



Businesscase Bottendaal: all electric-, LT- en HT-warmtenet

Totale kosten en opbrengsten voor
de stakeholders



Committed to the Environment

Businesscase Bottendaal: all electric-, LT- en HT- warmtenet

Totale kosten en opbrengsten voor de stakeholders

Dit rapport is geschreven door:
Katja Kruit, Jaime Rozema, Benno Schepers

Delft, CE Delft, oktober 2019

Gemeenten / Woonwijken / Woningen / Energievoorziening / Warmte / Elektriciteit / Kosten / Baten

Publicatienummer: 19.3K87.135

Opdrachtgever: Gemeente Nijmegen

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Benno Schepers](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
	Inleiding	6
1	Wijkomschrijving	7
	1.1 Resultaten warmteanalyse CE Delft 2016	7
	1.2 Woningbezit	8
2	Woningcategorieën	9
	2.1 Rijwoningen gebouwd vóór 1920 (95 m ²)	9
	2.2 Rijwoningen gebouwd vóór 1920 (220 m ²)	11
	2.3 Rijwoningen gebouwd na 2005	12
	2.4 Benedenwoning gebouwd vóór 1920	13
	2.5 Bovenwoning gebouwd vóór 1920	14
	2.6 Naoorlogse appartementen	15
	2.7 Appartement jaren '50	16
3	Benodigde aanpassingen	17
	3.1 Aanpassingen voor alle opties	17
	3.2 Aanpassingen voor all electric	18
	3.3 Aanpassingen voor HT-warmtenet	19
	3.4 Aanpassingen voor LT-warmtenet	20
4	Businesscase en onrendabele top	22
	4.1 Afbakening businesscase	22
	4.2 Belangrijkste inputwaarden	23
	4.3 Uitkomst businesscase all electric	23
	4.4 Uitkomst businesscase HT-warmtenet	24
	4.5 Uitkomst businesscase LT-warmtenet	25
	4.6 Gevoeligheidsanalyse	26
5	Referenties	28
A	Toelichting berekeningen	30
	A.1 Opzet businesscase	30
	A.2 Oppervlakten woning	30
	A.3 Energiegebruik woningen	31
	A.4 Maatregelen per woningcategorie	31
	A.5 Kosten aansluiting	33
	A.6 Kosten isolatie	34
	A.7 Kosten installaties en onderhoud	35
	A.8 Leveringskosten energie	36



Samenvatting

De gemeente Nijmegen heeft de ambitie om in 2045 aardgasvrij te zijn. Om dat te bereiken moeten bestaande wijken en buurten van het aardgas af. De buurt Bottendaal is door de gemeente uitgekozen als één van de eerste buurten die aardgasvrij wordt.

In dit rapport zijn businesscases opgesteld voor een all electric-oplossing, LT- en HT-warmtenet voor zeven woningtypen en de infrastructuur in Bottendaal. Deze businesscases zijn opgesteld door enerzijds te kijken naar de benodigde fysieke maatregelen die nodig zijn om te komen tot gelijkwaardige varianten, en anderzijds te kijken naar de kosten die gekoppeld zijn aan deze maatregelen. In de onderstaande tabel staan voor de drie warmtevarianten de benodigde maatregelen benoemd (Tabel 1). Bij alle drie de varianten is uitgegaan van isolatieniveau Label B.

Tabel 1 - Benodigde maatregelen voor de drie varianten

Categorie	All electric	HT-warmtenet	LT-warmtenet
Installaties	– Elektrisch koken – Vergroten elektriciteits-aansluiting – Verwijderen gasaan-sluiting – Warmtepomp – Vervangen radiatoren	– Elektrisch koken – Vergroten elektriciteits-aansluiting – Verwijderen gasaan-sluiting – Plaatsen afleverset – Aansluiting op warmtenet	– Elektrisch koken – Vergroten elektriciteits-aansluiting – Verwijderen gasaan-sluiting – Water-water warmte-pomp – Vervangen radiatoren – Aansluiting op warmtenet – Plaatsen afleverset
Isolatie	Isolatie naar Label B: – Vloerisolatie – Gevelisolatie – Glasisolatie – Dakisolatie	Isolatie naar Label B: – Vloerisolatie – Gevelisolatie – Glasisolatie – Dakisolatie	Isolatie naar Label B: – Vloerisolatie – Gevelisolatie – Glasisolatie – Dakisolatie
Infrastructuur	– Amovering gasnet – Verzwaring LS-net, middenspanningsruimte en -leidingen en onderstations	– Amovering gasnet – Aanleg warmtenet – Warmte-overdrachtsstation met (tijdelijke) gasketels	– Amovering gasnet – Aanleg warmtenet – Warmte-overdrachtsstation met (tijdelijke) gasketels – Verzwaring LS-net, middenspanningsruimte en -leidingen en onderstations

Vervolgens zijn de investeringen en de maandlasten bepaald en ten slotte is voor de netbeheerder en een warmtebedrijf de onrendabele top berekend vergeleken met de referentiesituatie op aardgas, zie Tabel 2 en Tabel 3.

Tabel 2 - Vergelijking van de maandelijkse kosten voor woningen voor de drie varianten.

Variant	All electric		HT-warmtenet		LT-warmtenet	
Categorie	Kapitaal-lasten	Periodieke uitgaven (€/maand)	Kapitaal-lasten	Periodieke uitgaven (€/maand)	Kapitaal-lasten	Periodieke uitgaven (€/maand)
Rijwoning jaren '20 (95 m ²)	163 €	67 €	112 €	100 €	175 €	139 €
Rijwoning jaren '20 (220 m ²)	212 €	83 €	161 €	126 €	224 €	172 €
Rijwoning na 2005	86 €	64 €	35 €	95 €	98 €	133 €
Benedenwoning jaren '20	139 €	66 €	89 €	98 €	152 €	137 €
Bovenwoning jaren '20	208 €	62 €	157 €	92 €	220 €	129 €
Appartement na oorlogs	99 €	62 €	57 €	92 €	110 €	132 €
Appartement jaren '50	120 €	77 €	98 €	117 €	149 €	161 €

In alle gevallen is er sprake van grote investeringen in de woning omdat een standaard isolatieniveau van Label B wordt gehanteerd. De totale investering is het laagst bij het HT-warmtenet omdat daar geen warmtepomp hoeft te worden aangeschaft. De periodieke uitgaven zijn het hoogst bij het LT-warmtenet omdat daar voor energie, vastrecht en onderhoud betaald moet worden voor zowel elektriciteit als warmte.

Tabel 3 - Vergelijking van de investeringen en netto contante waarde voor de infrastructuurstakeholders voor de drie varianten.

Variant	All electric			HT-warmtenet		LT-warmtenet
Stakeholder	Investeringen	Netto contante waarde	Investeringen	Netto contante waarde	Investeringen	Netto contante waarde
Netbeheerder gehele buurt	6,6 mln €	- 3,0 mln €	2,2 mln €	1,2 mln €	4,8 mln €	- 1,2 mln €
Netbeheerder per woning	3.087 €	- 1.395 €	1.050 €	583 €	2.248 €	- 581 €
Warmtebedrijf gehele buurt	0 €	0 €	25,3 mln €	- 4,6 mln €	24,7 mln €	0,7 mln €
Warmtebedrijf per woning	0 €	0 €	11.872 €	- 2.163 €	11.602 €	317 €

Voor de netbeheerder is de netto contante waarde negatief bij de all-electric- en LT-warmtenet-variant omdat daar het elektriciteitsnet moet worden verzwakt. Dit is niet het geval bij het HT-warmtenet.

Voor het warmtebedrijf zijn de investeringen voor een HT-warmtenet en een LT-warmtenet vergelijkbaar. Echter, bij een HT-warmtenet is de netto contante waarde negatief en bij het LT-warmtenet positief. Dit komt door inkomsten uit de warmtelevering en het feit dat geen inkoopkosten zijn gerekend voor de LT-(rest)warmte. Afhankelijk van de bronnen zullen deze wel kosten met zich mee kunnen brengen.

De opgestelde businesscases geven een eerste inzicht in de financiële consequenties van de warmtetransitie in Bottendaal voor een beperkte set van stakeholders. Dit inzicht is opgesteld binnen de huidige context, met afgestemde aannames en afbakeningen. De uitkomsten van de businesscases en de conclusies die daarmee getrokken kunnen worden zijn zeer afhankelijk van de aannames die gedaan zijn, bijvoorbeeld voor de energieprijzen, kosten van maatregelen en discontovoet. Daarnaast hebben de verschillende opties nog meer voor- en nadelen van niet-financiële aard, zoals het ruimtegebruik en comfort. Om te komen tot een definitieve keuze voor een alternatief warmtesysteem, dient aanvullend gekeken worden wat de effecten van de aannames zijn en moet aan de bewoners en bedrijven in

Bottendaal inzichtelijk worden gemaakt hoe de niet-financiële aspecten worden meegewogen bij een keuze voor een warmtesysteem.



