Galerijwoning, <1965		72,0	20,8	27,5		21,2	24,7
Galerijwoning, 1965-1974		89,2	21,2	27,5		26,2	25,1
Galerijwoning, 1975-1991		68,0	23,7	27,5		20,0	27,6



Woningtype	Oorspronkelijk				Gecorrigeerd		
	Dak		Gevel		Dak		Gevel
	Hellend	Plat	Voor/achter	Zij	Hellend	Plat	
Galerijwoning, 1992-2005		87,3	24,7	27,5		25,7	28,6
Maisonettewoning, <1965	74,5		41,3	35,0	59,1		46,2
Maisonettewoning, 1965-1974	79,2		37,7	35,0	62,8		42,6
Maisonettewoning, 1975-1991	72,0		32,7	35,0	57,1		37,6
Maisonettewoning, 1992-2005		52,4	31,4	35,0		41,5	36,3
Portiekwoning, <1946		63,1	33,1	23,2		16,3	36,1
Portiekwoning, 1946-1964		71,7	35,9	23,2		18,6	38,9
Portiekwoning, 1965-1974		75,1	38,3	23,2		19,5	41,3
Portiekwoning, 1975-1991		81,9	34,5	23,2		21,2	37,5
Portiekwoning, 1992-2005		82,0	39,3	23,2		21,2	42,3
(Overige) flatwoning, <1965		71,1	36,4	26,0		15,9	40,3
(Overige) flatwoning, 1965-1974		81,9	24,3	26,0		18,4	28,2
(Overige) flatwoning, 1975-1991		75,0	29,7	26,0		16,8	33,6
(Overige) flatwoning, 1991-2005		88,2	33,4	26,0		19,8	37,3

Met de standaardconversie van Voorbeeldwoningen naar de woningtypes van Geomarkt die input zijn voor Vesta, zijn nu de oppervlaktes per woning in Vesta bepaald voor de na-isolatiemaatregelen.

### 3.6.3 Kosten

De kosten van de maatregelen komen het nieuwste overzicht van de EPA-maatregelen (Agentschap NL, 2012). In de onderstaande tabellen staan de kosten voor de maatregelen:

- na-isolatie hellend dak;
- na-isolatie plat dak;
- na-isolatie gevel;
- gemiddelde kosten mechanische en balansventilatie met WTW.

De kosten zijn uitgedrukt per vierkante meter, per moment en per één- of meergezinswoning. De kosten zijn de meerinvesteringen voor het nemen van de maatregel, exclusief BTW.

Tabel 22 Kosten maatregelen na-isolatie (in €/m<sup>2</sup>)

Type	Moment	Aanpak	Gevel	Hellend	Plat
Eengezinswoning	Niet-natuurlijk	Individueel	€ 80	€ 49	€ 145
		Projectmatig	€ 73	€ 46	€ 142
	Natuurlijk	Individueel	€ 77	€ 44	€ 58
		Projectmatig	€ 70	€ 40	€ 55
Meergezinswoning	Niet-natuurlijk	Individueel	€ 94	€ 49	€ 145
		Projectmatig	€ 86	€ 46	€ 142
	Natuurlijk	Individueel	€ 91	€ 44	€ 58
		Projectmatig	€ 84	€ 40	€ 55



Tabel 23 Kosten maatregelen ventilatiesysteem (in €/woning)

Type	Moment	Aanpak	Ventilatiesysteem
Eengezinswoning	Niet-natuurlijk	Individueel	€ 2.733
		Projectmatig	€ 2.642
	Natuurlijk	Individueel	€ 1.982
		Projectmatig	€ 1.905
Meergezinswoning	Niet-natuurlijk	Individueel	€ 2.667
		Projectmatig	€ 2.576
	Natuurlijk	Individueel	€ 1.982
		Projectmatig	€ 1.905

In Tabel 24 tot en met Tabel 27 staan de totale meerinvesteringen voor de Geomarkt-woningtypes in Vesta voor het aanbrengen van de na-isolatie.

Tabel 24 Meerkosten - Maximaal (individuele aanpak, niet-natuurlijk moment)

Maximaal	Voor 1800	1800 <=1900	1900 <=1920	1920 <=1940	1940 <=1960	1960 <=1970	1970 <=1980	1980 <=1990	1990 <=1995	1995 <=2000	2000 <=2010
Herenhuis grachtenpand	€ 15.946	€ 15.946	€ 15.946	€ 15.946	€ 15.946	€ 16.370	€ 16.370	€ 16.545	€ 17.466	€ 17.466	€ 17.466
Boerderij/tuinderij	€ 19.999	€ 19.999	€ 19.999	€ 19.999	€ 19.999	€ 21.879	€ 21.879	€ 20.461	€ 23.305	€ 23.305	€ 23.305
Vrijstaand/bungalows	€ 19.999	€ 19.999	€ 19.999	€ 19.999	€ 19.999	€ 21.879	€ 21.879	€ 20.461	€ 23.305	€ 23.305	€ 23.305
Twee onder een kap	€ 15.946	€ 15.946	€ 15.946	€ 15.946	€ 15.946	€ 16.370	€ 16.370	€ 16.545	€ 17.466	€ 17.466	€ 17.466
Rijtjeshuizen/eengezins	€ 12.755	€ 12.755	€ 12.755	€ 12.755	€ 9.783	€ 10.126	€ 10.126	€ 10.288	€ 15.816	€ 15.816	€ 15.816
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 9.011	€ 9.364	€ 9.364	€ 9.263	€ 9.717	€ 9.717	€ 9.717
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 8.051	€ 8.051	€ 8.051	€ 8.051	€ 8.051	€ 8.823	€ 8.823	€ 8.152	€ 9.070	€ 9.070	€ 9.070
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 9.011	€ 9.364	€ 9.364	€ 9.263	€ 9.717	€ 9.717	€ 9.717
Etagewoning/maisonnette	€ 9.903	€ 9.903	€ 9.903	€ 9.903	€ 9.903	€ 9.749	€ 9.749	€ 9.000	€ 12.100	€ 12.100	€ 12.100
Etage/flats grachtenpand	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 9.011	€ 9.364	€ 9.364	€ 9.263	€ 9.717	€ 9.717	€ 9.717
Studentenwoning/flat	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 8.425	€ 9.011	€ 9.364	€ 9.364	€ 9.263	€ 9.717	€ 9.717	€ 9.717
Divers	€ 12.755	€ 12.755	€ 12.755	€ 12.755	€ 9.783	€ 10.126	€ 10.126	€ 10.288	€ 15.816	€ 15.816	€ 15.816
Onbekend	€ 12.755	€ 12.755	€ 12.755	€ 12.755	€ 9.783	€ 10.126	€ 10.126	€ 10.288	€ 15.816	€ 15.816	€ 15.816

Tabel 25 Meerkosten - Minimaal (projectmatige aanpak, natuurlijk moment)

Maximaal	Voor 1800	1800 <=1900	1900 <=1920	1920 <=1940	1940 <=1960	1960 <=1970	1970 <=1980	1980 <=1990	1990 <=1995	1995 <=2000	2000 <=2010
Herenhuis grachtenpand	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.623	€ 12.623	€ 12.548	€ 13.384	€ 13.384	€ 13.384
Boerderij/tuinderij	€ 16.629	€ 16.629	€ 16.629	€ 16.629	€ 16.629	€ 18.287	€ 18.287	€ 17.038	€ 18.283	€ 18.283	€ 18.283
Vrijstaand/bungalows	€ 16.629	€ 16.629	€ 16.629	€ 16.629	€ 16.629	€ 18.287	€ 18.287	€ 17.038	€ 18.283	€ 18.283	€ 18.283
Twee onder een kap	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.157	€ 12.623	€ 12.623	€ 12.548	€ 13.384	€ 13.384	€ 13.384
Rijtjeshuizen/eengezins	€ 9.231	€ 9.231	€ 9.231	€ 9.231	€ 7.904	€ 8.182	€ 8.182	€ 8.316	€ 9.292	€ 9.292	€ 9.292
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 6.277	€ 6.527	€ 6.527	€ 6.304	€ 6.709	€ 6.709	€ 6.709
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 5.220	€ 5.220	€ 5.220	€ 5.220	€ 5.220	€ 5.532	€ 5.532	€ 5.399	€ 5.795	€ 5.795	€ 5.795
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 6.277	€ 6.527	€ 6.527	€ 6.304	€ 6.709	€ 6.709	€ 6.709
Etagewoning/maisonnette	€ 8.251	€ 8.251	€ 8.251	€ 8.251	€ 8.251	€ 8.099	€ 8.099	€ 7.448	€ 7.317	€ 7.317	€ 7.317
Etage/flats grachtenpand	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 6.277	€ 6.527	€ 6.527	€ 6.304	€ 6.709	€ 6.709	€ 6.709
Studentenwoning/flat	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 5.919	€ 6.277	€ 6.527	€ 6.527	€ 6.304	€ 6.709	€ 6.709	€ 6.709
Divers	€ 9.307	€ 9.307	€ 9.307	€ 9.307	€ 7.981	€ 8.259	€ 8.259	€ 8.392	€ 9.369	€ 9.369	€ 9.369
Onbekend	€ 9.307	€ 9.307	€ 9.307	€ 9.307	€ 7.981	€ 8.259	€ 8.259	€ 8.392	€ 9.369	€ 9.369	€ 9.369

Tabel 26 Meerkosten - Alternatief 1 (individuele aanpak, natuurlijk moment)

Maximaal	Voor 1800	1800 <=1900	1900 <=1920	1920 <=1940	1940 <=1960	1960 <=1970	1970 <=1980	1980 <=1990	1990 <=1995	1995 <=2000	2000 <=2010
Herenhuis grachtenpand	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.683	€ 13.683	€ 13.587	€ 14.507	€ 14.507	€ 14.507
Boerderij/tuinderij	€ 18.090	€ 18.090	€ 18.090	€ 18.090	€ 18.090	€ 19.915	€ 19.915	€ 18.541	€ 19.862	€ 19.862	€ 19.862
Vrijstaand/bungalows	€ 18.090	€ 18.090	€ 18.090	€ 18.090	€ 18.090	€ 19.915	€ 19.915	€ 18.541	€ 19.862	€ 19.862	€ 19.862
Twee onder een kap	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.168	€ 13.683	€ 13.683	€ 13.587	€ 14.507	€ 14.507	€ 14.507
Rijthuisen/eengezins	€ 9.950	€ 9.950	€ 9.950	€ 9.950	€ 8.542	€ 8.843	€ 8.843	€ 8.988	€ 9.939	€ 9.939	€ 9.939
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.591	€ 6.860	€ 6.860	€ 6.616	€ 7.054	€ 7.054	€ 7.054
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 5.444	€ 5.444	€ 5.444	€ 5.444	€ 5.444	€ 5.771	€ 5.771	€ 5.640	€ 6.057	€ 6.057	€ 6.057
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.591	€ 6.860	€ 6.860	€ 6.616	€ 7.054	€ 7.054	€ 7.054
Etagewoning/maisonnette	€ 8.770	€ 8.770	€ 8.770	€ 8.770	€ 8.770	€ 8.606	€ 8.606	€ 7.901	€ 7.673	€ 7.673	€ 7.673
Etage/flats grachtenpand	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.591	€ 6.860	€ 6.860	€ 6.616	€ 7.054	€ 7.054	€ 7.054
Studentenwoning/flat	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.208	€ 6.591	€ 6.860	€ 6.860	€ 6.616	€ 7.054	€ 7.054	€ 7.054
Divers	€ 9.950	€ 9.950	€ 9.950	€ 9.950	€ 8.542	€ 8.843	€ 8.843	€ 8.988	€ 9.939	€ 9.939	€ 9.939
Onbekend	€ 9.950	€ 9.950	€ 9.950	€ 9.950	€ 8.542	€ 8.843	€ 8.843	€ 8.988	€ 9.939	€ 9.939	€ 9.939

Tabel 27 Meerkosten - Alternatief 2 (projectmatige aanpak, niet-natuurlijk moment)

Maximaal	Voor 1800	1800 <=1900	1900 <=1920	1920 <=1940	1940 <=1960	1960 <=1970	1970 <=1980	1980 <=1990	1990 <=1995	1995 <=2000	2000 <=2010
Herenhuis grachtenpand	€ 14.848	€ 14.848	€ 14.848	€ 14.848	€ 14.848	€ 15.219	€ 15.219	€ 15.415	€ 16.246	€ 16.246	€ 16.246
Boerderij/tuinderij	€ 18.417	€ 18.417	€ 18.417	€ 18.417	€ 18.417	€ 20.117	€ 20.117	€ 18.834	€ 21.594	€ 21.594	€ 21.594
Vrijstaand/bungalows	€ 18.417	€ 18.417	€ 18.417	€ 18.417	€ 18.417	€ 20.117	€ 20.117	€ 18.834	€ 21.594	€ 21.594	€ 21.594
Twee onder een kap	€ 14.848	€ 14.848	€ 14.848	€ 14.848	€ 14.848	€ 15.219	€ 15.219	€ 15.415	€ 16.246	€ 16.246	€ 16.246
Rijthuisen/eengezins	€ 11.969	€ 11.969	€ 11.969	€ 11.969	€ 9.087	€ 9.405	€ 9.405	€ 9.555	€ 15.106	€ 15.106	€ 15.106
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.579	€ 8.912	€ 8.912	€ 8.834	€ 9.252	€ 9.252	€ 9.252
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 7.717	€ 7.717	€ 7.717	€ 7.717	€ 7.717	€ 8.471	€ 8.471	€ 7.800	€ 8.694	€ 8.694	€ 8.694
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.579	€ 8.912	€ 8.912	€ 8.834	€ 9.252	€ 9.252	€ 9.252
Etagewoning/maisonnette	€ 9.251	€ 9.251	€ 9.251	€ 9.251	€ 9.251	€ 9.110	€ 9.110	€ 8.418	€ 11.620	€ 11.620	€ 11.620
Etage/flats grachtenpand	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.579	€ 8.912	€ 8.912	€ 8.834	€ 9.252	€ 9.252	€ 9.252
Studentenwoning/flat	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.020	€ 8.579	€ 8.912	€ 8.912	€ 8.834	€ 9.252	€ 9.252	€ 9.252
Divers	€ 11.969	€ 11.969	€ 11.969	€ 11.969	€ 9.087	€ 9.405	€ 9.405	€ 9.555	€ 15.106	€ 15.106	€ 15.106
Onbekend	€ 11.969	€ 11.969	€ 11.969	€ 11.969	€ 9.087	€ 9.405	€ 9.405	€ 9.555	€ 15.106	€ 15.106	€ 15.106

### 3.6.1 Schilefficiëntie

Zoals in de voorgaande paragrafen reeds aangegeven, blijft na toepassing van de na-isolatiemaatregelen nog een beperkte restvraag naar energie over. Deze is bepaald op 60% van de energievraag van de woning die reeds naar een B-label is gebracht (of voor een aantal recentere bouwjaar al op B zit). Van iedere Voorbeeldwoning is bekend wat het energieverbruik bij een B-label is en daarmee kan dus ook de restvraag worden berekend. Op basis van de restvraag naar energie en de oorspronkelijke vraag, kan het rendement van de schilefficiëntie worden bepaald, welke als input wordt gebruikt voor Vesta. In Tabel 28 staat hiervan de uitkomst.

Tabel 28 Schilefficiëntie voor Vesta (op basis van Voorbeeldwoningen 2011)

Woningtype	Label	Functionele vraag			Schilefficiëntie	
	Huidig	Huidig (GJ)	B-label (GJ)	A+ (GJ)	Huidig > A+ (n)	B > A+ (n)
Vrijstaande woning, <1965	G	154	63	38	4,0640	1,6667
Vrijstaande woning, 1965-1974	F	133	69	41	3,2268	1,6667
Vrijstaande woning, 1975-1991	D	83	68	41	2,0505	1,6667
Vrijstaande woning, 1992-2005	B	61	61	37	1,6667	1,6667
2-onder-1-kapwoning, <1965	F	110	47	28	3,8825	1,6667
2-onder-1-kapwoning, 1965-1974	E	97	50	30	3,2431	1,6667
2-onder-1-kapwoning, 1975-1991	C	59	50	30	1,9583	1,6667
2-onder-1-kapwoning, 1992-2005	B	46	46	28	1,6667	1,6667
Rijwoning, <1946	G	106	39	24	4,4831	1,6667
Rijwoning, 1946-1964	F	69	33	20	3,4433	1,6667
Rijwoning, 1965-1974	E	62	38	23	2,7217	1,6667
Rijwoning, 1975-1991	C	45	39	23	1,9577	1,6667
Rijwoning, 1992-2005	B	33	33	20	1,6667	1,6667
Galerijwoning, <1965	D	25	20	12	2,1161	1,6667
Galerijwoning, 1965-1974	E	40	24	14	2,8395	1,6667
Galerijwoning, 1975-1991	C	21	21	13	1,6500	1,6667
Galerijwoning, 1992-2005	B	17	17	10	1,6667	1,6667
Maisonettewoning, <1965	G	86	34	20	4,2039	1,6667
Maisonettewoning, 1965-1974	D	47	32	19	2,4277	1,6667
Maisonettewoning, 1975-1991	C	33	30	18	1,7978	1,6667
Maisonettewoning, 1992-2005	B	25	25	15	1,6667	1,6667
Portiekwoning, <1946	G	45	19	11	3,9513	1,6667
Portiekwoning, 1946-1964	E	35	21	13	2,7205	1,6667
Portiekwoning, 1965-1974	D	29	23	14	2,0797	1,6667
Portiekwoning, 1975-1991	C	24	25	15	1,5985	1,6667
Portiekwoning, 1992-2005	B	23	23	14	1,6667	1,6667
(Overige) flatwoning, <1965	E	34	21	13	2,6674	1,6667
(Overige) flatwoning, 1965-1974	E	40	23	14	2,9158	1,6667
(Overige) flatwoning, 1975-1991	C	22	22	13	1,6985	1,6667
(Overige) flatwoning, 1991-2005	B	20	20	12	1,6667	1,6667

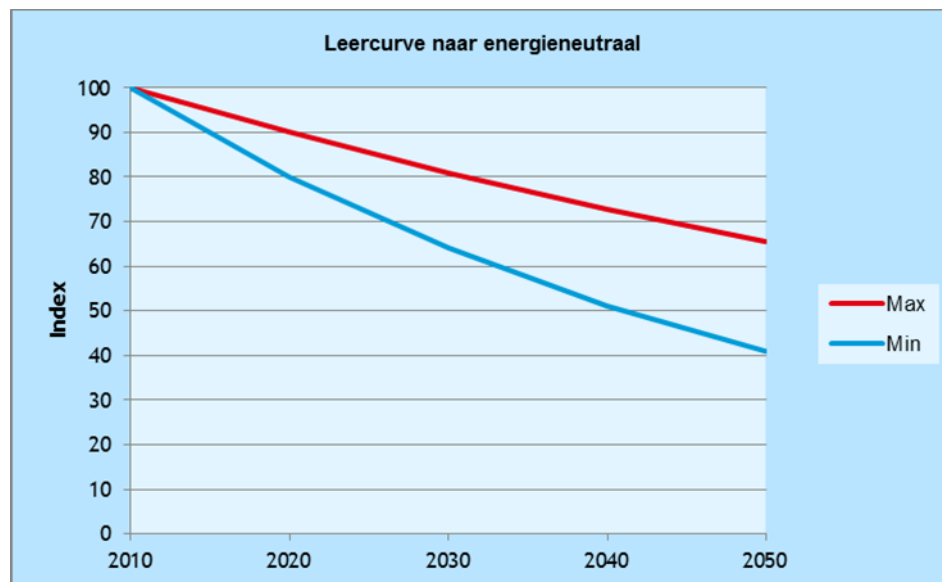




### 3.7 Leercurve

Voor de leercurve van deze maatregelen hebben we een leercurve aangehouden als weergegeven in Figuur 15 en Tabel 29. De range die is aangehouden is een kostendaling van respectievelijk 10 en 20% per tien jaar.

Figuur 15 Leercurve maatregelen na-isolatie



Tabel 29 Waarden leercurve naar energieneutraal

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	80	64	51	41
Max	100	90	81	73	66

### 3.8 Overzicht maatregelen en kosten voor energieneutraal

In de interviews is door Hameetman en Opstelten een ruw geschat investeringsbedrag van 60.000 tot 80.000 euro genoemd om een huidige (rij)woning naar energieneutraal te brengen. Energieneutraal is in dat geval *inclusief* het gebruikersgebonden energiegebruik, op jaarbasis. Om van huidig niveau naar energieneutraal te komen wordt dan gebruik gemaakt van een combinatie van schilisolatie, ventilatiesysteem, laag-temperatuur-afgifte-systeem, elektrische warmtepomp, zonneboiler en zonnecellen. In het Vesta-model worden deze gebouwgebonden technieken afzonderlijk ‘aan’ gezet. In dit rapport worden de investeringskosten van deze technieken daarom afzonderlijk beschreven. In deze paragraaf worden de investeringskosten bij elkaar geteld om te komen tot een energieneutrale woning, en vergeleken met bovengenoemde integrale inschatting van Hameetman en Opstelten. Die schatting gaat er van uit dat het gehele werk door een aannemer wordt uitgevoerd.

Er is in onderstaande analyse uitgegaan van een rijtjeshuis uit de bouwperiode 1960-1970; huidig energielabel is E. Het oppervlak van de woning is 106 m<sup>2</sup>.

Tabel 30 Opbouw maatregelen en investeringskosten om een rijtjeshuis uit bouwperiode 1960-1970 van de huidige energiesituatie naar energieneutraal te brengen.

Maatregel	Kosten (range)	Bron
Van huidig naar label B	9.550-10.970	Voorbeeldwoningen AgNL 2011
Extra isolatie (A+) + ventilatie	8.182 -10.126	CE Delft, o.b.v. EPA-maatregellijst 2012
Laag-temperatuur-afgiftesysteem (vloerverwarming)	7.635 -11.430	Dit rapport, Tabel 42
Laag-temperatuur-afgiftesysteem (LT-radiatoren)	1.506-3.838	Dit rapport, Tabel 43
Elektrische warmtepomp	12.000-12.500 10.000-10.500	Water/watersysteem Lucht/watersysteem (maar lagere COP) Dit rapport (Paragraaf 2.2.2)
Zonneboiler	1.875-2.500	Dit rapport (Paragraaf 2.2.2 )
Zonnecellen	8.800	Dit rapport (Paragraaf 2.2.3) zie 'noten'
<b>Totaal (afgerond)</b>	<b>40.000-57.000</b>	<b>Bij water/water-warmtepomp</b>

Opmerking: Bij het plaatsen van een warmtepomp, worden de kosten van een HR-ketel uitgespaard. Deze uitgespaarde kosten zijn niet verrekend in de bovenstaande waarden.

Bovenstaand totaal ligt in dezelfde ordegrrootte, maar substantieel lager dan de door Hameetman en Opstelten geschatte 60.000 tot 80.000 euro per gemiddelde rijwoning. Het verschil kan deels worden verklaard uit extra installatiewerkzaamheden die wellicht benodigd zijn en die niet in bovenstaande bottom-up-som tot uitdrukking komen, uit de niet mee begrote kosten voor aansluiting op een bronsysteem voor de water/water-warmtepomp, en/of uit de risico-, coördinatie- en winstopslag voor de aannemer en verzekeringspremies voor een dergelijke complexe klus. Het kan ook goed zijn dat het verschil de onnauwkeurigheidsmarge weerspiegelt die optreedt bij dergelijke bottom-up-analyses op basis van kentallen, wanneer die door verschillende personen worden geraamd.

### Noten

1. Ventilatiesysteem: dit is niet als separate maatregel in Vesta opgenomen. De ventilatie is daarom meegenomen als onderdeel van de verbetering van de schilisolatie. De kosten zijn het gemiddelde tussen mechanische ventilatie en balansventilatie met warmteterugwinning. Welke van deze opties wordt toegepast is over het algemeen een persoonlijke keuze en beide hebben hun voor- en nadelen. Er is geen correctie toegepast voor de effecten van het ventilatiesysteem op de functionele vraag. Naar verwachting heeft balansventilatie een verlagend effect op de vraag en mechanische ventilatie een verhogend effect.
2. Elektrische warmtepomp: bij de water/water-warmtepomp hoort er nog een bronsysteem bij, dat kan ook een aansluiting zijn op een centraal bronsysteem. In het bovenstaande overzicht is de warmtepomp aangesloten op een bodemwarmtewisselaar. Bij de lucht/water-warmtepomp is dat niet het geval, maar is de COP weer aanmerkelijk lager. De kosten van de warmtepompen zijn inclusief aanpassingen aan de woningen, zoals een driefasenaansluiting.



3. Zonnecellen: in de tabel zijn de huidige kosten genomen, niet de range in 2010. Als methode om de omvang en dus investering van het PV-systeem te bepalen is de volgende berekening gemaakt:
- a. Eerst elektriciteitsgebruik berekenen. De huidige (functionele) warmtevraag van de woning is 40 GJ/jr (ruimteverwarming) + 6,3 GJ/jr (tapwater). Bij verbetering naar label B is de schilefficiency 2,88; ruimteverwarming daalt naar 13,9 GJ/jr. Bij extra schilisolatie is het effect op schilefficiency 1,67; het gebouwgebonden warmteverbruik daalt naar 8,3 GJ/jr. De zonneboiler dekt ca. 4 GJ/jr van de tapwatervraag. De resterende functionele warmtevraag is dan:  $(8,3+6,3-4,0) = 10,6$  GJ/jr. Bij een COP van de water/water-warmtepomp van 4 voor LTV-ruimteverwarming en 1,5 voor tapwaterverwarming is het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp 3,6 GJ/jr, oftewel 1.000 kWh/jr. Als het elektriciteitsgebruik van de apparaten 3.400 kWh/jr is komt het totale gebruik op 4.400 kWh/jr. NB: 3.400 is wellicht aan de hoge kant voor een energiezuinig huishouden, aan de andere kant komt er wel een ventilatiesysteem bij, de schatting van het elektriciteitsgebruik is daarom wellicht zelfs aan de lage kant.
  - b. Voor een jaaropbrengst van 4.400 kWh/jr, bij een opbrengstkental van 100 kWh/m<sup>2</sup>/jr betekent dit een PV-systeem van 44 m<sup>2</sup>. Bij turn key investeringskosten kosten van 200 euro per m<sup>2</sup> (i.e. erg laag) is dit een investering van 8.800 euro.





## 4 Tussenstap naar label B

Door bestaande woningen in één stap te verbeteren tot een B-label kan *per direct* energie worden bespaard. Een nadeel is echter dat de benodigde investeringen voor het verbeteren van de woningschil aanzienlijk zijn en het niet voor iedere woning rendabel is dit te doen. Een alternatief is daarom de woningverbetering in twee stappen te doen. Hierbij wordt in eerste instantie de relatief goedkope stap van twee labels gemaakt en wordt daarna de stap naar het B-label gezet. Deze opzet heeft het voordeel dat op korte termijn de goedkopere en meest rendabele investeringen gedaan kunnen worden en dan op langere termijn de duurdere en minder rendabele investeringen worden gedaan. Als aanvullend voordeel geldt voor de investeringen op de langere termijn, dat zij de leercurve doorlopen en daarmee in de toekomst goedkoper zijn dan op dit moment. Hiermee dalen de totale investeringen om tot label B te komen. Ook andere omstandigheden kunnen gewijzigd zijn, bijvoorbeeld gestegen energieprijzen of verandering van het beleid, waardoor het voor de investeerder aantrekkelijker is om de maatregel te nemen.