Inleiding

De gemeente Nijmegen heeft de ambitie om in 2045 aardgasvrij te zijn. Om dat te bereiken werkt de gemeente Nijmegen samen met woningcorporaties, de netbeheerder, warmte-bedrijven en bewoners om bestaande woonwijken van het gas af te krijgen. De wijk Bottendaal is, samen met Hengstdal en Zwanenveld, één van de eerste wijken die aardgasvrij wordt.

De gemeente Nijmegen heeft CE Delft gevraagd een businesscase op te stellen voor een all electric-oplossing, LT- en HT-warmtenet voor zeven woningtypen en de infrastructuur in Bottendaal. In deze studie zijn de investeringen en de jaarlasten berekend en toegelicht voor deze maatregelen en is ten slotte de onrendabele top berekend.

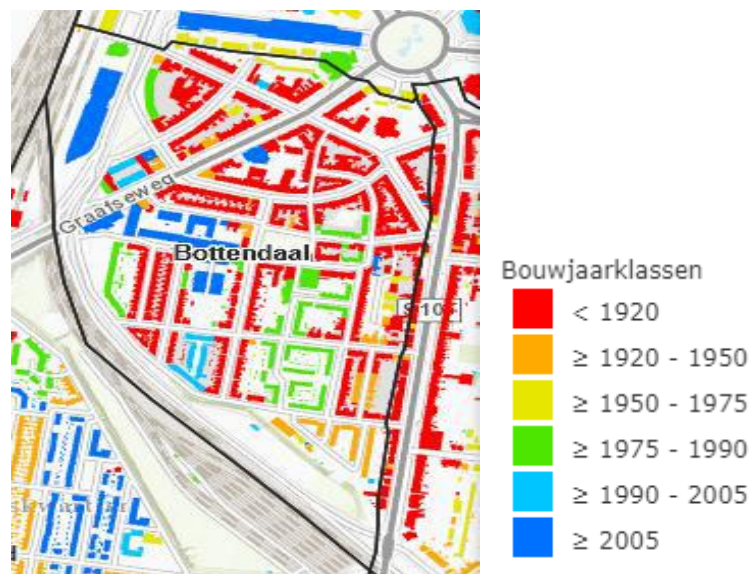
In Hoofdstuk 2 zijn de woningtypen toegelicht. In Hoofdstuk 3 is uitgelegd welke aanpassingen nodig zijn. Tot slot wordt in Hoofdstuk 4 de berekening toegelicht.

In de praktijk kunnen de kosten afwijken van wat we hier hebben berekend. De kosten hangen af van de specifieke situatie, zoals de grootte van de woning, of er ruimte is voor het opstellen van de warmtepomp, het werkelijke energieverbruik en de isolatiemaatregelen die mogelijk zijn in de woning. Met deze berekeningen proberen wij toch inzicht te geven in welke veranderingen nodig zijn voor de transitie naar aardgasvrij verwarmen en wat voor kosten dit met zich meebrengt.

1 Wijkomschrijving

De wijk Bottendaal ligt ten oosten de spoorlijn Nijmegen-Venlo en beslaat ruwweg de woningen tussen de Schaeck Mathonsingel en de Sint Annastraat. Bottendaal is een grotendeels 19de-eeuwse wijk met een hoge bevolkingsdichtheid en vaak kleine tuinen. De meeste woningen zijn gebouwd vóór 1920, maar in de hoeken van de buurt en rondom basisschool de Driemaster staan ook enige woningen die tussen 1950 en 1990 zijn gebouwd. In en rondom De Ruyterstraat zijn woningen gebouwd in de periode na 2005. Een groot deel van de wijk is beschermd stadsgezicht.

Figuur 1 - Bouwperiode van de gebouwen in de buurt Bottendaal



Bron: (Over Morgen, 2018).

1.1 Resultaten warmteanalyse CE Delft 2016

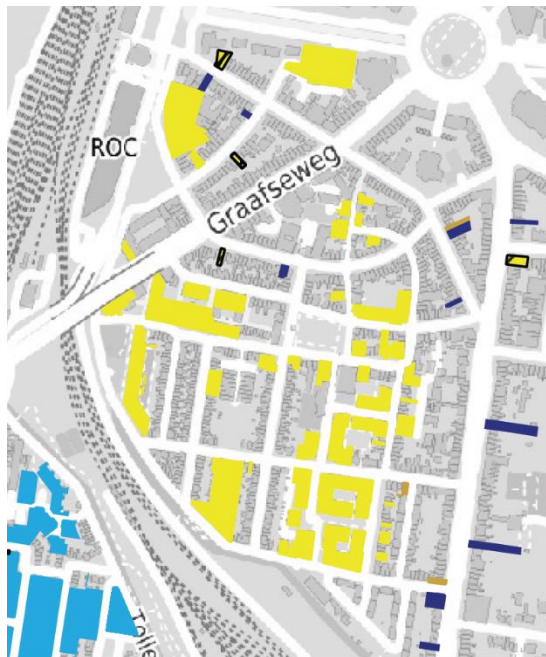
In de warmteanalyse (CE Delft, 2016) die CE Delft in 2016 heeft gedaan voor de gemeente Nijmegen heeft een hogetemperatuurwarmtenet voor Bottendaal als buurt gemiddeld de laagste kosten in de gehele keten (productie, transport, besparing, gebruik). Echter, er is onvoldoende restwarmte beschikbaar om alle wijken in Nijmegen waarvoor dit het goedkoopst zou zijn, van warmte te voorzien. Na restwarmte is groengas de goedkoopste warmtevoorziening, maar ook daarvan is naar verwachting onvoldoende beschikbaar. Gezien de ouderdom van de woningen is er een grote isolatieopgave, maar is niet alles mogelijk in verband met beschermd stadsgezicht. Daarom is een WKO-net (warmte koude opslag) voor Bottendaal uit deze analyse gekomen als de goedkoopste optie.

In de praktijk is Bottendaal echter een gemengde wijk waar meerdere opties naast elkaar gebruikt zouden kunnen worden. Daarnaast is sinds de studie in 2016 meer aandacht en bekendheid gekomen voor laagtemperatuurwarmtenetten. Daarom worden in deze studie drie opties doorgerekend voor verschillende woningtypen in Bottendaal.

1.2 Woningbezit

Bottendaal heeft 34% corporatiebezit. Dat is in handen van woningcorporatie Talis, Standvast Wonen, Mooiland en SSHN. Daarnaast heeft Bottendaal 30% particuliere huurders, waaronder studenten. 36% van de bewoners zijn eigenaar van de woning.

Figuur 2 - Woningbestand woningbouwcorporaties



2 Woningcategorieën

Voor zeven woningcategorieën zijn de kosten om van het gas af te gaan berekend. De gekozen typen woningen moeten representatief zijn voor de wijk Bottendaal. De gemeente Nijmegen heeft bewoners van Bottendaal laten kiezen voor de volgende zeven categorieën:

- **Rijwoningen gebouwd vóór 1920 (95 m²):**
In de wijk Bottendaal staan veel woningen die gebouwd zijn vóór 1920 met ongeveer 100 m² aan gebruiksoppervlakte. Dit type woningen vindt men op verschillende plaatsen in de wijk, onder andere in de Piet Heinstraat, de van Heemskerckstraat en de Jan van Galenstraat. Dit zijn veelal particuliere woningen.
- **Rijwoningen gebouwd vóór 1920 (220 m²):**
In de wijk Bottendaal staan ook veel woningen die gebouwd zijn vóór 1920 met een groter oppervlak (±220 m²). Dit type woningen vindt men onder andere in de St. Stephanusstraat en Stijn Buysstraat. Deze woningen zijn veelal een beschermd stadsgezicht.
- **Bovenwoning gebouwd vóór 1920:**
Aan de Schoolstraat, Stijn Buysstraat, Burghardt van Den Berghstraat, Leemptstraat staan boven- en benedenwoningen gebouwd vóór 1920. De bovenwoningen hebben een gebruiksoppervlakte van ±155 m². Deze woningen zijn veelal een beschermd stadsgezicht.
- **Benedenwoning gebouwd vóór 1920:**
De benedenwoningen hebben een gebruiksoppervlakte van ±80 m².
- **Rijwoningen gebouwd na 2005:**
Recenter gebouwde rijwoningen staan in de Castellastraat. Deze woningen zijn over het algemeen goed geïsoleerd en hebben een gebruiksoppervlakte van ±150 m².
- **Naoorlogse appartementen:**
In de periode kort na de Tweede Wereldoorlog zijn in de Semmelinkstraat, Van der Kempstraat, Ingenieur Wevestraat en Doctor Jan Berendstraat appartementen gebouwd. Deze zijn in 1991 gerenoveerd en beschikken daarom over een goede isolatie.
- **Appartement uit de jaren '50:**
In de wijk Bottendaal staan ook appartementen uit de jaren '50. Deze staan in de Van Schaeck Mathonsingel en aan het Keizer Karelplein.

2.1 Rijwoningen gebouwd vóór 1920 (95 m²)

In de wijk Bottendaal staan veel woningen die gebouwd zijn vóór 1920. Deze woningen hebben geen spouwmuur en hebben een laag energielabel. Woningeigenaren hebben mogelijk dakisolatie aangebracht en enkelglas geheel of gedeeltelijk laten vervangen door dubbelglas. Wij gaan echter uit van een standaard woning zoals deze hieronder is beschreven.