In de komende paragrafen wordt de methodiek voor het bepalen van dit alternatief uitgewerkt en ingevuld aan de hand van de Voorbeeldwoningen 2011 van Agentschap NL. Deze uitkomst wordt vertaald naar de Geomarkt-woningen die in het Vesta-model zitten.

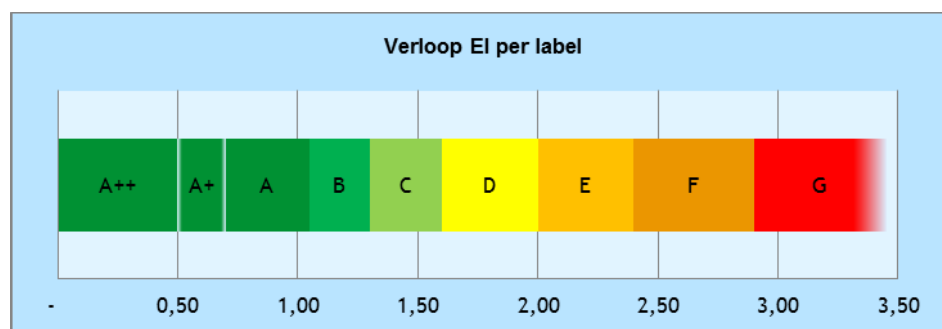
De informatie in de Paragrafen 4.2 en 4.3 is aangeleverd door dhr. R. Folkert van PBL.

### 4.1 Verband tussen energie-index en energielabel

Het verband tussen het berekend energiegebruik en het energielabel is de energie-index, die een maat geeft voor de energie-efficiëntie van de woning (schil plus installatie). Het werkelijke energiegebruik in een woning in de praktijk is ook afhankelijk van de bewoners en hun gedrag. Voor een goed begrip van wat een 'labelsprong' inhoudt wordt hier eerst kort ingegaan op het verband tussen de energie-index en het energielabel, aangezien dit geen lineaire relatie is.

Ten eerste beschrijven de labels een bandbreedte van de energie-index (EI). Dit betekent dat niet iedere woning met bijvoorbeeld een D-label dezelfde EI heeft en dus per vierkante meter ook niet hetzelfde energieverbruik heeft. Dit heeft als gevolg dat zowel een stap met 0,02 EI als een stap van 0,8 EI kan leiden tot dezelfde labelsprong. Ten tweede is de labelmethodiek niet lineair. Dat wil zeggen dat sommige labels een grotere bandbreedte van de EI hebben dan anderen (zie Figuur 16). Een sprong van 0,8 EI kan daarmee zowel een sprong van G naar F (één label) betekenen als een sprong van D naar A (drie labels).

Figuur 16 Bandbreedte Energie-index per label



## 4.2 Methodiek

Voor het bepalen van de kentallen van de tussenstap is gebruik gemaakt van de energiebesparingsverkenner van Agentschap NL (2009). De energiebesparingsverkenner berekent de kosten en het effect van besparingsmaatregelen op woningen in termen van energiegebruik en energieprestatie (gasverbruik en energielabel). De verkenner maakt gebruik van de gegevens en woningtypen en bouwjaren van de voorbeeldwoningen 2007 (Agentschap NL, 2008). Zo kan met deze energiebesparingsverkenner de kosten en het effect van een verbetering met twee labelsprongen worden bepaald naar een tussenlabel en van dit tussenlabel naar label B. Samen met de recentere kosten en energiebesparingen voor de voorbeeldwoningen van 2011 is dit gebruikt om de kentallen voor tussenlabels in Vesta te bepalen.

Met behulp van deze verkenner zijn de kosten en energiebesparingen in kaart gebracht van twee labelsprongen voor de voorbeeldwoningen 2007 (Tabel 31). Dit is gedaan voor de voorbeeldwoningen waarvan de huidige energieprestatie overeenkomt met een energielabel G, F of E (Agentschap NL, 2011). Het tussenlabel is hierbij bepaald door de meest kosteneffectieve besparingsmaatregelen te kiezen om twee labelsprongen te maken. Het gaat hierbij om besparingsmaatregelen aan de woningschil zoals dak-, muur-, vloerisolatie en isolerend glas. Maatregelen aan installaties zijn dus niet meegenomen. Hierbij is onderscheid gemaakt in woningen van voor en na 1940. Deze bouwperiode uit het Vesta-model sluit namelijk aan bij de introductie van de spouwmuur als gangbare bouwtechniek na 1930. Voor deze bouwperiode is de optie van spouwmuurisolatie door het ontbreken van de spouwmuur dus niet mogelijk. Deze maatregel is een goedkope en effectieve manier om energie te besparen en maakt voor woningen na 1940 en voor 1974 vaak deel uit van het besparingspakket voor twee labelsprongen (zie Tabel 31). Met de beschikbare maatregelen bleek het overigens niet altijd mogelijk precies twee labelsprongen te maken. Hierdoor zijn er sprongen bij van soms één of drie labels. Met de verkenner is vervolgens ook in kaart gebracht wat de kosten en energiebesparingen zijn om van het tussenlabel naar een label B-niveau te komen (tabel yy). Het gaat hierbij om een energieprestatie van de woningschil met een RC-waarde van 2,5 W/M<sup>2</sup>\*K, wat ongeveer overeenkomt met een label B-niveau. Omdat het energielabel van de woning een combinatie is van de energieprestatie van de schil met de energieprestatie van de installatie, komen sommige woningen niet precies uit op label B-niveau, maar op A of C.

De kosten om via een tussenstap naar label B-niveau te gaan kunnen hoger zijn dan dit in één stap te doen. Dit is het geval als er bij een tussenstap gekozen wordt voor spouwmuurisolatie of dubbel glas. Bij een verbetering van het tussenlabel naar label B-niveau kan de spouwmuurisolatie blijven zitten, maar om de muur te verbeteren naar een label B-niveau is een extra isolatielaag nodig. De kosten hiervan veranderen niet door de aanwezigheid van de spouwmuurisolatie. De meerkosten zijn dan dus gelijk aan de kosten van de spouwmuurisolatie. Het dubbele glas moet vervangen worden door HR++ glas. De meerkosten hierbij zijn de kosten van het glas en het plaatsen en het verwijderen ervan.



Tabel 31 Kosten en energiebesparing voor verbetering van de energieprestatie van de woningschil met circa twee labelsprongen naar tussenlabel E, C en D voor voorbeeldwoningen 2007

Type woning	Bouwperiode	Labelsprong	Huidig gasverbruik voor labelsprong (m <sup>3</sup> per jaar)	Gasverbruik na labelsprong (m <sup>3</sup> per jaar)	Kosten labelsprong (Eur)	Soort maatregelen
Vrijstaand	< 1940	G->E	4.963	3.474	6.283	Dakisolatie
Vrijstaand	1940-1965	G->E	4.963	3.724	2.158	Spouwmuurisolatie
Vrijstaand	1965-1974	F->D	4.426	2.967	2.067	Spouwmuurisolatie
2 onder 1 kap	< 1940	F->C	2.940	2.382	4.869	HR+, dak-, vloerisolatie
2 onder 1 kap	1940-1965	F->D	2.940	1.938	1.352	Spouwmuur- isolatie
2 onder 1 kap	1965-1974	E->C	3.041	1.898	2.997	Spouwmuur-, vloerisolatie
Rijwoning	< 1946	G->E	2.749	1.859	3.477	Dakisolatie
Rijwoning	1946-1965	F->D	2.416	1.627	3.050	Dakisolatie
Rijwoning	1965-1974	E->C	2.151	1.429	5.422	Vloer-, dak-, spouwmuur- isolatie
Portiekwoning	<1940	G->D	756	495	3.276	Muurisolatie
Portiekwoning	1940-1965	E->D	756	522	312	Spouwmuurisolatie
Galerijwoning	1967-1974	E->C	1.367	919	3.649	Spouwmuurisolatie, HR+ woonkamer
Flatwoning overig	<1940	E->D	790	539	3.024	Muurisolatie
Flatwoning overig	1940-1965	E->D	790	450	2.594	Spouwmuurisolatie, HR+ woonkamer, Dubbel glas overig
Flatwoning overig	1965-1974	E->C	1.348	908	3.046	Spouwmuurisolatie, HR+ woonkamer, Dubbel glas overig
Maisonnette	<1965	G->D	2.259	1.559	8.665	Muurisolatie, HR+ glas



**Tabel 32 Kosten en energiebesparing voor verbetering van de energieprestatie van de woningenschil van tussenlabel naar circa label B en in een keer naar label B voor voorbeeldwoningen 2007**

Type woning	Bouwperiode	Labelsprong	Gasverbruik tussenlabel (m <sup>3</sup> per jaar)	Gasverbruik na extra labelsprong (m <sup>3</sup> per jaar)	Kosten (Eur) tussenlabel naar label B	Kosten (Eur) zonder tussenstap naar label B
Vrijstaand	< 1940	E->A	3.474	1.415	26.376	32.659
Vrijstaand	1940-1965	E->A	3.724	1.415	32.659	32.659
Vrijstaand	1965-1974	D->A	2.967	1.693	33.007	33.007
2 onder 1 kap	< 1940	C->B	2.382	1.258	12.168	17.037
2 onder 1 kap	1940-1965	D->B	1.938	1.258	17.037	17.037
2 onder 1 kap	1965-1974	C->B	1.898	1.344	21.735	23.328
Rijwoning	< 1940	E->B	1.859	949	8.937	12.414
Rijwoning	1940-1965	D->B	1.627	874	7.470	10.520
Rijwoning	1965-1974	C->B	1.429	984	8.310	13.212
Portiekwoning	<1940	D->C	495	388	1.819	5.095
Portiekwoning	1940-1965	D->C	522	388	5.095	5.095
Galerijwoning	1967-1974	C->C	919	837	4.548	6.297
Flatwoning overig	<1940	D->C	539	397	2.350	5.393
Flatwoning overig	1940-1965	D->C	450	397	4.209	5.393
Flatwoning overig	1965-1974	C->C	908	832	4.683	6.087
Maisonnette	<1965	D->B	1.559	792	10.200	18.865

### 4.3 Omzetting naar voorbeeldwoningen 2011

In de vorige paragraaf zijn de kosten en energiebesparingen voor de tussenstappen voor de verschillende voorbeeldwoningen voor 2007 bepaald. In deze paragraaf gebruiken we deze gegevens als basis om deze inschattingen voor de voorbeeldwoningen 2011 te maken. Voor de voorbeeldwoningen 2011 zijn wel de kosten en energiebesparingen naar een label B-niveau in één stap bekend, maar niet de tussenstappen. Deze tussenstappen zijn bepaald door bij de voorbeeldwoningen 2007 een index te nemen van de kosten en energiebesparing van een tussenstap ten opzichte van een verbetering in één stap naar label B. Deze index is gebruikt om de kosten van een tussenstap bij de voorbeeldwoningen 2011 af te leiden. Als bijvoorbeeld met een tussenlabel de helft van de kosten wordt gemaakt ten opzichte van een stap in een keer naar een label B-niveau voor een voorbeeldwoning 2007, dan is dit ook toegepast op de kosten van eenzelfde tussenstap voor dezelfde voorbeeldwoningen in 2011. Zo zijn de kosten bepaald voor een projectmatige en een individuele (particuliere) aanpak.

Hetzelfde is gedaan voor de energiebesparing. De verbetering van de energieprestatie van de woning bij een tussenstap is dan berekend met de volgende formule:

$$Efficiency\ gebouw\ tussenlabel = \frac{1}{(1 - indexverbetering * (1 - \frac{1}{Efficiency\ gebouw\ Label\ B}))}$$

De waarden voor de voorbeeldwoningen 2011 zijn vervolgens omgezet naar de woningtypen en bouwjaren uit Vesta volgens PBL (2012).



Tabel 33 Efficiencyverbetering en kosten van verbetering van de energieprestatie van de woningenschil naar tussenlabel en van tussenlabel naar label B in Vesta voor Voorbeeldwoningen 2011

Type gebouw	Bouwjaar	Tussenlabel			Tussen naar eindkosten		
		Efficiency	Kosten		Efficiency	Kosten	
		Gebouw $\eta$	Projectmatig	Particulier	Gebouw $\eta$	Projectmatig	Particulier
Herenhuis grachtenpand	> 1940	1,3	3.830	4.284	3,7	9.570	10.706
Herenhuis grachtenpand	1940<=1960	1,8	1.063	1.190	3,7	13.400	14.990
Herenhuis grachtenpand	1960<=1970	1,8	1.797	2.025	3	13.035	14.684
Boerderij/tuinderij	> 1940	1,4	2.984	3.367	3,8	12.526	14.133
Boerderij/tuinderij	1940<=1960	1,3	1.025	1.156	3,8	15.510	17.500
Boerderij/tuinderij	1960<=1970	1,5	1.057	1.199	2,9	16.870	19.150
Vrijstaand/bungalows	< 1940	1,4	2.984	3.367	3,8	12.526	14.133
Vrijstaand/bungalows	1940<=1960	1,3	1.025	1.156	3,8	15.510	17.500
Vrijstaand/bungalows	1960<=1970	1,5	1.057	1.199	2,9	16.870	19.150
Twee onder een kap	< 1940	1,3	3.830	4.284	3,7	9.570	10.706
Twee onder een kap	1940<=1960	1,8	1.063	1.190	3,7	13.400	14.990
Twee onder een kap	1960<=1970	1,8	1.797	2.025	3	13.035	14.684
Rijtjeshuizen/eengezins	<1940	1,6	3.341	4.448	4,6	8.589	11.432
Rijtjeshuizen/eengezins	1940<=1960	1,6	2.435	2.792	3,8	5.965	6.838
Rijtjeshuizen/eengezins	1960<=1970	1,7	3.919	4.502	2,9	6.007	6.900
Flats 4 of minder verdiepingen	< 1940	2,3	3.221	3.530	4,9	1.789	1.960
Flats 4 of minder verdiepingen	1940<=1960	1,8	476	514	3,1	7.780	8.400
Flats meer dan 4 verdiepingen	1960<=1970	1,7	3.929	4.300	1,9	4.897	5.359
Zelfstandige bejaardenwoning	< 1940	1,8	3.544	3.852	3,0	2.776	3.018
Zelfstandige bejaardenwoning	1940<=1960	2,4	3.040	3.304	3,0	4.932	5.362
Zelfstandige bejaardenwoning	1960<=1970	1,6	2.687	2.962	1,8	4.131	4.555
Etagewoning/maisonnette	< 1960	1,5	3.257	3.606	3,9	3.833	4.244
Etage/flats grachtenpand	< 1940	2,3	3.221	3.530	4,9	1.789	1.960
Etage/flats grachtenpand	1940<=1960	1,8	476	514	3,1	7.780	8.400
Studentenwoning/flat	< 1940	2,3	3.221	3.530	4,9	1.789	1.960
Studentenwoning/flat	1940<=1960	1,8	476	514	3,1	7.780	8.400

## 4.4 Leercurves

Voor dit alternatief wordt de leercurve gehanteerd die geldt voor woningen met een C-label of hoger (zie Paragraaf 2.1) weergegeven in Tabel 34.

Tabel 34 Waarden leercurves woningen C-label of hoger

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

### Voorbeeldberekening

De effecten van het toepassen de leercurve op de investeringskosten laat zich illustreren in Tabel 35. Hierin is aangegeven wat het verschil in kosten wordt als de investering niet in 2010 in één keer wordt genomen, maar in twee stappen op een later tijdstip. In het voorbeeld wordt een herenhuis/grachtenpand van 1940<=1960 in 2020 Stap 1 gedaan en in 2040 Stap 2.

Tabel 35 Voorbeeldberekening

Maximaal	2010	2020	2040	Totaal
Twee stappen		€ 1.202	€ 16.339	€ 17.541
Eén stap	€ 16.180			€ 16.180

Minimaal	2010	2020	2040	Totaal
Twee stappen		€ 904	€ 8.442	€ 9.346
Eén stap	€ 14.463			€ 14.463



# 5 Gebiedsmaatregelen

In de eerste versie van het Vesta-model zijn waarden voor de investeringskosten van gebiedsmaatregelen opgenomen die zijn gebaseerd op waarden van begin jaren '90. Sindsdien is er veel veranderd en het is dan ook nodig deze waarden te verifiëren in de huidige warmtemarkt. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de opzet en uitkomsten van deze marktconsultatie en de aanpassingen die nodig zijn voor Vesta.

## 5.1 Opzet en dataverzameling

Voor het verifiëren van de waarden in Vesta zijn gesprekken gevoerd met marktpartijen van grootschalige warmtelevering (Eneco, Essent, Nuon) en WKO (IF Technology). Met deze partijen zijn de waarden van de investeringskosten voor gebiedsmaatregelen besproken die nu in het Functioneel ontwerp Vesta (CE Delft, 2011) staan. Voor de investeringskosten zijn globaal de volgende stappen doorlopen:

- is de waarde van realistische ordegrootte?
- zo ja, wat is de bandbreedte?
- zo nee, welke waarde en bandbreedte is realistischer?
- wat zijn verwachtingen voor toekomstige kostenontwikkelingen?

Indien de marktpartij geen waarde beschikbaar had, is aangenomen dat er geen betere waarde is en de huidige waarde toereikend is.

Op basis van de input van de marktpartijen is voor alle investeringskosten een best passende bandbreedte opgesteld. In de komende paragraaf worden deze toegelicht.

## 5.2 Aanpassingen aan huidige input Vesta

In Tabel 36 staan de huidige en nieuw voorgestelde waarden van de investeringskosten van de gebiedsmaatregelen. Bij een aantal waarden is aanvullende toelichting nodig, deze volgt na Tabel 36.



Tabel 36 Investeringskosten Vesta

Omschrijving	Variabele	Pag.	Formule	Eenheid	Waarde		Leer-curve	Opm.
					Huidig	Nieuw		
Vastrecht	N4	54, 76		€/jaar	270	250-300	1	A
Aansluitbijdrage (nieuwbouwwoning)	N7	54, 77	---, 61	€/woning	3.237	4.500-5.500	1	
Aansluitbijdrage (bestaande woning)	N7	54, 77	---, 61	€/woning	2.070	2.500-3.000	1	
Vergoeding bestaande gasinstallatie (woning)	N'7	54		€/woning	0	0		
Eenmalige aansluitbijdrage (utiliteit)	N7,u	57, 79	---, 68	€/kW	100	50-100	1	B
Eenmalige aansluitbijdrage (GTB nieuwbouw)	---	59		€/kW	100	50-100	1	B
Eenmalige aansluitbijdrage (GTB bestaand)	---	59		€/kW	0	0		
Eenmalige aansluitbijdrage niet-collectief verwarmde woning (meergezinswoning)	---	61		€/woning	1.500	2.750-3.250	1	
Eenmalige aansluitbijdrage niet-collectief verwarmde woning (eengezinswoning)	---	61		€/woning	4.500	5.500-6.500	1	
Kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)	K OS/kW	62	22	€/kW	100	50-150	1	C
Aanlegkosten distributienet meergezinswoningen	y	63	26	€/woning	1.500	1.250-1.500	2	
Kosten collectieve ketel	K ketel	64	30	€/kW	-	-		
Constante 1: Kosten per meter warmtetracé	K buis,c1	64	31	€/m	3.309	Zie opmerking	2	D
Constante 2: Kosten per meter warmtetracé	K buis,c2	64	31	€/ (m*MW^2)	0,1917	Zie opmerking	2	D
Kosten WOS per Megawatt (inclusief behuizing en hulpwarmtekets)	K WOS/MW	66	34	€/MW	65.000	100.000-150.000	2	E
Constante 1: Kosten per meter primair transportnet	K primair,buis,c1	68	37	€/m	548	Zie opmerking	2	D
Constante 2: Kosten per meter primair transportnet	K primair,buis,c2	68	37	€/ (m*MW)	23,96	Zie opmerking	2	D
Constante 1: Kosten per warmtemeter (utiliteit en GTB)	K warmtemeters,c1	69, 72	38, 44	€	810	800-825	1	F
Constante 2: Kosten per warmtemeter (utiliteit en GTB)	K warmtemeters,c2	69, 72	38, 44	€/kW	1,2	1,1-1,3	1	F
Constante 1: Kosten per menginstallatie (utiliteit)	K menginstallaties,c1	69	39	€	955	Zie opmerking		G
Constante 2: Kosten per menginstallatie (utiliteit)	K menginstallaties,c2	69	39	€/kW	10	Zie opmerking		G
Distributiekosten kleine utiliteit	K distributiekosten	70	40	€/kW	136	100-150	1	
Kosten onderstation grote utiliteitsbouw	C	70	42	€/kW	74,3553	15-150	1	C
Kosten CO <sub>2</sub> -installatie (GTB)	K CO <sub>2</sub> -installatie	72	45	€/ha	1.000	950-1.050	1	F
Kosten onderstation glastuinbouw	K onderstation	73	46	€/kW	80	15-150	1	C

Omschrijving	Variabele	Pag.	Formule	Eenheid	Waarde		Leer-curve	Opm.
					Huidig	Nieuw		
Constante 1: Kosten dienstleidingen verwarmde kassen groente	K dienstleiding,c1	73	47b	€	10.000	Zie opmerking	2	D
Constante 2: Kosten dienstleidingen verwarmde kassen bloemen	K dienstleiding,c2	73	47b	€	6.000	Zie opmerking	2	D
Constante 3: Kosten dienstleidingen verwarmde kassen overig	K dienstleiding,c3	73	47b	€	6.000	Zie opmerking	2	D
Constante 1: Kosten per meter zijleiding nieuwe glastuinbouw	K buis,nieuwgtb,c1	75	52	€/m	2.650	Zie opmerking	2	D
Constante 2: Kosten per meter zijleiding nieuwe glastuinbouw	K buis,nieuwgtb,c2	75	52	€/(m*MW^2)	0,154	Zie opmerking	2	D
Constante 1: Kosten warmtevoorziening per kW warmte per woning	K www,c1	76	55	€/kW	250	Zie opmerking		H
Constante 2: Kosten koudevoorziening per kW koude per woning	K www,c2	76	55	€/kW	225	Zie opmerking		H
Kosten installatie- en leidingwerk woning (uitpandig)	K iw	76	55	€/woning	2.450	Zie opmerking		H
Kosten WKO-bron woningen	B w	76	55	€	100.000	Zie opmerking		H
Constante 1: Kosten warmtevoorziening per kW warmte per appartement	K wva,c1	77	56	€/kW	250	Zie opmerking		H
Constante 2: Kosten koudevoorziening per kW koude per appartement	K wva,c2	77	56	€/kW	225	Zie opmerking		H
Kosten installatie- en leidingwerk appartement (uitpandig)	K ia	77	56	€/woning	150	Zie opmerking		H
Kosten WKO-bron appartementen	B a	77	56	€	95.000	Zie opmerking		H
Constante 1: Kosten warmtevoorziening per kW warmte per m² bvo utiliteit	K wvu,c1	78	63	€/kW	250	Zie opmerking		H
Constante 2: Kosten koudevoorziening per kW koude per m² bvo utiliteit	K wvu,c2	78	63	€/kW	225	Zie opmerking		H
Kosten installatie- en leidingwerk m² bvo utiliteit (uitpandig)	K ia	78	63	€/m2	3	Zie opmerking		H
Kosten WKO-bron utiliteit	B a	78	63	€	95.000	Zie opmerking		H
<b>Opwekinstallaties</b>								
Uitkoppelingskosten warmtebron STEG	STEG	16	Tabel 2	€/kW	167	150-175	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron Kolen	Kolen	16	Tabel 2	€/kW	167	150-175	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron Gasmotor	Gasmotor	16	Tabel 2	€/kW	1.692	800-1.800	2	
Uitkoppelingskosten warmtebron Gasturbine	Gasturbine	16	Tabel 2	€/kW	180	175-185	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron Conventioneel	Conventioneel	16	Tabel 2	€/kW	180	175-185	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron Industrie	Industrie	16	Tabel 2	€/kW	250	225-275	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron Raffinaderij	Raffinaderij	16	Tabel 2	€/kW	250	225-275	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron KVSTEG	KVSTEG	16	Tabel 2	€/kW	167	150-175	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron AVI	AVI	16	Tabel 2	€/kW	167	150-175	2	F
Uitkoppelingskosten warmtebron BMC	BMC	16	Tabel 2	€/kW	167	750-1.000	2	
Uitkoppelingskosten warmtebron Kerncentrale	Kerncentrale	16	Tabel 2	€/kW	-	-		
Uitkoppelingskosten warmtebron Wijk-WKK	Wijk-WKK	16	Tabel 2	€/kW	1.692	800-1.800	2	
Uitkoppelingskosten warmtebron Geothermie	Geothermie	16	Tabel 2	€/kW	1.830	1.750-2.000	2	F

## Opmerkingen

- A. Gebaseerd op de waarde uit de Warmtewet.
- B. De huidige waarde klopt voor kleine aansluitingen, maar voor grote aansluitingen ligt die lager. Bandbreedte is verschil tussen grote en kleine aansluitingen. Glastuinbouw heeft over het algemeen grote aansluitingen en ligt gemiddeld dus meer bij de onderste waarde.
- C. Hoe kleiner het OS, hoe hoger de kosten.
- D. De warmtebedrijven maken geen onderscheid in primaire of secundaire netten voor wat betreft de leidingen. Uiteraard verschillen de vermogens wel en daarmee de kosten, maar er zijn verder geen verschillen. Daarnaast verschilt de terugkoppeling per bedrijf en is deze terugkoppeling veelal niet één-op-één te vertalen naar de huidige methodiek in Vesta (kosten afhankelijk van vermogen). Door de oorspronkelijke gegevens (CE Delft, 1993) te combineren met de nieuw verkregen waarden, kunnen nieuwe kostencurves (hoog en laag) worden opgesteld. Hiervoor wordt een aantal aannames gedaan:
  - De relatie tussen diameter van de leiding en vermogen is gelijk gebleven ten opzichte van de oorspronkelijke studie van CE Delft (weergegeven in Figuur 17). Dit is gebaseerd op temperatuur en debiet en die is in Vesta gelijk gebleven.
  - De relatie tussen diameter en kosten per meter zijn lineair oplopend (in Figuur 18 zijn de huidige kosten weergegeven).

Met deze aannames en de verkregen kosten van de warmtebedrijven (in euro per diameter per meter), kunnen nieuwe kostencurves worden verkregen en de daarbij behorende formules. De uitkomsten hiervan zijn weergegeven in Figuur 19. De nieuwe formule voor het berekenen van de kosten van de warmteleidingen zijn:

- Laag:  $K_{\text{buis}} = 215,5 * p^{0,4828}$
- Hoog:  $K_{\text{buis}} = 379,3 * p^{0,4739}$

De kostencurve van de huidige warmteleidingen is in de figuur weer-gegeven met de groene stippellijn. De nieuwe bandbreedte ligt boven en onder de huidige.

De belangrijkste kostencomponent van een warmteleiding is niet de leiding zelf, maar de kosten van de werkzaamheden voor het leggen van de leiding in ondergrond. Hierbij speelt de 'drukke' in de ondergrond een belangrijke rol. Daardoor zijn de kosten in stedelijk, bebouwd gebied hoger dan in een zogenaamde 'groene weide' locatie bij nieuwbouw.