Figuur 3 - Woningen Piet Heinstraat



In praktijk zal de grootte van deze woningen, het isolatieniveau en overige kenmerken verschillen. Om een kosteninschatting te kunnen maken, is het echter noodzakelijk bepaalde eigenschappen vast te leggen. In de kosteninschatting gaan wij daarom van de volgende kenmerken uit:

Type	RVO-type Rijwoning (t/m 1945)
Bouwjaar	Vóór 1920
Woonoppervlak	95 m ²
Huidig energielabel	F
Relevante kenmerken	Enkelsteens (geen spouw), toegankelijke kruipruimte en kelder, HR-combiketel
Overige kenmerken	Enkelglas, kleine bovenverdieping

2.2 Rijwoningen gebouwd vóór 1920 (220 m²)

In de wijk Bottendaal staan ook veel woningen die gebouwd zijn vóór 1920 met een grotere gebruiksoppervlakte. Deze woningen hebben ook geen spouwmuur, zijn vaak beschermd stadsgezicht en hebben een laag energielabel.

Figuur 4 - Woningen St. Stephanusstraat



In praktijk zal de grootte van deze woningen, het isolatieniveau en overige kenmerken verschillen. Om een kosteninschatting te kunnen maken, is het echter noodzakelijk bepaalde eigenschappen vast te leggen. In de kosteninschatting gaan wij daarom van de volgende kenmerken uit:

Type	RVO-type Rijwoning (t/m 1945)
Bouwjaar	Vóór 1920
Woonoppervlak	222 m ²
Huidig energielabel	F
Relevante kenmerken	Enkelsteens (geen spouw), beschermd stadsgezicht, toegankelijke kelder, HR-combiketel
Overige kenmerken	Enkelglas, grote bovenverdieping

2.3 Rijwoningen gebouwd na 2005

In de wijk Bottendaal staan enige woningen gebouwd na 2005. Deze woningen staan aan de Castellastraat en zijn goed geïsoleerd. De woningen hebben een gebruiksoppervlakte van rond de 150 m².

Figuur 5 - Woningen aan de Castellastraat



In praktijk verschilt de grootte van deze woningen, het isolatieniveau en overige kenmerken. Om een kosteninschatting te kunnen maken, is het echter noodzakelijk bepaalde eigenschappen vast te leggen. In de kosteninschatting gaan wij van de volgende kenmerken uit:

Type:	RVO-type Rijwoning (1992-2005)
Bouwjaar:	2007
Woonoppervlak:	150 m ²
Huidig energielabel:	A
Relevante kenmerken:	Spouw, toegankelijke kruipruimte, HR-combiketel
Overig:	HR++glas

2.4 Benedenwoning gebouwd vóór 1920

In de wijk Bottendaal staan ook boven- en benedenwoningen die gebouwd zijn vóór 1920. Deze woningen hebben geen spouwmuur, zijn vaak beschermd stadsgezicht en hebben een laag energielabel.

Figuur 6 - Woningen Schoolstraat



In praktijk zal de grootte van deze woningen, het isolatieniveau en overige kenmerken verschillen. Om een kosteninschatting te kunnen maken, is het echter noodzakelijk bepaalde eigenschappen vast te leggen. In de kosteninschatting gaan wij daarom van de volgende kenmerken uit:

Type:	RVO-type Maisonettewoning: onderste bouwlaag (t/m 1964)
Bouwjaar:	Vóór 1920
Woonoppervlak:	80 m ²
Huidig energielabel:	D
Relevante kenmerken:	Enkelsteens (geen spouw), beschermd stadsgezicht, toegankelijke kelder en kruipruimte, HR-combiketel
Overig:	Enkelglas

2.5 Bovenwoning gebouwd vóór 1920

In de wijk Bottendaal staan ook boven- en benedenwoningen die gebouwd zijn vóór 1920. Deze woningen hebben geen spouwmuur, zijn vaak beschermd stadsgezicht en hebben een laag energielabel.

Figuur 7 - Woningen Schoolstraat



In praktijk zal de grootte van deze woningen, het isolatieniveau en overige kenmerken verschillen. Om een kosteninschatting te kunnen maken, is het echter noodzakelijk bepaalde eigenschappen vast te leggen. In de kosteninschatting gaan wij daarom van de volgende kenmerken uit:

Type:	RVO-type Maisonettewoning: onder het dak ((t/m 1964)
Bouwjaar:	Vóór 1920
Woonoppervlak:	150 m ²
Huidig energielabel:	F
Relevante kenmerken:	Enkelsteens (geen spouw), beschermd stadsgezicht, toegankelijke kelder en kruipruimte, HR-combiketel
Overig:	Enkelglas

2.6 Naoorlogse appartementen

In de wijk Bottendaal staan ook naoorlogse appartementen. Deze staan in de Semmelinkstraat, Van der Kempstraat, Ingenieur Wevestraat en Doctor Jan Berendstraat. Ze zijn gebouwd in 1948 en grondig gerenoveerd in 1991. De woningoppervlakte is gelijk aan $\pm 65 \text{ m}^2$.

Figuur 8 - Woningen aan de Postweg



In praktijk verschilt de grootte van deze woningen, het isolatieniveau en overige kenmerken dus. Om een kosteninschatting te kunnen maken, is het echter noodzakelijk bepaalde eigenschappen vast te leggen. In de kosteninschatting gaan wij van de volgende kenmerken uit:

Type:	RVO-type Portiekwoning (1946-1964)
Bouwjaar:	1948 (gerenoveerd 1991)
Woonoppervlak:	65 m ²
Huidig energielabel:	C
Relevante kenmerken:	Spouwmuur, toegankelijke kruipruimte, HR-combiketel (verketeld)
Overig:	Dubbelglas

2.7 Appartement jaren '50

Aan de Van Schaek Mathonsingel en het Keizer Karelplein staan appartementencomplexen uit de jaren '50. Dit zijn ruime appartementen met een woningoppervlakte van $\pm 100 \text{ m}^2$.

Figuur 9 - Appartementen aan de Van Schaek Mathonsingel



In praktijk verschilt de grootte van deze woningen, het isolatieniveau en overige kenmerken dus. Om een kosteninschatting te kunnen maken, is het echter noodzakelijk bepaalde eigenschappen vast te leggen. In de kosteninschatting gaan wij van de volgende kenmerken uit:

Type:	RVO-type Portiekwoning
Bouwjaar:	1958
Woonoppervlak:	100 m ²
Huidig energielabel:	D
Relevante kenmerken:	Spouwmuur, toegankelijke kelder, geen tuin, collectieve HR-combiketel (blokverwarming)
Overig:	Dubbelglas

3 Benodigde aanpassingen

In deze businesscase worden de kosten voor een volledig elektrische (all electric) warmtevoorziening, een hogetemperatuurwarmtenet en een lagetemperatuurwarmtenet berekend. Het is nodig een aantal aanpassingen aan de woning en infrastructuur te doen om de woning gasloos te maken. In dit hoofdstuk zijn de technieken uitgelegd en de benodigde aanpassingen beschreven.

In Bijlage A zijn de woningkenmerken, aanpassingen en kosten in detail toegelicht.

3.1 Aanpassingen voor alle opties

In alle gevallen moeten er bepaalde aanpassingen worden gedaan om naar een aardgasvrije warmtevoorziening om te schakelen.

3.1.1 Installaties

Als er zonder aardgas verwarmd wordt, moet ook elektrisch gekookt gaan worden en de aansluitingen voor elektriciteit en gas worden aangepast.

- **Elektrisch koken**

Om elektrisch te koken is in de berekeningen uitgegaan van een inductiekookplaat. Er zijn verschillende alternatieven om elektrisch te koken: inductie, elektrisch, keramisch en halogeen. Een elektrische kookplaat is in de aanschaf goedkoper dan een inductiekookplaat, maar een inductiekookplaat is energiezuiniger. Daarnaast koelt een inductiekookplaat sneller af na gebruik: dat is veiliger. Naast de installatie van de kookplaat, moet mogelijk ook een extra groep in de meterkast gemaakt worden. Bewoners moeten mogelijk een nieuwe pannenset aanschaffen als hun huidige pannenset niet geschikt is voor inductie.

- **Vergroten elektriciteitsaansluiting**

De warmtepomp, en met name een inductiekookplaat, zorgt voor een groter elektriciteitsverbruik op bepaalde momenten van de dag. Daarom moet de elektriciteitsaansluiting voldoende capaciteit hebben (drie fasen, 3 x 25 A).

In de meeste woningen is dit al het geval. In een klein deel van de woningen is nog een 1-fase-aansluiting aanwezig. Daar moet de netbeheerder een 3-fasen-aansluiting aanbrengen.

- **Verwijderen gasaansluiting**

De gasaansluiting moet verwijderd worden. Dit doet de regionale netbeheerder.