- E. De kosten van een WOS zijn mede afhankelijk van de omvang, maar worden ook sterk beïnvloed door eventuele esthetische eisen zodra de WOS bijvoorbeeld in een woonwijk staat.
- F. Huidige waarde is van goede ordegrootte. Bandbreedte gemaakt door ongeveer +10 en -10% van de huidige waarde te nemen.
- G. Menginstallaties komen niet (meer) voor bij de warmtebedrijven. Er wordt dan ook voorgesteld deze niet meer op te nemen in Vesta.





- H. Na consultatie met IF Technology is de opzet van WKO aangepast. In plaats van het huidige onderscheid, wordt een kostenonderverdeling gemaakt in bron, opwekking, distributie en afgifte, zowel voor woningen als appartementen. Voor utiliteit wordt standaard aangenomen dat er geen kosten voor distributie en afgifte zijn, omdat hierbij rechtstreeks vanuit de technische ruimte aan het afgiftesysteem wordt geleverd.

#### *Woningen*

Voor woningen wordt aangenomen dat de aansluitwaarde voor warmte en koude (respectievelijk 6 en 2 kW) gelijk blijft. Voor woningen worden daarmee de kentallen voor de investering per woning:

- bron: € 1.300-1.500 (gemiddeld: € 1.400);
- opwekking: € 1.800-2.200 (gemiddeld: € 2.000);
- distributie: € 5.500-6.500 (gemiddeld: € 6.000);
- afgifte: € 1.800-2.200 (gemiddeld: € 2.000);
- de bijbehorende formule wordt (aanpassing formule 55):  
$$\text{Investering} = x * (\text{bron} + \text{opwekking} + \text{distributie} + \text{afgifte}),$$
waarbij x het aantal woningen in het gebied is en een waarde heeft van 100-300 woningen.

De warmtevraag is leidend voor de dimensionering van het systeem en de kosten. Voor koude worden dan ook geen specifieke kosten opgenomen, maar zijn die verwerkt in de totale investering.

#### *Appartementen*

Voor appartementen wordt aangenomen dat de aansluitwaarde voor warmte en koude (respectievelijk 5 en 2 kW) gelijk blijft.

Voor appartementen worden daarmee de kentallen voor de investering per appartement:

- bron: € 1.300-1.500 (gemiddeld: € 1.400);
- opwekking: € 1.600-2.000 (gemiddeld: € 1.800);
- distributie: € 1.800-2.200 (gemiddeld: € 2.000);
- afgifte: € 1.800-2.200 (gemiddeld: € 2.000);
- de bijbehorende formule wordt (aanpassing formule 56):  
$$\text{Investering} = y * (\text{bron} + \text{opwekking} + \text{distributie} + \text{afgifte}),$$
waarbij y het aantal appartementen in het gebied is en een waarde heeft van 100-300 appartementen.

De warmtevraag is leidend voor de dimensionering van het systeem en de kosten. Voor koude worden dan ook geen specifieke kosten opgenomen, maar zijn die verwerkt in de totale investering.

#### *Utiliteit*

Voor utiliteit wordt aangenomen dat de aansluitwaarde voor warmte en koude wél verandert naar respectievelijk 0,05 en 0,06 kW/m<sup>2</sup>. Voor utiliteit worden daarmee de kentallen voor de investering per vierkante meter:

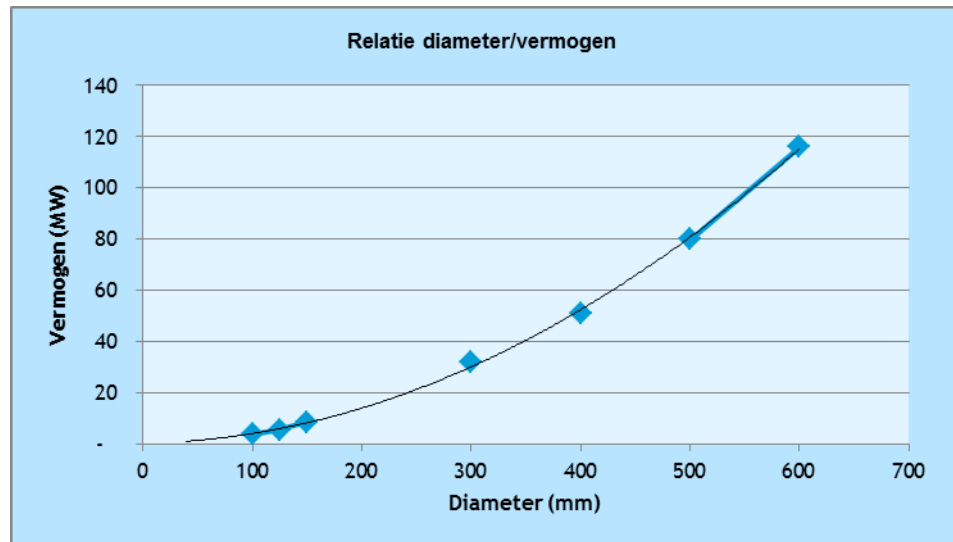
- bron: € 23-29 (gemiddeld: € 26);
- opwekking: € 25-30 (gemiddeld: € 28);
- distributie: n.v.t.;
- afgifte: n.v.t.;
- de bijbehorende formule wordt (aanpassing formule 63):  
$$\text{Investering} = Lu * (\text{bron} + \text{opwekking}),$$
waarbij Lu de omvang (in m<sup>2</sup> BVO) van utiliteit in het gebied is en een waarde heeft van 7.500-15.000 m<sup>2</sup>.



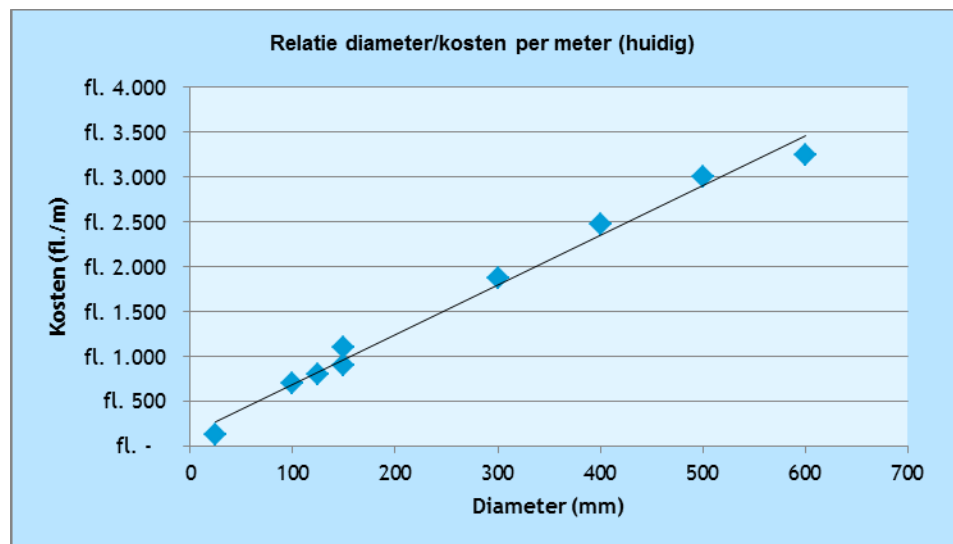
De bovenstaande kentallen zijn gebaseerd op generieke inschattingen van de configuratie van een zogenaamd 'standaardsysteem'. Dit systeem bestaat in werkelijkheid niet en de geldigheid van de kentallen is dus ook maar beperkt. De bandbreedtes waarvoor de kentallen een goede benadering geven is eveneens aangegeven. Buiten die bandbreedtes nemen de afwijkingen toe en neemt de geldigheid van de raming af.

Voor alle WKO-investeringskentallen wordt leercurve 2 gehanteerd.

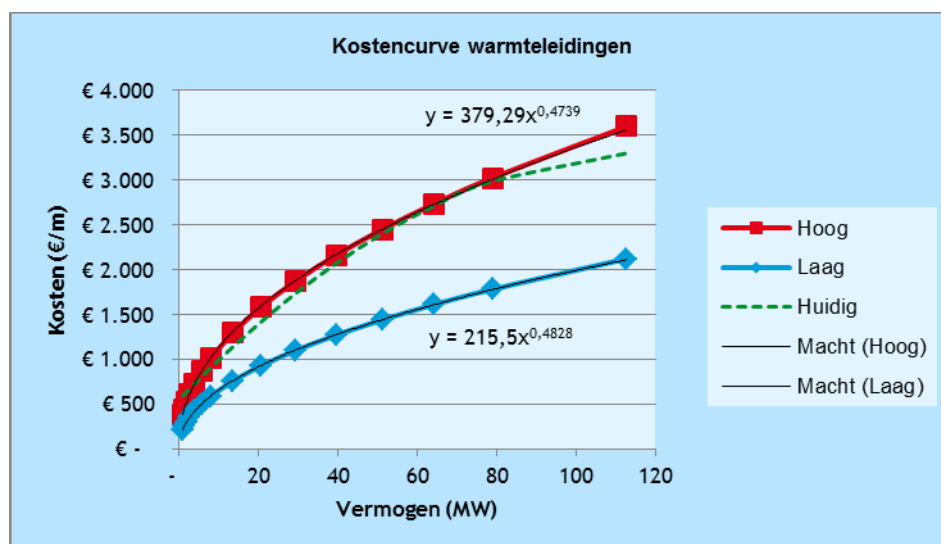
Figuur 17 Relatie diameter/vermogen (huidig)



Figuur 18 Relatie diameter/kosten per meter (huidig) (in guldens uit 1993)



Figuur 19 Kostencurve warmteleidingen (nieuw)

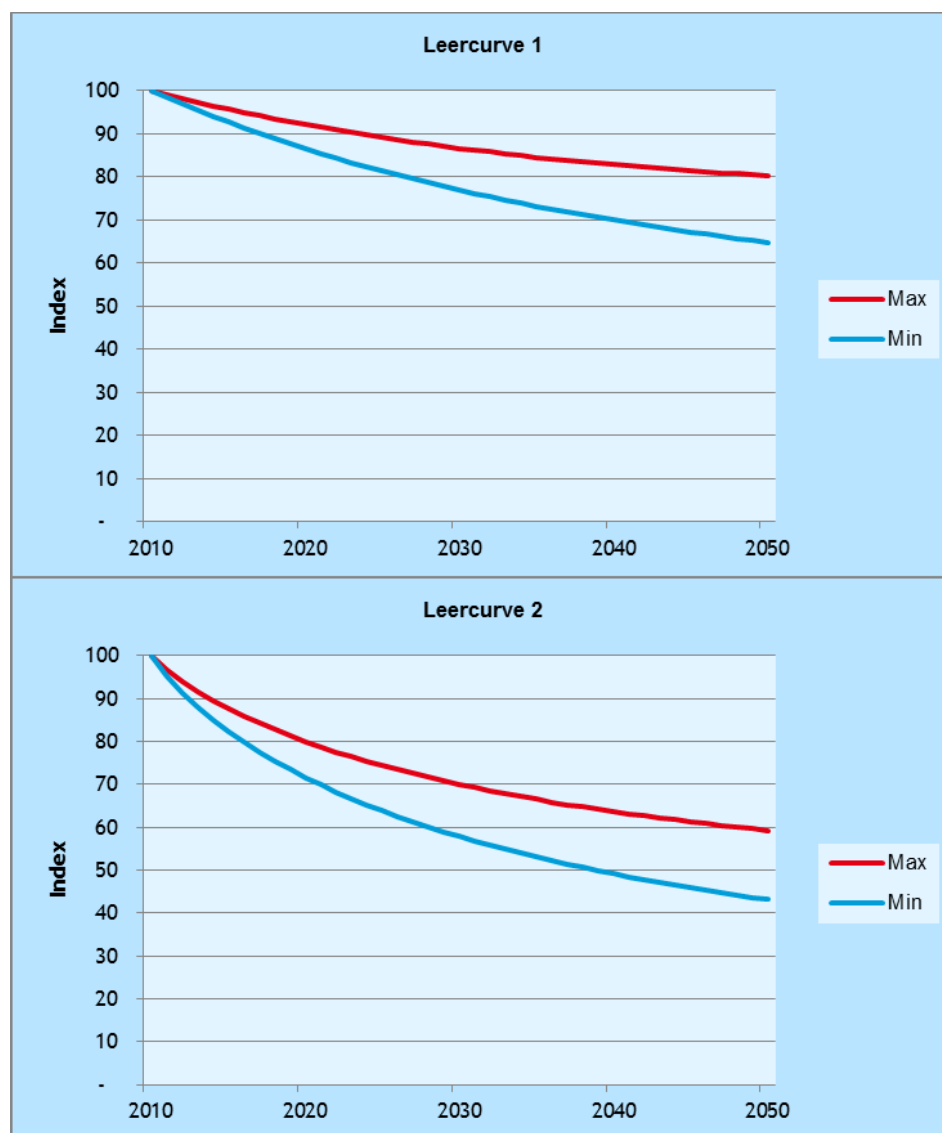


### 5.3 Leercurves

Net als alle andere investeringen in Vesta, doorlopen de investeringskosten uit de voorgaande paragraaf in de toekomst ook een leercurve. Omdat er een zeer grote diversiteit van onderdelen is bij de gebiedsmaatregelen en het praktisch niet mogelijk om voor alle losse onderdelen een eigen leercurve te bepalen (de geïnterviewde warmtebedrijven konden hier geen duidelijke uitspraken over doen), is de pragmatische keuze gemaakt om twee verschillende leercurves toe te passen op de verschillende onderdelen. Hierbij is het onderscheid gemaakt tussen enerzijds de overige onderdelen en anderzijds de warmteleidingen en uitkoppeling van warmte. Bij de laatstgenoemde is de verwachting dat de komende jaren grotere verbeteringen in efficiëntie, kosten, et cetera worden behaald dan bij de eerste groep onderdelen.

Uitgangspunt van beide leercurves is de generieke curve die ook wordt gebruikt bij de gebouwgebonden installaties. In Figuur 20 en Tabel 37 worden deze weergegeven. In Tabel 37 is in de kolom leercurve aangegeven welke curve bij welk onderdeel hoort.