3.1.2 Isolatie

Om het energieverbruik terug te brengen en de energierekening te laten dalen is het nodig om de woning te isoleren. De gemeente streeft daarbij naar een isolatieniveau van Label B. Bij een warmtevoorziening op lage temperatuur (all electric en lagetemperatuur warmtenet) is het daarnaast voor een comfortabel binnenklimaat noodzakelijk te isoleren tot ten minste Label B. Het vermogen van de warmtepomp, in combinatie met de lagetemperatuur-radiatoren, is namelijk lager dan dat van een gasgestookte CV-installatie.

Daarvoor zijn de volgende opties:

- **Vloerisolatie**

Als de woning een begaanbare kruipruimte heeft, kan de vloer van de begane grond aan

de onderzijde geïsoleerd worden. Oudere woningen hebben niet altijd een begaanbare kruipruimte. Dan moet de vloer aan de bovenzijde geïsoleerd worden. Dit is veel ingrijpender. Deuren moeten ingekort worden, het aanrecht en eventueel het toilet verhoogd en de vloer moet opnieuw gelegd worden.

- **Gevelisolatie**

Indien de woning een voldoende brede spouw heeft, dan zou de spouw gevuld worden met isolatiemateriaal. Indien de woning geen spouw heeft kan de gevel aan de binnen- of buitenzijde geïsoleerd worden. Indien de woning een karakteristieke uitstraling heeft, of beschermd stadsgezicht is, heeft het de voorkeur de gevel aan de binnenzijde te isoleren. Daarmee verliest de woning ruimte, maar de karakteristieke uitstraling van de woning blijft behouden.

- **Glasisolatie**

Om glasoppervlakken te isoleren zijn er verschillende opties. Enkel- of dubbelglas kan vervangen worden door HR++dubbelglas of zelfs triple (driedubbel) glas. Voor monumenten en woningen die onderdeel zijn van beschermd stadsgezicht, zijn deze opties niet zondermeer toegestaan en zijn monumentenglas of voorzetramen een alternatief.

- **Dakisolatie**

Schuine daken worden veelal aan de binnenzijde geïsoleerd. Voor platte daken zijn er drie methoden om te isoleren: koud plat dak, warm plat dak en omgekeerd plat dak. Welke van deze drie opties het meest geschikt is, verschilt per woning.

Als er goed wordt geïsoleerd, is het ook nodig om voor betere ventilatie in huis te zorgen. Dat kan met mechanische ventilatie.

Het energiegebruik na isolatie is ingeschat op basis van praktijkgegevens van Liander. Als er verder geïsoleerd zou worden (tot Label A) zouden de investeringen hoger zijn, maar zou er ook meer bespaard worden op de energierekening. Deze besparing is echter klein in verhouding tot de kosten.

3.2 Aanpassingen voor all electric

In de all electric-variant gaan we uit van verwarming met een elektrische luchtwarmtepomp. De aflevert temperatuur van ruimteverwarming is circa 55°C. Daarvoor is isolatie naar ongeveer Label B nodig. Omdat de warmtepomp een grote elektrische capaciteit vraagt, is ook verzwaring van het elektriciteitsnet nodig.

3.2.1 Installaties

Nederlandse huishoudens gebruiken gas om hun woning te verwarmen en om te koken. Om elektrisch te verwarmen en te koken moeten naast de installatie van een warmtepomp en inductiekookplaat ook de radiatoren vervangen worden:

- **Installeren warmtepomp en eventueel elektrische boiler**

Om een woning elektrisch te verwarmen is in de berekeningen uitgegaan van een warmtepomp, omdat dit de meest energiezuinige optie is. Alternatieven zijn elektrische weerstandsverwarming of infraroodpanelen. Een warmtepomp produceert warm water met behulp van elektriciteit en omgevingswarmte uit bijvoorbeeld de lucht (lucht-warmtepomp) of de grond (bodemwarmtepomp). Een bodemwarmtepomp kan alleen toegepast worden als het perceel van de woning voldoende groot is. Daarom is in de berekeningen uitgegaan van een luchtwarmtepomp. Een warmtepomp heeft ongeveer het formaat van een koelkast en maakt geluid. Daarom is de opstelling van de warmtepomp een aandachtspunt. De warmtepomp kan voor warmtapwater zorgen (combi-warmtepomp), maar hiervoor kan ook een elektrische boiler geïnstalleerd worden.

In beide gevallen moet er ook een warmwatervat (buffervat) aanwezig zijn van circa 150-200 liter. In de berekening wordt uitgegaan van een combiwarmtepomp.

- **Vervangen radiatoren**

Wanneer een warmtepomp geïnstalleerd wordt, moeten ook de radiatoren vervangen worden. Een warmtepomp verwarmt water meestal tussen de 35 en 55°C.

De aanvoertemperatuur van een HR-ketel is hoger dan 60°C. De huidige radiatoren zijn niet geschikt, omdat het oppervlakte te klein is om bij een temperatuur tussen 35 en 55°C voldoende warmte af te geven. Daarom moeten de huidige radiatoren vervangen worden door radiatoren met een groter afgifteoppervlak.

3.2.2 Infrastructuur

Om de infrastructuur aan te passen aan een all electric-situatie is een aantal ingrepen nodig:

- **Amovering of vervanging en afschrijving gasnet**

Voor een all electric-oplossing moet het gasnet worden verwijderd (amovering).

Er wordt van uitgegaan dat dit in één keer gebeurt. Voor de gasreferentie is aangenomen dat de gasaansluitingen en het gehele gasnet in Bottendaal in één keer vervangen wordt. Afhankelijk van de status van het gasnet in Bottendaal zal een deel van het gasnet, aangelegd vóór 1975, moeten worden vervangen bij werkzaamheden in de ondergrond (grondroeringsgevoelige leidingen). Waar het gasnet daartegen relatief nieuw is, zal een vervroegde afschrijving moeten worden gedaan. Deze is niet meegenomen in deze businesscase.

- **Verzwarend LS-net**

Het laagspanningsnet moet worden verzwakt om de extra capaciteitsvraag van warmtepompen aan te kunnen. De benodigde verzwaring is berekend op basis van een extra benodigde capaciteit van 2 kW per woning (inclusief gelijktijdigheid)¹.

- **Verzwarend middenspanningsruimte (MSR)**

Als de gehele buurt all electric wordt, moet waarschijnlijk ook de middenspanningsruimte worden verzwakt. Dit kan zowel binnen de buurt zijn als daarbuiten, afhankelijk van de configuratie van het net. In de businesscase is dit niet additioneel meegenomen omdat hier geen algemene kentallen voor zijn.

- **Verzwarend middenspanningsringen (MS-leidingen)**

Bij extra belasting van de middenspanningsruimte is het ook mogelijk dat de middenspanningsringen (MS-leidingen) moeten worden verzwakt. Dit is zeer afhankelijk van het ontwerp van het net en de belasting in de buurt en de omringende buurten. Daarom is dit hier niet meegenomen in de businesscase.

- **Verzwarend onderstations (MS → HS)**

Net als de MS-leidingen zullen ook mogelijk de onderstations moeten worden verzwakt. Dit is hier niet meegenomen.

3.3 Aanpassingen voor HT-warmtenet

In de HT-warmtenetvariant gaan we uit van een warmtenet met een temperatuur van circa 70°C. Hoewel er voor comfortabele warmtelevering uit technische overwegingen geen extra isolatie vereist is, gaan we ervan uit dat in alle opties geïsoleerd wordt naar Label B om de energiebehoefte en energierekening te reduceren.

¹ Liander gaat uit van 1,5 kW maar hier is 2 kW genomen om ruimer in te schatten.

3.3.1 Installaties

Voor een HT-warmtenet moet in de woningen het volgende worden aangepast:

- **Plaatsen afleverset**
Een afleverset is een warmtewisselaar die de warmte uit het warmtenet overbrengt op het binnensysteem. Meestal komt de afleverset op de plek van de CV-ketel of in de meterkast. Als de CV-ketel op zolder staat, betekent het dat er leidingen van de entree naar boven moeten worden getrokken.
- **Aansluiting op het warmtenet**
De aansluiting op het warmtenet in de straat gebeurt via een leiding door de stoep en voortuin naar de entree. In sommige gevallen kan de leiding ook via de buitenkant van de woning naar boven getrokken worden om gemakkelijker op zolder een afleverset te plaatsen.

3.3.2 Infrastructuur

De benodigde veranderingen in de infrastructuur zijn:

- **Aanleg warmtenet**
Het warmtenet (distributienet) bestaat uit hoofdleidingen en zijleidingen in de straat. De benodigde warmtevraag (capaciteit) bepaalt de dikte van de leidingen. In het geval van een HT-warmtenet zijn de leidingen goed geïsoleerd.
- **Warmteoverdrachtsstation met (tijdelijke) gasketels**
De warmte voor het distributienet wordt aan de wijk geleverd via een warmteoverdrachtsstation. In het geval van warmte die elders geproduceerd wordt, zoals restwarmte van de afvalcentrale, is het warmteoverdrachtsstation een gebouw met een warmtewisselaar. Als de warmte in de wijk wordt opgewekt, staat er ook een warmtecentrale in de vorm van (tijdelijke) gasketels. In deze berekening gaan we uit van dat laatste.
- **Amovering gasnet (gelijk aan all electric)**

We gaan ervan uit dat het elektriciteitsnet niet hoeft te worden verzwakt om koken op inductie mogelijk te maken.