Figuur 20 Leercurves 1 en 2



Tabel 37 Waarden leercurves gebiedsmaatregelen

Leercurve 1	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	87	77	70	65
Max	100	92	87	83	80
Leercurve 2	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	72	58	49	43
Max	100	80	70	64	59

## 6 Toepassingen schone energiedragers

Binnen Vesta zijn er verschillende mogelijkheden voor volledig elektrische gebouwgebonden installaties: een elektrische warmtepomp en elektrische weerstandsverwarming. De warmtepomp is niet één op één uitwisselbaar met bestaande systemen want het vergt ook een aanpassing aan het afgiftesysteem (lage temperatuur in plaats van hoge temperatuur). Het 'elektrificeren' van de warmtevoorziening biedt de mogelijkheid om met hernieuwbare elektriciteit de woning van schone warmte te voorzien. Een andere mogelijkheid is aardgas te vervangen door groen gas.

In dit hoofdstuk wordt de elektrificatie en het vergroenen van het aardgas besproken. Hierbij wordt gekeken naar de kosten van de systemen en de verwachte leercurves voor die kosten.

### 6.1 Lagetemperatuurafgiftesysteem

Voor het efficiënt toepassen van een elektrische warmtepomp is het wenselijk een afgiftesysteem in de woning te hebben dat ontworpen is voor lage temperaturen. Hier bestaan twee systemen voor: vloerverwarming<sup>8</sup> of radiatoren. Bij vloerverwarming worden op/in de vloer verwarmingslussen gelegd. Over het algemeen is dit alleen toe te passen op betonnen vloeren, wat betekent dat dit vooral voor de nieuwere woningen een optie is. Bij lagetemperatuurradiatoren worden radiatoren geplaatst die groter en dikker zijn dan bij een gewone HR-ketel, zodat er een groter oppervlak is om warmte uit te wisselen. Deze radiatoren kunnen in principe in iedere woning worden geplaatst.

#### Vloerverwarming

Voor het bepalen van de kosten van het aanbrengen van vloerverwarming is gebruik gemaakt van de EPA-overzichten. Uit deze overzichten kunnen kosten per vierkante meter worden bepaald. Deze kunnen vervolgens worden gebruikt bij de Geomarkt-woningen. Hierbij zijn de maximale variant de kosten van een individuele plaatsing op een niet-natuurlijk moment en de minimale variant is projectmatig op een natuurlijk moment. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen een- en meergezinswoningen. In Tabel 38 staan de kosten van vloerverwarming weergegeven.

Vloerverwarming wordt over het algemeen alleen toegepast bij woningen met betonnen vloeren. Daarom wordt aangenomen dat deze optie alleen wordt toegepast bij naoorlogse woningen. Bij de Voorbeeldwoningen 2011 zijn dit de woningen van na 1965, en rij- en portiekwoningen van na 1945. Wat dit betekent voor de Geomarkt-woningen is zichtbaar in Tabel 42.

---

<sup>8</sup> Een alternatieve variant voor vloerverwarming is wandverwarming, maar daar is in deze studie niet naar gekeken.



## LT-radiatoren

Voor radiatoren die op lage temperatuur werken is eveneens gebruik gemaakt van de EPA-overzichten. Door de kosten om te rekenen naar vierkante meters, kunnen zij worden vertaald naar de Geomarkt-woningen. Dezelfde spreiding wordt aangehouden tussen maximaal en minimaal als bij vloerverwarming. In tegenstelling tot vloerverwarming worden deze radiatoren bij alle bouwjaren mogelijk geacht. Tabel 43 geeft een overzicht van de kosten.

In Tabel 42 tot en met Tabel 43 staan de uitkomsten van de investeringen voor de afgiftesystemen.

Tabel 38 Kosten laagtemperatuurafgiftesysteem (in €/m<sup>2</sup>)

Maatregel	Niet-natuurlijk moment				Natuurlijk moment			
	Eengezins-woning		Meergezins-woningen		Eengezins-woning		Meergezins-woning	
	Ind.	Proj.	Ind.	Proj.	Ind.	Proj.	Ind.	Proj.
Radiatoren T<35	€ 36	€ 32	€ 36	€ 32	€ 18	€ 14	€ 14	€ 12
Vloerverwarming T<35	€ 108	€ 93	€ 115	€ 99	€ 89	€ 72	€ 91	€ 73

## 6.2 Elektrische weerstandsverwarming

Een alternatieve optie voor een *all electric* verwarming is het toepassen van elektrische weerstandverwarming. Dit zijn in feite matten van metaaldraad die warm worden door elektriciteit er doorheen te laten stromen. Deze matten kunnen onder vloerkleden, houten vloeren, betegelde vloeren of andere vloeren worden gelegd. En hoewel ze in Scandinavische landen breed worden ingezet, is dat in Nederland maar zeer beperkt. Hier worden ze vaak ingezet als vloerverwarming in bijvoorbeeld de badkamer.

Figuur 21 Voorbeeld van elektrische weerstandsverwarming onder een vloerkleed



Omdat elektrische weerstandsverwarming in Nederland maar beperkt wordt toegepast, is de beschikbaarheid van bruikbare data over deze systemen ook zeer beperkt. Voor het bepalen van de investeringskosten is dan ook gebruik gemaakt van marktgegevens van leveranciers (catalogi), in combinatie met verhoudingsgetallen uit de EPA-overzichten.

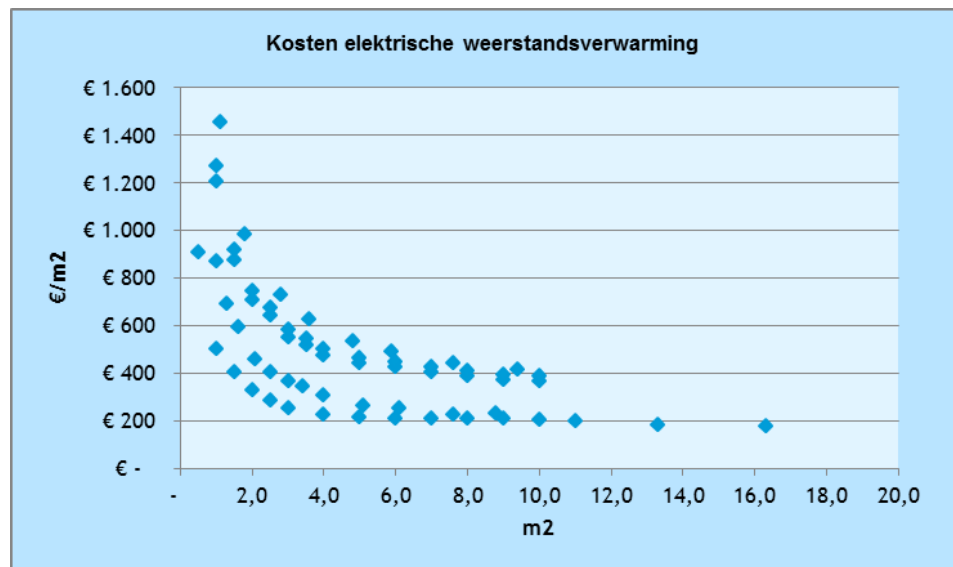
Van een groot aantal producten is gekeken wat de kosten van aanschaf zijn, en is bepaald wat de arbeidskosten zijn en eventuele aanvullende materiaal-kosten. In Tabel 39 staan de aannames die zijn gehanteerd.

In Figuur 22 staat de uitkomst van de marktgegevens in een investering per vierkante meter.

Tabel 39 Aannames voor bepalen investeringskosten

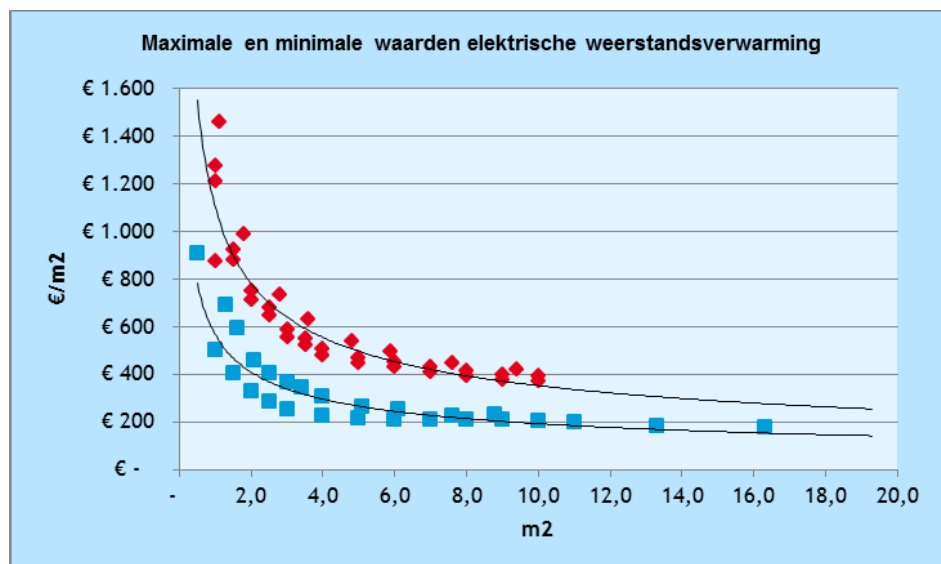
Onderdeel	Aanname
Materiaal	Cataloguswaarde, inclusief thermostaat.
Arbeid	Bij het plaatsen van vloerverwarming is volgens de EPA-maatregelen ongeveer 75% van de kosten voor arbeid. Het aandeel arbeid is dus drie keer zo groot als materiaal.
Extra materiaal	Kosten voor afwerking/afdekken van verwarmingsmatten. Inschatting ongeveer 25% van de materiaalkosten. Er wordt aangenomen dat er in het algemeen geen aanpassingen nodig zijn van de elektriciteitsvoorziening in de woning (bijvoorbeeld een verzwaring van de aansluiting).

Figuur 22 Uitkomsten marktanalyse elektrische weerstandsverwarming



In Figuur 23 is een scheiding zichtbaar tussen installaties boven en onder gemiddeld. Deze worden gehanteerd als minimale en maximale waarde.

Figuur 23 Vaststellen maximale en minimale investeringskosten



Uit Figuur 22 en Figuur 23 is duidelijk te zien dat de kosten van een systeem afnemen naarmate de omvang toeneemt. Voor het toepassen is het dan ook zo wenselijk mogelijk om grote systemen aan te schaffen en te plaatsen. Gezien de kenmerken van het product (modulair en eenvoudig kleiner te maken), is aangenomen dat voor het plaatsen van dit type verwarming in bestaande woningen uitgegaan wordt van systemen van ongeveer 20 m<sup>2</sup>, die in de woning tot de gewenste formaten worden verwerkt. Voor zeer goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen is aanzienlijk minder oppervlak aan verwarmingsmat nodig, waardoor de prijs per m<sup>2</sup> toeneemt. In Tabel 40 staan de aannames die zijn gedaan voor het bepalen van de totale investeringskosten voor een woning.

Wanneer de onderstaande gegevens worden toegepast op de Geomarkt-woningen (alleen voor bestaand), dan kunnen de totale investeringskosten voor de elektrische weerstandsverwarming worden bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 40.

Tabel 40 Aannames voor investeringskosten elektrische weerstandsverwarming

Woning	Vloeroppervlak nodig	Kosten maximaal	Kosten minimaal
Bestaand	75%	250 €/m <sup>2</sup>	139 €/m <sup>2</sup>
Nieuw (>=A-label)	10%	352 €/m <sup>2</sup>	192 €/m <sup>2</sup>

### 6.3 Groen gas en biogas

Een onderdeel van de opdracht was het beknopt bij elkaar zetten van de informatie in openbare rapporten van CE Delft over potentieel en prijzen van groen gas en biogas. Het gaat dan om de toepassing als vervanging van het huidige aardgas voor verwarming van gebouwen, hetzij als brandstof voor CV-ketels in gebouwen, hetzij als brandstof in warmtekrachtinstallaties die warmte leveren aan gebouwen.



Een belangrijke ontwikkeling om de gasvoorziening te verduurzamen is groen gas. Dat wordt geproduceerd uit zuiveringsslib, uit stortplaatsen en uit allerlei groenten-, fruit-, plantsoen- en tuinafval. Uit de landbouwsector, voedings-middelenindustrie, horeca en detailhandel komen ook veel restproducten waaronder mest. Het 'ruwe' biogas wordt met vergistings- of vergassings-installaties geproduceerd. Lokaal wordt hiermee duurzame elektriciteit gemaakt. De vrijkomende warmte kan echter vaak niet volledig worden benut. Ook als het gas geschikt gemaakt wordt als voertuigbrandstof is er lokaal vaak geen goede aansluiting tussen vraag en aanbod. Een andere optie is om het ruwe biogas op te werken tot groen gas met dezelfde eigenschappen als aardgas. Daardoor kan het ingevoerd worden op het normale gasnet, bespaart het fossiele energie, en is het beschikbaar voor iedereen die een gasaansluiting heeft (ECN, 2012).

In CE Delft (2010) staan de termen nader gespecificeerd:

**Biogas, groen gas en biomethaan: vergelijkbaar, maar toch anders**

In het volgende lichten we deze drie termen kort toe, waarbij we vooral focussen op het voor dit onderzoek belangrijkste component van deze gassen: het methaangehalte. Het methaan is de component in deze gassen dat de energie voor verbranding levert: hoe hoger het methaangehalte van het gas, hoe hoger de energiedichtheid.

- Biogas is een brandstof die wordt geproduceerd uit biologische grondstoffen, d.m.v. vergisting of vergassing. Het methaangehalte varieert tussen ca. 55 en 65%, de rest van het gas (ca. 35%) is grotendeels CO<sub>2</sub>.
- Dit biogas kan worden opgewaardeerd tot groen gas. Hierbij wordt het CO<sub>2</sub> grotendeels verwijderd, waardoor het methaangehalte toeneemt. Ook moeten siloxanen, organisch actief materiaal, chloor, zwavel, etc. verwijderd worden. Het gas wordt daarmee van Nederlandse aardgaskwaliteit (het zogenaamde L-gas, Slochterenkwiteit) en mag worden bijgemengd in het aardgasnetwerk. Het methaangehalte van dit groene gas is ca. 89%.

Biomethaan noemen we het gas dat ontstaat als het biogas of het groene gas wordt opgewaardeerd naar een methaangehalte van meer dan 97%. Dit methaangehalte komt overeen met de standaard aardgaskwaliteit die in bijv. Duitsland en Zweden wordt gehanteerd, het zogenaamde H-gas.

### Potentieel en kostprijs

Op dit moment is het aanbod van groen gas relatief klein, maar het aandeel in de gasvoorziening neemt elk jaar toe (ECN, 2012). In 2011 was het aanbod van groen gas 22 miljoen m<sup>3</sup>. Samen met het niet opgewerkte biogas wordt ongeveer 300 miljoen m<sup>3</sup> aardgas vervangen, ongeveer 0,6% van het nationale aardgasverbruik. De bijdrage van groen gas via vergisting kan nog verder stijgen. De hoeveelheid biomassa-restproducten in Nederland kan maximaal 5 tot 10% van het aardgasverbruik vervangen. Voor meer groen gas is import van biomassa nodig. In ECN (2012) staat de verwachting van de projectgroep Groen Gas van Netbeheer Nederland dat 'het aandeel groen gas in 2020 circa 4% bedraagt. Dat is dertig keer zoveel als momenteel.'

In CE Delft (2011) (met name bijlagen G en S) wordt ingegaan op het binnenlandse potentieel aan biomassa. Eén van de conclusies in (CE Delft, 2011) luidt: *'Een grote rol van biomassa voor de productie van groen gas (met grootschalige import van 'biogas' of van pellets voor nationale productie van gas of elektriciteit of biobrandstoffen) is afhankelijk van de vraag of Nederland genoeg duurzaam geproduceerde biomassa van de mondiale markt kan betrekken ten behoeve van de Nederlandse energievoorziening.'*



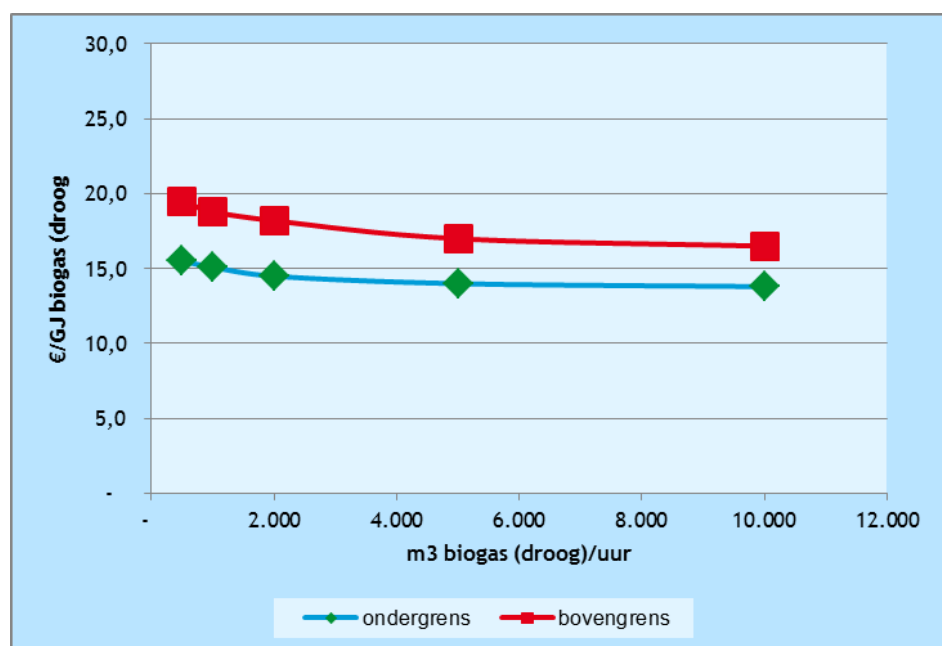
De verwachting die in dat rapport wordt uitgesproken is dat die beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde biomassa vanuit de mondiale markt voor toepassing als vervanging van aardgas voor gebouwverwarming beperkt zal zijn, mede vanwege de toenemende mondiale vraag naar biomassa voor de voedselvoorziening, als basis voor transportbrandstoffen, als grondstof voor de chemie, en vanuit de staalindustrie.

In Nederland is binnenlandse productie van groen gas uit mest de meest voor de hand liggende optie. Door KEMA is onderzocht (KEMA, 2010) welke wijze van vergisten en opwerken optimaal is. Hierbij is uitgegaan van de 66 landbouwgebieden zoals CBS die onderscheidt. Het blijkt dat decentrale vergisting in combinatie met centrale opwerking de laagste kosten vergt. Met een investering van € 1 miljard kunnen ruwgasleidingen (inclusief invoeding in regionaal gasnet) worden aangelegd naar centrale punten waar het ruwe biogas wordt opgewerkt tot groen gas. De totale kosten van het groen gas variëren van € 0,80 tot € 2 per m<sup>3</sup> (i.e. € 25 tot € 63 per GJ).

Het ruwe biogas kent een lagere kostprijs dan het opgewerkte groen gas. In CE Delft (2010) (fig. 35) zijn daarover de volgende berekeningsresultaten opgenomen voor biogasproductie uit maïs/mest-covergisting in Nederland en afhankelijk van de grootte van de vergister. De overgenomen grafiek geeft de kosten per GJ biogas weer, als functie van de grootte van de installatie. Bij de grotere installaties ligt de kostprijs van het biogas in de range van 14 tot 17 € per GJ. De energiedichtheid van aardgas (L-gas) is 31,65 MJ/Nm<sup>3</sup> (onderwaarde), de energiedichtheid van biogas is lager dan die van aardgas, en afhankelijk van de specifieke productie.

Het is niet nader onderzocht of de prijsverschillen tussen biogas (CE Delft, 2010) en groen gas (KEMA, 2010) alleen door de kosten van de infrastructuur en opwerkingsinstallatie worden veroorzaakt, maar gezien de grootte van de prijsverschillen liggen er ook andere aannames voor de berekeningen aan ten grondslag.

Figuur 24 Biogaskosten per GJ, afhankelijk van de schaalgrootte van de vergister



Bron: CE Delft (2010); Figuur 35.

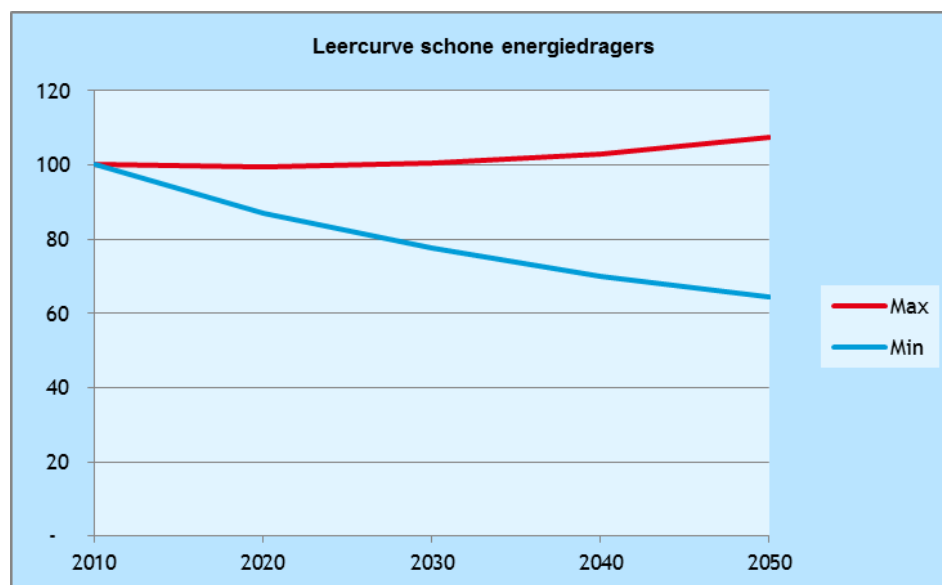
Een verkenning naar de kostprijsontwikkeling in de tijd van groen gas en biogas valt buiten scope van dit rapport.

De kosten van biogasproductie uit stortgas van vuilstortplaatsen liggen overigens lager, maar dit heeft een beperkt potentieel (zie CE Delft, 2010).

## 6.4 Leercurves

Voor de toepassingen (vloerverwarming, LT-radiatoren en elektrische weerstandsverwarming) van schone energiedragers (met uitzondering van bio- en groen gas) is eveneens een leercurve opgesteld. Dit is gedaan op basis van de leercurve die ook is gehanteerd voor algemene woningverbetering (zie Hoofdstuk 2.1), dus op basis van een verwachte ontwikkeling op materiaal- en arbeidskosten en productiviteitsverbetering op arbeid. Met dien verstande, dat de verhouding materiaal en arbeid in het geval van schone energiedragers anders ligt dan bij de algemene woningverbetering (aandeel arbeid is groter). De resulterende leercurves voor zowel vloerverwarming, LT-radiatoren als elektrische weerstandsverwarming worden weergegeven in Figuur 25; in Tabel 41 staan de bijhorende waarden.

Figuur 25 Leercurves schone energiedragers



Tabel 41 Waarden leercurves schone energiedragers

	2010	2020	2030	2040	2050
Min	100	87	77	70	64
Max	100	99	100	103	107

Tabel 42 Investeringskosten vloerverwarming per Geomarkt-woning

Maximaal	Voor 1800	1800 ≤1900	1900 ≤1920	1920 ≤1940	1940 ≤1960	1960 ≤1970	1970 ≤1980	1980 ≤1990	1990 ≤1995	1995 ≤2000	2000 ≤2010
Herenhuis grachtenpand						€ 13.263	€ 13.263	€ 13.263	€ 14.233	€ 14.233	€ 14.233
Boerderij/tuinderij						€ 15.527	€ 16.606	€ 16.606	€ 18.547	€ 18.547	€ 18.547
Vrijstaand/bungalows						€ 15.527	€ 16.606	€ 16.606	€ 18.547	€ 18.547	€ 18.547
Twee onder een kap						€ 13.263	€ 13.263	€ 13.263	€ 14.233	€ 14.233	€ 14.233
Rijtjeshuizen/eengezins					€ 9.381	€ 11.430	€ 11.430	€ 11.430	€ 12.292	€ 12.292	€ 12.292
Flats 4 of minder verdiepingen					€ 7.614	€ 8.191	€ 8.076	€ 8.076	€ 8.537	€ 8.537	€ 8.537
Flats meer dan 4 verdiepingen						€ 9.460	€ 7.845	€ 7.845	€ 9.114	€ 9.114	€ 9.114
Zelfstandige bejaardenwoning					€ 7.729	€ 8.883	€ 8.076	€ 8.076	€ 9.460	€ 9.460	€ 9.460
Etagewoning/maisonnette						€ 10.152	€ 9.229	€ 9.229	€ 9.691	€ 9.691	€ 9.691
Etage/flats grachtenpand					€ 7.614	€ 8.191	€ 8.076	€ 8.076	€ 8.537	€ 8.537	€ 8.537
Studentenwoning/flat					€ 7.614	€ 8.191	€ 8.076	€ 8.076	€ 8.537	€ 8.537	€ 8.537
Divers					€ 9.381	€ 11.430	€ 11.430	€ 11.430	€ 12.292	€ 12.292	€ 12.292
Onbekend					€ 9.381	€ 11.430	€ 11.430	€ 11.430	€ 12.292	€ 12.292	€ 12.292
Minimaal	Voor 1800	1800 ≤1900	1900 ≤1920	1920 ≤1940	1940 ≤1960	1960 ≤1970	1970 ≤1980	1980 ≤1990	1990 ≤1995	1995 ≤2000	2000 ≤2010
Herenhuis grachtenpand						€ 8.859	€ 8.859	€ 8.859	€ 9.508	€ 9.508	€ 9.508
Boerderij/tuinderij						€ 10.372	€ 11.092	€ 11.092	€ 12.389	€ 12.389	€ 12.389
Vrijstaand/bungalows						€ 10.372	€ 11.092	€ 11.092	€ 12.389	€ 12.389	€ 12.389
Twee onder een kap						€ 8.859	€ 8.859	€ 8.859	€ 9.508	€ 9.508	€ 9.508
Rijtjeshuizen/eengezins					€ 6.266	€ 7.635	€ 7.635	€ 7.635	€ 8.211	€ 8.211	€ 8.211
Flats 4 of minder verdiepingen					€ 4.811	€ 5.175	€ 5.102	€ 5.102	€ 5.394	€ 5.394	€ 5.394
Flats meer dan 4 verdiepingen						€ 5.977	€ 4.957	€ 4.957	€ 5.758	€ 5.758	€ 5.758
Zelfstandige bejaardenwoning					€ 4.884	€ 5.613	€ 5.102	€ 5.102	€ 5.977	€ 5.977	€ 5.977
Etagewoning/maisonnette						€ 6.414	€ 5.831	€ 5.831	€ 6.123	€ 6.123	€ 6.123
Etage/flats grachtenpand					€ 4.811	€ 5.175	€ 5.102	€ 5.102	€ 5.394	€ 5.394	€ 5.394
Studentenwoning/flat					€ 4.811	€ 5.175	€ 5.102	€ 5.102	€ 5.394	€ 5.394	€ 5.394
Divers					€ 6.266	€ 7.635	€ 7.635	€ 7.635	€ 8.211	€ 8.211	€ 8.211
Onbekend					€ 6.266	€ 7.635	€ 7.635	€ 7.635	€ 8.211	€ 8.211	€ 8.211