3.4 Aanpassingen voor LT-warmtenet

Voor een LT-warmtenet wordt hier uitgegaan van een warmtenet van 30°C. In de woning wordt de warmte opgewaardeerd naar circa 55°C elektrische (water-water) warmtepomp. Daarvoor is, net als bij all electric, isolatie naar ongeveer Label B nodig. Omdat de warmtepomp een grote elektrische capaciteit vraagt, is ook verzwaring van het elektriciteitsnet nodig. Deze is echter minder dan de all electric-variant. Hiermee is deze variant in feite een combinatie van de all electric- en HT-warmtenetvariant.

3.4.1 Installaties

- Installeren water-waterwarmtepomp: In huis moet een water-waterwarmtepomp geplaatst worden om de warmte uit het warmtenet op te waarderen naar 55°C voor ruimteverwarming en 70°C voor warmtapwater. Voor het warmtapwater is ook een buffervat nodig.
- Vervangen radiatoren (gelijk aan all electric)
- Aansluiting op het warmtenet (gelijk aan HT-warmtenet)
- Plaatsen afleverset (gelijk aan HT-warmtenet)

3.4.2 Infrastructuur

De benodigde veranderingen in de infrastructuur zijn:

- **Aanleg warmtenet**
Het LT-warmtenet is in vergelijking met het HT-warmtenet iets goedkoper omdat de temperatuur lager is en er dus geen geïsoleerde leidingen geplaatst hoeven worden.
- **Warmteoverdrachtsstation met (tijdelijke) gasketels**
De warmte voor het distributienet wordt aan de wijk geleverd via een warmte-overdrachtsstation. We gaan ervan uit dat de warmte LT-restwarmte is van bijvoorbeeld koelprocessen of de retourleiding van het stadswarmtenet. We gaan ervan uit dat deze warmte kosteloos beschikbaar wordt gesteld, maar dit is afhankelijk van de gebruikte bronnen en onderhandelingen. In de wijk wordt uitgegaan van gasgestookte piekketels die 30% van de warmtevraag bedienen, met name voor de winterpiek.
- **Amovering gasnet (gelijk aan all electric)**
- **Verzwarend elektriciteitsnet**
Het elektriciteitsnet moet verzwakt worden ten gevolge van de water/water-warmtepompen. Hier is uitgegaan van een extra capaciteitsvraag van 1,2 kW per woning².

Tekstkader 1 - Scope van de businesscase

In deze doorrekening wordt geprobeerd een maatschappelijke businesscase te benaderen, waarin alle kosten en opbrengsten voor de verschillende stakeholders in meegenomen worden.

De businesscase voor de infrastructuur wordt uitgewerkt voor de netbeheerder (elektriciteit/gas) en voor een warmtebedrijf. De businesscase van de energieleverancier voor gas en elektriciteit is niet meegenomen.

² O.b.v. warmtepomp van 8 kW, een COP tijdens de winterpiek van 3,4, gelijktijdigheid van 53%.



4 Businesscase en onrendabele top

In de businesscase worden de kosten en inkomsten van een all electric-oplossing, HT-warmtenet en LT-warmtenet vergeleken met de referentiesituatie op aardgas.

4.1 Afbakening businesscase

De elementen die worden meegenomen in de businesscase zijn gegeven in Tabel 4. De businesscase is opgesteld voor drie stakeholders: woningen, netbeheerder en warmtebedrijf. De businesscase voor woningen is in principe gemaakt voor een eigenaar/bewoner. Bij corporatiebezit of particuliere verhuur zouden de investeringen door de woningcorporatie respectievelijk verhuurder gedaan moeten worden. Subsidies zijn niet meegenomen in deze businesscase.

Tabel 4 - Elementen meegenomen in de businesscase voor woningen, netbeheerder en warmtebedrijf

	Woningen	Netbeheerder	Warmtebedrijf
Eenmalige posten	– Gebouwmaatregelen – Gebouwinstallaties – Energieaansluiting – Aansluitbijdrage/BAK (bij warmtenet)	– Vernieuwen gasnet en -aansluiting (bij gasreferentie) – Verwijderen gasnet – Verzwaren netwerk (bij all electric) – Onderhoud	– Aansluitkosten gebouwen – Aanleg warmtenet
Periodieke posten	– Onderhoudskosten – Vastrecht – Leveringskosten energie – Energieaansluiting	– Onderhoudskosten aansluiting en netwerk – Opbrengsten uit aansluitkosten klanten	– Onderhoudskosten aansluiting en netwerk – Kosten inkoop energie – Opbrengsten uit aansluitkosten klanten – Opbrengsten levering warmte – Opbrengsten uit aansluitbijdrage/BAK

Voor woningen zijn de resultaten gegeven op woningniveau. De hoofdresultaten van de businesscase zijn voor woningen:

- totale investeringen;
- maandelijkse kapitaallasten, uitgaande van een annuïtaire lening;
- maandelijkse periodieke uitgaven in het eerste jaar³.

Voor netbeheerder en warmtebedrijf worden de resultaten weergegeven voor de infrastructuur in de hele buurt en zijn berekend:

- totale investeringen;
- netto contante waarde (NCW).

Om de netto contante waarde te berekenen, worden alle uitgaven en inkomsten over de gehele looptijd van de businesscase meegenomen en teruggerekend naar de huidige waarde. Als deze negatief is, is er sprake van een onrendabele top.

³ De periodieke lasten stijgen jaarlijks licht door inflatie en toenemende energieprijzen. Daarom is een jaar gekozen om weer te geven.

4.2 Belangrijkste inputwaarden

Voor de vergelijkbaarheid wordt ervan uitgegaan dat alle werkzaamheden in hetzelfde jaar (2020) plaatsvinden. In de gasreferentie betekent dit dat het gasnet vernieuwd wordt en de ketel wordt vervangen. In de all electric-situatie betekent dit dat het elektriciteitsnet verzaagd wordt en het gasnet verwijderd, en dat de woningen worden geïsoleerd en de warmtepompen geplaatst.

De belangrijkste inputvariabelen voor het bepalen van de onrendabele top zijn gegeven in Tabel 5. De energiekosten zijn geïnterpoleerd uit de Nationale Energieverkenning (PBL; ECN; CBS; RVO, 2017).

Tabel 5 - Belangrijkste inputvariabelen bij het berekenen van de onrendabele top

Inputvariabele	Waarde
Discontovoet netbeheerder	3%
Discontovoet warmtebedrijf	6%
Rentevoet particuliere lening	2,5%
Looptijd businesscase	30 jaar
Levensduur woninginstallatie	15 jaar
Levensduur isolatie en afgiftesysteem	30 jaar

4.3 Uitkomst businesscase all electric

In Tabel 6 en Tabel 7 zijn de investeringen en maandlasten gegeven van de businesscase voor een all electric-oplossing van de verschillende partijen voor een looptijd van 30 jaar.

Tabel 6 - Investerings en maandlasten per woning

Categorie	Investerings	Maandelijks kapitaallasten	Maandelijks periodieke uitgaven
Rijwoning jaren '20 (95 m ²)	40.934 €	163 €	67 €
Rijwoning jaren '20 (220 m ²)	53.140 €	212 €	83 €
Rijwoning na 2005	21.598 €	86 €	64 €
Benedenwoning jaren '20	35.004 €	139 €	66 €
Bovenwoning jaren '20	52.217 €	208 €	62 €
Appartement na oorlogs	24.896 €	99 €	62 €
Appartement jaren '50	30.215 €	120 €	77 €

Tabel 7 - Investerings en netto contante waarde voor de infrastructuurstakeholders

Stakeholder	Investerings	Netto contante waarde
Netbeheerder gehele buurt	6.573.008 €	- 2.970.859 €
Netbeheerder per woning	3.087 €	- 1.395 €
Warmtebedrijf gehele buurt	0 €	0 €
Warmtebedrijf per woning	0 €	0 €

De investeringen zijn circa 20.000 tot 53.000 euro per woning, waarbij de oude rijwoningen het duurst zijn vanwege de grote isolatiekosten. De onrendabele top voor de infrastructuur is hoog omdat het elektriciteitsnet verzaamd moet worden.

Dit bedrag is een indicatie en moet nauwkeuriger worden berekend door de netbeheerder (Liander).

Andere voor- en nadelen

Voordelen van een all electric-oplossing zijn:

- keuzevrijheid bij de bewoner voor moment van isolatie en overstap, warmtepomptype en energieleverancier;
- lage energierekening door lage elektriciteitsprijs.

Nadelen van een all electric-oplossing zijn:

- Netbeheerder moet investeren in verzaamen van het elektriciteitsnet.
- Forse investeringen en ruimtebeslag in de woning.
- Sommige typen warmtepompen kunnen geluidsoverlast veroorzaken.
- Door de lagere aflevert temperatuur duurt het langer om het huis warm te krijgen, dus dit vereist een ander gedrag van de bewoner.
- Warmtapwater wordt geleverd uit buffervat. Wanneer deze leeg is, kost het tijd om weer warm water te hebben.