Tabel 43 Investeringskosten LT-radiatoren per Geomarkt-woning

Maximaal	Voor 1800	1800 ≤1900	1900 ≤1920	1920 ≤1940	1940 ≤1960	1960 ≤1970	1970 ≤1980	1980 ≤1990	1990 ≤1995	1995 ≤2000	2000 ≤2010
Herenhuis grachtenpand	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.779	€ 4.779	€ 4.779
Boerderij/tuinderij	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 5.214	€ 5.576	€ 5.576	€ 6.228	€ 6.228	€ 6.228
Vrijstaand/bungalows	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 5.214	€ 5.576	€ 5.576	€ 6.228	€ 6.228	€ 6.228
Twee onder een kap	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.779	€ 4.779	€ 4.779
Rijtjeshuizen/eengezins	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.150	€ 3.838	€ 3.838	€ 3.838	€ 4.128	€ 4.128	€ 4.128
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.395	€ 2.577	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.685	€ 2.685	€ 2.685
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.976	€ 2.468	€ 2.468	€ 2.867	€ 2.867	€ 2.867
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.794	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.976	€ 2.976	€ 2.976
Etagewoning/maisonnette	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 2.903	€ 2.903	€ 3.048	€ 3.048	€ 3.048
Etage/flats grachtenpand	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.395	€ 2.577	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.685	€ 2.685	€ 2.685
Studentenwoning/flat	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.395	€ 2.577	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.685	€ 2.685	€ 2.685
Divers	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.150	€ 3.838	€ 3.838	€ 3.838	€ 4.128	€ 4.128	€ 4.128
Onbekend	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.150	€ 3.838	€ 3.838	€ 3.838	€ 4.128	€ 4.128	€ 4.128
Minimaal	Voor 1800	1800 ≤1900	1900 ≤1920	1920 ≤1940	1940 ≤1960	1960 ≤1970	1970 ≤1980	1980 ≤1990	1990 ≤1995	1995 ≤2000	2000 ≤2010
Herenhuis grachtenpand	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.875	€ 1.875	€ 1.875
Boerderij/tuinderij	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 2.046	€ 2.188	€ 2.188	€ 2.444	€ 2.444	€ 2.444
Vrijstaand/bungalows	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 2.046	€ 2.188	€ 2.188	€ 2.444	€ 2.444	€ 2.444
Twee onder een kap	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.875	€ 1.875	€ 1.875
Rijtjeshuizen/eengezins	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.236	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.620	€ 1.620	€ 1.620
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 680	€ 680	€ 680	€ 680	€ 760	€ 818	€ 806	€ 806	€ 852	€ 852	€ 852
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 829	€ 829	€ 829	€ 829	€ 829	€ 945	€ 783	€ 783	€ 910	€ 910	€ 910
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 772	€ 772	€ 772	€ 772	€ 772	€ 887	€ 806	€ 806	€ 945	€ 945	€ 945
Etagewoning/maisonnette	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 922	€ 922	€ 968	€ 968	€ 968
Etage/flats grachtenpand	€ 680	€ 680	€ 680	€ 680	€ 760	€ 818	€ 806	€ 806	€ 852	€ 852	€ 852
Studentenwoning/flat	€ 680	€ 680	€ 680	€ 680	€ 760	€ 818	€ 806	€ 806	€ 852	€ 852	€ 852
Divers	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.236	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.620	€ 1.620	€ 1.620
Onbekend	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.236	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.620	€ 1.620	€ 1.620

Tabel 44 Investeringskosten elektrische weerstandverwarming per Geomarkt-woning

Maximaal	Voor 1800	1800 ≤1900	1900 ≤1920	1920 ≤1940	1940 ≤1960	1960 ≤1970	1970 ≤1980	1980 ≤1990	1990 ≤1995	1995 ≤2000	2000 ≤2010
Herenhuis grachtenpand	€ 20.619	€ 20.619	€ 20.619	€ 20.619	€ 20.619	€ 23.056	€ 23.056	€ 23.056	€ 24.743	€ 24.743	€ 24.743
Boerderij/tuinderij	€ 24.368	€ 24.368	€ 24.368	€ 24.368	€ 24.368	€ 26.992	€ 28.867	€ 28.867	€ 32.241	€ 32.241	€ 32.241
Vrijstaand/bungalows	€ 24.368	€ 24.368	€ 24.368	€ 24.368	€ 24.368	€ 26.992	€ 28.867	€ 28.867	€ 32.241	€ 32.241	€ 32.241
Twee onder een kap	€ 20.619	€ 20.619	€ 20.619	€ 20.619	€ 20.619	€ 23.056	€ 23.056	€ 23.056	€ 24.743	€ 24.743	€ 24.743
Rijtjeshuizen/eengezins	€ 19.120	€ 19.120	€ 19.120	€ 19.120	€ 16.308	€ 19.869	€ 19.869	€ 19.869	€ 21.369	€ 21.369	€ 21.369
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 11.059	€ 11.059	€ 11.059	€ 11.059	€ 12.371	€ 13.309	€ 13.121	€ 13.121	€ 13.871	€ 13.871	€ 13.871
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 13.496	€ 13.496	€ 13.496	€ 13.496	€ 13.496	€ 15.371	€ 12.746	€ 12.746	€ 14.808	€ 14.808	€ 14.808
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 12.559	€ 12.559	€ 12.559	€ 12.559	€ 12.559	€ 14.433	€ 13.121	€ 13.121	€ 15.371	€ 15.371	€ 15.371
Etagewoning/maisonnette	€ 16.495	€ 16.495	€ 16.495	€ 16.495	€ 16.495	€ 16.495	€ 14.996	€ 14.996	€ 15.746	€ 15.746	€ 15.746
Etage/flats grachtenpand	€ 11.059	€ 11.059	€ 11.059	€ 11.059	€ 12.371	€ 13.309	€ 13.121	€ 13.121	€ 13.871	€ 13.871	€ 13.871
Studentenwoning/flat	€ 11.059	€ 11.059	€ 11.059	€ 11.059	€ 12.371	€ 13.309	€ 13.121	€ 13.121	€ 13.871	€ 13.871	€ 13.871
Divers	€ 19.120	€ 19.120	€ 19.120	€ 19.120	€ 16.308	€ 19.869	€ 19.869	€ 19.869	€ 21.369	€ 21.369	€ 21.369
Onbekend	€ 19.120	€ 19.120	€ 19.120	€ 19.120	€ 16.308	€ 19.869	€ 19.869	€ 19.869	€ 21.369	€ 21.369	€ 21.369
Minimaal	Voor 1800	1800 ≤1900	1900 ≤1920	1920 ≤1940	1940 ≤1960	1960 ≤1970	1970 ≤1980	1980 ≤1990	1990 ≤1995	1995 ≤2000	2000 ≤2010
Herenhuis grachtenpand	€ 11.456	€ 11.456	€ 11.456	€ 11.456	€ 11.456	€ 12.810	€ 12.810	€ 12.810	€ 13.747	€ 13.747	€ 13.747
Boerderij/tuinderij	€ 13.539	€ 13.539	€ 13.539	€ 13.539	€ 13.539	€ 14.997	€ 16.039	€ 16.039	€ 17.913	€ 17.913	€ 17.913
Vrijstaand/bungalows	€ 13.539	€ 13.539	€ 13.539	€ 13.539	€ 13.539	€ 14.997	€ 16.039	€ 16.039	€ 17.913	€ 17.913	€ 17.913
Twee onder een kap	€ 11.456	€ 11.456	€ 11.456	€ 11.456	€ 11.456	€ 12.810	€ 12.810	€ 12.810	€ 13.747	€ 13.747	€ 13.747
Rijtjeshuizen/eengezins	€ 10.623	€ 10.623	€ 10.623	€ 10.623	€ 9.061	€ 11.040	€ 11.040	€ 11.040	€ 11.873	€ 11.873	€ 11.873
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.874	€ 7.394	€ 7.290	€ 7.290	€ 7.707	€ 7.707	€ 7.707
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 7.499	€ 7.499	€ 7.499	€ 7.499	€ 7.499	€ 8.540	€ 7.082	€ 7.082	€ 8.228	€ 8.228	€ 8.228
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 6.978	€ 6.978	€ 6.978	€ 6.978	€ 6.978	€ 8.019	€ 7.290	€ 7.290	€ 8.540	€ 8.540	€ 8.540
Etagewoning/maisonnette	€ 9.165	€ 9.165	€ 9.165	€ 9.165	€ 9.165	€ 9.165	€ 8.332	€ 8.332	€ 8.748	€ 8.748	€ 8.748
Etage/flats grachtenpand	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.874	€ 7.394	€ 7.290	€ 7.290	€ 7.707	€ 7.707	€ 7.707
Studentenwoning/flat	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.145	€ 6.874	€ 7.394	€ 7.290	€ 7.290	€ 7.707	€ 7.707	€ 7.707
Divers	€ 10.623	€ 10.623	€ 10.623	€ 10.623	€ 9.061	€ 11.040	€ 11.040	€ 11.040	€ 11.873	€ 11.873	€ 11.873
Onbekend	€ 10.623	€ 10.623	€ 10.623	€ 10.623	€ 9.061	€ 11.040	€ 11.040	€ 11.040	€ 11.873	€ 11.873	€ 11.873

# Literatuurlijst

## **Agentschap NL, 2007**

Voorbeeldwoningen 2007, Bestaande bouw, bestelcode: 2KPWB0618

Sittard : Agentschap NL, 2007

[www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/brochures/2008/05/15/voorbeeldwoningen-bestaande-bouw-2007.html](http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/brochures/2008/05/15/voorbeeldwoningen-bestaande-bouw-2007.html)

## **Agentschap NL, 2008**

Energiebesparingsverkenner

[www.energiebesparingsverkenner.nl/p001.asp](http://www.energiebesparingsverkenner.nl/p001.asp)

## **Agentschap NL, 2010**

Actualisatie investeringskosten maatregelen EPA-maatwerkadvies bestaande woningbouw 2010; Bijlage 1 - Overzicht EPA-maatregelen

Utrecht : Agentschap NL, 2010

## **Agentschap NL, 2011**

Voorbeeldwoningen 2011. Bestaande bouw, Publicatienummer 2 KP WB 1034

Sittard : Agentschap NL, 2011

[www.agentschapnl.nl/content/brochure-voorbeeldwoningen-2011-bestaande-bouw](http://www.agentschapnl.nl/content/brochure-voorbeeldwoningen-2011-bestaande-bouw)

## **CBS Statline, 2012**

Statline. Geraadpleegd november 2012

<http://statline.cbs.nl>

## **CE Delft, 1993**

Grootschalige warmtelevering in de bestaande bouw

Delft : CE Delft, 1993

## **CE Delft, 2010**

Rijden en varen op gas

Delft : CE Delft, 2010

## **CE Delft, 2011**

Net voor de Toekomst, achtergrondrapportage

Zie met name bijlagen G en S

Delft : CE Delft, 2011

## **Danfoss, 2012**

Elektrische vloerverwarming. Geraadpleegd december 2013

<http://woonklimaat.danfoss.nl>

## **Dugoshop.nl, 2012**

Elektrische vloerverwarming. Geraadpleegd december 2012

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

## **ECN/PBL, 2012**

Basisbedragen in de SDE+ 2013, Eindadvies

ECN/PBL, september 2012



**ECN, 2012**

Energie Trends 2012

ECN, EnergieNederland, Netbeheer Nederland

Petten : ECN, 2012

**Eneco, 2012**

Stephan Mes, Eneco

Persoonlijke correspondentie

**Essent, 2012**

Ton Pruijsten, Erik Hollman, Essent

Persoonlijke correspondentie

**Fraunhofer, 2012**

Fraunhofer Institute: Photovoltaics Report

Freiburg, november 2012

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

**HR-Sanitair.nl, 2012**

Vloerverwarming (elektrisch). Geraadpleegd december 2012

[www.hr-sanitair.nl](http://www.hr-sanitair.nl)

**IEA, 2010**

IEA Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy

[www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv\\_roadmap-1.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap-1.pdf)

**IEA, 2011**

IEA Solar Energy Perspectives (2011)

NB: geen gratis rapport

**IF Technology, 2013**

Rob Kleinlugtenbelt, IF Technology

Persoonlijke correspondentie

**Juninger, 2011**

Learning in renewable energy technology development; Proefschrift

Utrecht : Universiteit Utrecht, 2011

**KEMA, 2010**

Kwantitatieve impact groengas op de gasinfrastructuur

Arnhem : KEMA, 2010

**Nuon, 2012**

Jeroen Slot, Nuon

Persoonlijke correspondentie

**Overdiep, 2012**

Hans Overdiep, GasTerra

Persoonlijke correspondentie

**PBL, 2012**

Folkert R.J.M. en R.A. van den Wijngaart

Vesta Ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving

Data en methoden

Den Haag : Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2012





**PRC Kostenmanagement, 2010**

EPA-maatregelen; Actualisatie Investeringskosten 2010  
Oosterbeek : PRC Kostenmanagement, 2010

**Quickheat-floor.nl, 2012**

Quickheat-floor. Geraadpleegd december 2012  
[www.quickheat-floor.nl](http://www.quickheat-floor.nl)

**SEOR, 2011**

Loonontwikkeling bij de overheid  
Rotterdam : SEOR, 2011

**Sinke, 2012**

Prepare(d) for Impact: PV Cost Reduction and Beyond  
Green 2012; 2(4): p.127-134

**SunShot, 2012**

SunShot Vision study  
US DOE, februari 2012  
[www1.eere.energy.gov/solar/sunshot/vision\\_study.html](http://www1.eere.energy.gov/solar/sunshot/vision_study.html)

**Wagener, 2012**

Peter Wagener, DHPA  
Persoonlijke correspondentie

**Zonnestroom, 2012**

Update inventarisatie PV markt Nederland status april 2012  
Stichting Monitoring Zonnestroom  
Utrecht : Zonnestroom, 2012