4.4 Uitkomst businesscase HT-warmtenet

In Tabel 8 en Tabel 9 presenteren we de investeringen, de maandlasten en de onrendabele top van de businesscase voor een HT-warmtenet van de verschillende partijen voor een looptijd van 30 jaar.

Tabel 8 - Investerings en maandlasten per woning

Categorie	Investerings	Maandelijkse kapitaallasten	Maandelijkse periodieke uitgaven
Rijwoning jaren '20 (95 m ²)	28.181 €	112 €	100 €
Rijwoning jaren '20 (220 m ²)	40.387 €	161 €	126 €
Rijwoning na 2005	8.845 €	35 €	95 €
Benedenwoning jaren '20	22.251 €	89 €	98 €
Bovenwoning jaren '20	39.465 €	157 €	92 €
Appartement naorlogs	14.352 €	57 €	92 €
Appartement jaren '50	24.666 €	98 €	117 €

Tabel 9 - Investerings en netto contante waarde voor de infrastructuurstakeholders

Stakeholder	Investerings	Netto contante waarde
Netbeheerder gehele buurt	2.235.554 €	1.240.261 €
Netbeheerder per woning	1.050 €	583 €
Warmtebedrijf gehele buurt	25.275.045 €	- 4.604.492 €
Warmtebedrijf per woning	11.872 €	- 2.163 €

De investeringen in de woningen zijn 12.750 euro lager dan bij de all electric-variant doordat er geen warmtepomp hoeft te worden aangeschaft. De kosten voor het naoorlogse appartement zijn hoger omdat deze verketeld is en dus een hoger bedrag wordt gerekend voor aanpassingen aan de binneninstallatie. De periodieke uitgaven zijn hoger dan bij de all electric optie door de hogere energiekosten.

De investeringen voor de netbeheerder zijn lager dan bij all electric en de netto contante waarde is positief. De netto contante waarde voor het warmtebedrijf is echter negatief. Dit komt doordat de inkomsten uit de BAK en de warmtelevering door het geringe energieverbruik bij Label B onvoldoende zijn om de investering terug te betalen.

Andere voor- en nadelen

Voordelen van een HT-warmtenet zijn:

- lage investeringen en ruimtebeslag in de woning;
- vergelijkbaar comfort van verwarming en douchen als bij verwarming met aardgas.

Nadelen van een HT-warmtenet zijn:

- forse investeringen en werkzaamheden voor aanleg warmtenet;
- hoog vastrecht, waarbij bewoner minder invloed heeft op energierekening;
- gebouwen moeten allemaal tegelijk worden aangesloten; bij minder aansluitingen is de businesscase ongunstiger;
- warmteoverdrachtsstation(s) in de wijk nodig, waar ruimte voor nodig is.

4.5 Uitkomst businesscase LT-warmtenet

In Tabel 10 en Tabel 11 zijn de investeringen, maandlasten en onrendabele top gegeven van de businesscase voor een LT-warmtenet van de verschillende partijen voor een looptijd van 30 jaar.

Tabel 10 - Investerings en maandlasten per woning

Categorie	Investerings	Maandelijkse kapitaallasten	Maandelijkse periodieke uitgaven
Rijwoning jaren '20 (95 m ²)	44.052 €	175 €	139 €
Rijwoning jaren '20 (220 m ²)	56.258 €	224 €	172 €
Rijwoning na 2005	24.716 €	98 €	133 €
Benedenwoning jaren '20	38.122 €	152 €	137 €
Bovenwoning jaren '20	55.336 €	220 €	129 €
Appartement naoorlogs	27.505 €	110 €	132 €
Appartement jaren '50	37.505 €	149 €	161 €

Tabel 11 - Investerings en netto contante waarde voor de infrastructuurstakeholders

Stakeholder	Investerings	Netto contante waarde
Netbeheerder gehele buurt	4.786.997 €	- 1.236.869 €
Netbeheerder per woning	2.248 €	- 581 €
Warmtebedrijf gehele buurt	24.700.339 €	674.647 €
Warmtebedrijf per woning	11.602 €	317 €

De investeringen zijn circa 25.000-56.000 euro per woning, waarmee dit de duurste optie is voor de gebouweigenaar/-bewoner. Ook de periodieke uitgaven zijn het hoogst voor deze optie.

De investeringen voor de infrastructuur zijn erg hoog. De onrendabele top voor de netbeheerder is negatief, maar die van het warmtebedrijf is positief. Dit komt door inkomsten uit de warmtelevering en het feit dat geen inkoopkosten zijn gerekend voor de LT-(rest)warmte. Afhankelijk van de bronnen zullen deze wel kosten met zich mee kunnen brengen.

Andere voor- en nadelen

Voordelen van een LT-warmtenet zijn:

- keuzevrijheid bij de bewoner voor moment van isolatie;
- minder grote warmtepomp nodig dan bij all electric (lagere kosten en minder ruimtebeslag);
- water/water-warmtepomp maakt minder geluid dan luchtwarmtepomp.

Nadelen van een LT-warmtenet zijn:

- Netbeheerder moet (waarschijnlijk) investeren in verzwaren van het elektriciteitsnet.
- Forse investeringen en ruimtebeslag in de woning.
- Forse investeringen en werkzaamheden voor aanleg warmtenet.
- Bij een hoog vastrecht heeft bewoner minder invloed op energierekening.
- Alle woningen moeten tegelijk worden aangesloten op warmtenet.
- Door de lagere aflevert temperatuur duurt het langer om het huis warm te krijgen, dus dit vereist een ander gedrag van de bewoner.
- Warmtapwater wordt geleverd uit buffervat. Wanneer deze leeg is, kost het tijd om weer warm water te hebben.

Tekstkader 2 - LT-net met collectieve opwaardering

In deze businesscase is gekozen om bij het LT-warmtenet uit te gaan van warmtelevering op 30°C, het temperatuurniveau van bijvoorbeeld restwarmte van koelprocessen en retourleiding van stadswarmte. Een andere mogelijkheid is collectieve opwaardering naar 70°C (40°C retour). Voor deze variant is minder isolatie vereist en komt daarmee meer overeen met de businesscase van het HT-warmtenet, behalve dat de warmteleverancier energiekosten betaalt om de warmte op te waarderen, bijvoorbeeld met een collectieve warmtepomp.

4.6 Gevoeligheidsanalyse

All electric: rendement luchtwarmtepomp

Voor het rendement van de warmtepomp is hier 400% gehanteerd (SCOP = 4). Indien een lager rendement van 350% wordt behaald, is de onrendabele top circa 600-1.100 euro per woning hoger.

Verzwaren elektriciteitsnet en -aansluiting

In alle drie de businesscases is rekening gehouden met het verzwaren van de elektriciteitsaansluiting van één fase naar drie fasen, wat nodig is voor inductie-koken en de elektrische

luchtwarmtepomp. Daarnaast is in de businesscases voor all electric en LT-warmtenet rekening gehouden met verzwaring van het elektriciteitsnet in de wijk.

Echter, het is mogelijk dat deze maatregelen sowieso moeten gebeuren ongeacht de keuze voor een warmtetechniek. Door elektrische auto's en zonnepanelen kan dit ook nodig zijn. Daarnaast kan het zo zijn dat er al een 3-fasen-elektriciteitsaansluiting aanwezig is in veel van de woningen.

Het verzwaren naar een 3 fasen-aansluiting geeft eenmalige kosten van 281 euro en een verhoging van het vastrecht van 150 euro per jaar. Als dit niet wordt meegerekend, wordt de onrendabele top voor de bewoner 2.700 euro lager. Als de verzwaring van het elektriciteitsnet niet wordt toegerekend aan de businesscase voor de warmtevarianten, is er voor de all electric-variant en LT-warmtenet een positieve businesscase voor de infrastructuur (netto contante waarde van respectievelijk 1,2 en 1,7 miljoen euro).

Verhogen van de BAK

Bij een warmtenet is de bijdrage aansluitkosten (BAK) per woning een resultaat van onderhandeling. Als de BAK wordt verhoogd van 5.000 naar 10.000 euro, wordt de businesscase voor de woningeigenaren ongunstiger, omdat zij meer moeten betalen. Voor het warmtebedrijf wordt de businesscase hiermee echter positief.

Tarief LT-warmte

Het warmtetarief voor LT-warmte (30 graden) is nu gelijkgesteld aan het tarief voor HT-warmte. Het zou ook mogelijk zijn dat LT-warmte, dat laagwaardiger is, een lager tarief krijgt, bijvoorbeeld 75% van het HT-tarief. Dat zou de onrendabele top per woning verlagen met circa 1.500-3.000 euro.

Vloerverwarming in plaats van LT-radiatoren

In de businesscases voor all electric en LT-warmtenet wordt warmte geleverd op lage temperatuur. LT-radiatoren nemen extra ruimte in huis in beslag. Indien dit niet gewenst is, kan in plaats daarvan vloerverwarming worden geplaatst. Dit is wel duurder en ingrijpender. Omdat de vloer iets hoger komt te liggen, moeten ook mogelijk deuren worden ingekort en dorpels worden verhoogd. De meerkosten van vloerverwarming ten opzichte van LT-radiatoren zijn circa 6.000 euro.

5 Referenties

ACM, 2017. *Besluit maximumprijs levering warmte 2018*. [Online]
Available at: <https://www.acm.nl/nl/publicaties/besluit-maximumprijs-levering-warmte-2018>
[Geopend 2019].

Belastingdienst, lopend. *Tabellen tarieven milieubelastingen*. [Online]
Available at:
https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/overige_belastingen/belastingen_op_milieugrondslag/tarieven_milieubelastingen/tabellen_tarieven_milieubelastingen?projectid=6750bae7-383b-4c97-bc7a-802790bd1110
[Geopend 2019].

CBS Statline, 2019. *Energieverbruik particuliere woningen; woningtype, wijken en buurten, 2016*. [Online]
Available at: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83800NED/table?dl=16999>
[Geopend 2019].

CE Delft, 2016. *Een warm Nijmegen : Analyse van de toekomstige warmtevoorziening met CEGOIA*, Delft: CE Delft.

Liander, 2018. *Tarieven 2018 voor consumenten*. [Online]
Available at: <https://www.liander.nl/consument/aansluitingen/tarieven2018>
[Geopend 2019].

Over Morgen, 2018. *Warmtevisie : Op weg naar een aardgasvrij Nijmegen*, Nijmegen: Gemeente Nijmegen.

PBL; ECN; CBS; RVO, 2017. *Nationale Energie Verkenning 2017*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

RVO, 2010. *Voorbeeldwoningen 2011 : EPA detailgegevens per woningtype, subtype en bouwperiode*. [Online]
Available at:
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Voorbeeldwoningen%202011%20-%20EPA%20detailgegevens%20site%20-%202009%20dec%202010.pdf>
[Geopend 2019].

RVO, 2016. *Investeringskosten energiebesparende maatregelen*. [Online]
Available at: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-onderwerpen/gebouwen/technieken-beheer-en-innovatie/investeringskosten-energiebesparende-maatregelen>
[Geopend 2019].

RVO, 2019. *WarmteAtlas*. [Online]
Available at: <http://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>
[Geopend 3 juli 2019].

W/E adviseurs, 2011. *Rekenmodel OEI 3.0 : Modelbeschrijving*. [Online]
Available at: https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/OEI%20-%20modelbeschrijving%20mei'11_0.pdf
[Geopend 2019].



A Toelichting berekeningen

In deze bijlage zijn de aannamen voor de berekeningen toegelicht.

A.1 Opzet businesscase

Het doel van de businesscase is om inzicht te geven in de extra kosten van een all electric-oplossing, HT-warmtenet en LT-warmtenet ten opzichte van gas. Bij all electric en het LT-warmtenet gaan wij uit van isolatie naar Energielabel B, terwijl we bij het HT-warmtenet geen isolatiemaatregelen meenemen. We vergelijken de kasstromen van de verschillende oplossingen om van het gas af te gaan met de huidige situatie (gas met het huidige energielabel). De kasstromen van de gasreferentie zijn van de kasstromen van de verschillende oplossingen afgehaald. Vervolgens is de netto contante waarde berekend. De looptijd van de businesscase is 30 jaar (tot 2050).

A.2 Oppervlakten woning

Voor de wijk Bottendaal zijn zeven woningcategorieën gekozen. Om de kosten voor isolatie in te schatten, moet een benadering gemaakt worden van het oppervlak van de begane grondvloer, het dak, de gevel en ramen. Daarvoor zijn de oppervlakten van RVO voorbeeldwoningen geschaald naar het woonoppervlak.

Tabel 12 - Oppervlakten woningen

Woning-categorie (Bottendaal)	Rijwoning jaren 20 (95 m ²)	Rijwoning jaren 20 (220 m ²)	Rijwoning na 2005	Bovenwoning jaren 20	Benedenwoning jaren 20	Appartement jaren 50	Appartement naoorlogs
Woning-categorie RVO	Rijwoning t/m 1945	Rijwoning t/m 1945	Rijwoning 1992-2005	Maisonette-woning t/m 1964	Maisonette-woning t/m 1964	Portiek-woning 1946-1964	Portiek-woning 1946-1964
Woonoppervlak	95	222	147	155	95	99	64
Begane grondvloer	51,2	79,8	72,2	*0,0	36,9	21,6	14,0
Plat dak	16,5	25,7	72,3	0,0	**0,0	29,1	18,8
Hellend dak	52,1	81,1	0,0	131,2	**0,0	0,0	0,0
Gesloten geveloppervlak	61,8	96,3	88,7	88,9	54,5	64,1	41,4
Oppervlak enkelglas	6,4	10,0	0,0	14,8	9,1	4,4	2,8
Oppervlak dubbelglas	13,8	21,5	9,0	19,2	11,8	22,1	14,3

* Dit is een bovenwoning.

** Dit is een benedenwoning.

A.3 Energiegebruik woningen

Om de kosten voor de levering van energie te berekenen, moet een inschatting gemaakt worden van het energieverbruik, in de huidige situatie en als de woning geïsoleerd is tot Label B. Voor de huidige situatie is uitgegaan van het gasverbruik uit de WarmteAtlas voor de verschillende woningen (RVO, 2019).

Om het gemiddelde energieverbruik bij Label B te bepalen, is uitgegaan van besparingspercentages tussen verschillende labelstappen (Tabel 13).

Tabel 13 - Besparingspercentages voor verschillende labelstappen

Woningcategorie	Energie-label huidig	Besparings- percentage Label B	Gasverbruik huidig (m ³ /jaar)	Gasverbruik Label B (m ³ /jaar)
Rijwoning jaren '20 (95 m ²)	F	29%	1.120	795
Rijwoning jaren '20 (220 m ²)	F	29%	1.800	12.78
Bovenwoning jaren '20	F	29%	910	646
Benedenwoning jaren '20	D	16%	910	764
Appartement jaren '50	D	16%	1.330	1.117
Rijwoning na 2005	A	0%	700	700
Appartement naoorlogs	C	9%	720	655

Om het gasverbruik bij Label B om te rekenen naar een elektriciteitsverbruik bij inzet van een warmtepomp is uitgegaan van een SPF (jaargemiddelde COP) van 4 en een efficiëntie van de CV-ketel van 80,8%.

Bij een water-waterwarmtepomp is uitgegaan van een SPF van 5,5.

A.4 Maatregelen per woningcategorie

All electric en LT-warmtenet

In Tabel 8 presenteren we de maatregelen die getroffen moeten worden per woningtype voor de all electric-oplossing en het LT-warmtenet.

Om de woningen te isoleren moeten per type woning verschillende maatregelen genomen worden. Voor deze maatregelen is uitgegaan van de maatregelen uit de woningtool Innoforte voor Noord-Holland. Voor een aantal maatregelen is hiervan afgeweken.

Voor de alle woningen uit de jaren '20 is de binnenzijde van de woning geïsoleerd, omdat de woningen niet over een spouwmuur beschikken. Voor de rijwoning uit de jaren '20 (220 m²) en de boven- en benedenwoning is ook monumentenglas toegepast vanwege het beschermde stadsgezicht. Voor de bovenwoning is vloerisolatie buiten beschouwing gelaten en voor de benedenwoning is dakisolatie buiten beschouwing gelaten. Daarnaast zijn in de rijwoning na 2005 en het naoorlogse appartement al meerdere isolatiemaatregelen getroffen, die posten laten we daarom achterwege bij onze berekeningen.

Tabel 14 - Maatregelen per woningcategorie all electric en LT-warmtenet

	Rijwoning jaren '20 (95 m ²)	Rijwoning jaren '20 (220 m ²)	Rijwoning na 2005	Bovenwoning jaren '20	Benedenwoning jaren '20	Appartement jaren '50	Appartement naoorlogs
Woningtype Innoforte	Rijwoning t/m 1945	Rijwoning t/m 1945		Rijwoning 1946-1964	Portiekwoning t/m 1945	Portiekwoning 1946-1964	
Vloer	Onderzijde van de begane grond vloer: 10 cm minerale wol	Onderzijde van de begane grond vloer: 10 cm minerale wol	- **	- **	Onderzijde van de begane grond vloer: 10 cm minerale wol	Onderzijde van de begane grond vloer: 10 cm minerale wol	Onderzijde van de begane grond vloer: 10 cm minerale wol
Dak	Binnenzijde van het dak; 10 cm minerale wol; afwerking gipsplaat	Binnenzijde van het dak; 10 cm minerale wol afwerking gipsplaat	- **	Binnenzijde van het dak; 10 cm minerale wol; afwerking gipsplaat**	- **	Isolatie buitenzijde plat dak met 8 cm PIR hardschuim- platen met nieuwe dakbedekking	- **
Gevel	Gevelisolatie binnenzijde**	Gevelisolatie binnenzijde**	- **	Gevelisolatie binnenzijde**	Gevelisolatie binnenzijde**	Spouwmuurisolatie: 5 cm EPS parels	- **
Glas	Nieuw HR++glas in bestaande kozijnen	Monumentenglas**	- **	Monumentenglas**	Monumentenglas**	Nieuw HR++glas in bestaande kozijnen	Nieuw HR++glas in bestaande kozijnen
Warmte	All electric: WP lucht + elektrisch element tapwater	All electric: WP lucht + elektrisch element tapwater	All electric: WP lucht + elektrisch element tapwater	All electric: WP lucht + elektrisch element tapwater**	All electric: WP lucht + elektrische element tapwater**	All electric: Collectieve warmtepomp warm water + E-element	All electric: WP lucht + elektrisch element
	LT-warmtenet: water-water-WP	LT-warmtenet: water-water-WP	LT-warmtenet: water-water-WP	LT-warmtenet: water-water-WP	LT-warmtenet: water-water-WP	LT-warmtenet: water-water-WP (aannee dat collectief gelijke kosten per woning heeft)	LT-warmtenet: water-water-WP
	LT-radiatoren R	LT-radiatoren R	LT-radiatoren R	LT-radiatoren R	LT-radiatoren R	LT-radiatoren R	LT-radiatoren R
Ventilatie	Mechanisch afvoer	Mechanisch afvoer	- **	Mechanisch afvoer	Mechanisch afvoer	Mechanisch afvoer	- *
Keuken	Inductie koken	Inductie koken	Inductie koken	Inductie koken	Inductie koken	Inductie koken	Inductie koken
Elektra	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken

** Afwijkend van maatregelen uit woningtool Innoforte.

HT-warmtenet

In Tabel 15 presenteren we de maatregelen die getroffen moeten worden per woningtype voor het HT-warmtenet.

Tabel 15 - Maatregelen per woningcategorie HT-warmtenet

	Rijwoning jaren '20 (95 m ²)	Rijwoning jaren '20 (220 m ²)	Boven- woning jaren '20	Beneden- woning jaren '20	Apparte- ment jaren '50	Rijwoning na 2005	Apparte- ment naoorlogs
Woning- type Innoforte	Rijwoning t/m 1945	Rijwoning t/m 1945	Rijwoning 1946-1964	Portiek- woning t/m 1945	Portiek- woning 1946-1964		
Keuken	Inductie- koken	Inductie- koken	Inductie- koken	Inductie- koken	Inductie- koken	Inductie- koken	Inductie- koken
Elektra	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken	Extra groep voor koken

A.5 Kosten aansluiting

Aansluittarieven worden in rekening gebracht door de netbeheerder. Deze tarieven zijn vast. Voor de jaren 2020 en verder zijn de periodieke kosten geïndexeerd met de gemiddelde consumentenprijsindex over de afgelopen tien jaar.

Tabel 16 - Tarieven aansluiting netbeheerder

Aansluiting elektriciteit en gas (p.p. 2019 incl. BTW)	Eenheid	Waarde	Bron
Verwijderen gasaansluiting laagbouw	€	687	Liander, tarieven 2019
Verwijderen gasaansluiting hoogbouw	€	366	Liander, tarieven 2019
Periodieke kosten gasaansluiting	€/jaar	191	Liander, tarieven 2019
Verzwaren elektriciteitsaansluiting 1 fase naar 3 fasen	€	281	Liander, tarieven 2019
Jaarlijkse kosten elektriciteitsaansluiting 1 fase t/m 1 x 10A bemeten	€/jaar	102	Liander, tarieven 2019
Jaarlijkse kosten elektriciteitsaansluiting 1 fase > 1 x 10A en 3 fasen t/m 3 x 25A bemeten	€/jaar	252	Liander, tarieven 2019
<i>Additionele kosten verzwaarde elektriciteitsaansluiting</i>	<i>€/jaar</i>	<i>150</i>	<i>Berekend</i>

Voor de aansluiting van een woning op een warmtenet worden bij de aanleg verschillende kosten gemaakt per type woning (gestapeld met blokverwarming, gestapeld verketeld, grondgebonden). De kosten hiervan die worden doorgerekend aan de woningeigenaar worden de BAK genoemd, bijdrage aansluitkosten. Dit bedrag is een resultaat van onderhandeling en is hier gesteld op 5.000 euro per woning⁴.

⁴ Elders in Nijmegen is de BAK in de praktijk ook eens op 10.000 euro uitgekomen.

Tabel 17 - Aansluitkosten op warmtenet

Type	Aansluitkosten (€ per woning)
Gestapelde woningen (blokverwarming)	4.000
Gestapelde woningen (verketeld)	8.000
Grondgebonden woningen	12.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	5.000

A.6 Kosten isolatie

Voor het bepalen van de kosten voor isolatie is de EPA-maatregelenlijst⁵ gebruikt (RVO, 2016). Deze kosten zijn gecorrigeerd naar prijspeil 2019 met een gemiddelde consumenten-prijsindex⁶. Daarnaast is BTW berekend: laag tarief (9%) voor de manuren benodigd voor het aanbrengen van de isolatie en hoog tarief (21%) voor de overige kosten.

Tabel 18 - Kentallen isolatie

Kentallen isolatie (p.p. 2019 incl. BTW)	Eenheid	Waarde	Toelichting
Vloerisolatie (houten vloer): 10 cm minerale wol onderzijde begane grondvloer	€/m ²	42	EPA-maatregel 002a Vloerisolatie: minerale wol 100 mm aan onderzijde houten vloer
Vloerisolatie (stenen vloer): 10 cm minerale wol onderzijde begane grondvloer	€/m ²	25	EPA-maatregel 002b Vloerisolatie: minerale wol 100 mm aan onderzijde steenachtige vloer
Dakisolatie (schuin dak): 10 cm minerale wol binnenzijde dak, afwerking gipsplaat	€/m ²	100	Aangepast n.a.v. inbreng Loket Duurzaam Wonen Nijmegen. (RVO, EPA maatregelenlijst kosten € 55)
Dakisolatie (plat dak): 8 cm PIR-platen, vervangen dakbedekking	€/m ²	212	EPA-maatregel 007c Dakisolatie: PIR platen 80 mm - vervangen dakbedekking APP
Gevelisolatie (eengezinswoning): 5 cm EPS-parels spouwmuur	€/m ²	18	009b Spouwisolatie: 50 mm EPS-parels
Gevelisolatie (meergezinswoning): 5 cm EPS-parels spouwmuur	€/m ²	11	009b Spouwisolatie 50 mm EPS-parels
Glasisolatie: Monumentenglas	€/m ²	250	Monumentenglas heeft een isolatiewaarde tussen enkelglas en HR++glas
Glasisolatie (eengezinswoning): HR++glas in bestaande kozijnen	€/m ²	152	EPA-maatregel 019b Isolatieglas gasgevuld (U = 1,2) (i.p.v. standaard isolatieglas)
Glasisolatie (meergezinswoning): HR++glas in bestaande kozijnen	€/m ²	178	EPA-maatregel 019b Isolatieglas gasgevuld (U = 1,2) (i.p.v. standaard isolatieglas)
Kierdichting	€/woning	1.300	Milieucentraal : Naden en kieren dicht

⁵ Daarbij is uitgegaan van de kosten voor een eengezinswoning van gemiddelde grootte, voor een op zichzelf staand vervangmoment voor één woning (niet-projectmatig).

⁶ Voor de indexering van isolatiekosten is de gemiddelde jaarlijkse toename van de consumentenprijsindex in de afgelopen tien jaar gekozen (bron: CBS).

A.7 Kosten installaties en onderhoud

Voor de kosten van diverse installaties is voor gas uitgegaan van de kosten zoals gebruikt in de berekening van maximumtarieven voor warmte door de ACM. Voor de warmtepomp en radiatoren is de bron van de kosten de woningtool van Innoforte. Deze kosten zijn gecorrigeerd naar prijspeil 2019 met een gemiddelde consumentenprijsindex⁷.

Tabel 19 - Kosten installaties

Installaties (p.p. 2019 incl. BTW)	Eenheid	Waarde	Levensduur	Bron
CV-ketel (incl. BTW)	€/won	2.413	15	ACM, besluit maxumprijs warmte 2019
WP lucht + elektrisch element en bufervat tapwater	€/won	12.750	15	Advies BDH (excl. subsidie)
Verwijderen CV-ketel en rookgasafvoer	€/won	500	-	Advies BDH
Collectieve warmtepomp warm water + E-element	€/won	6.140	15	Innoforte woningtool Noord-Holland
Warmtepomp warmwater + boiler	€/won	3.894	15	Innoforte woningtool Noord-Holland
Water-waterwarmtepomp (gestapelde woning)	€/won	7.000	15	Functioneel Ontwerp LT-warmtenetten voor Vesta-MAIS
Water-waterwarmtepomp (grondgebonden woning)	€/won	9.500	15	Functioneel Ontwerp LT-warmtenetten voor Vesta-MAIS
LT-radiatoren	€/won	6.140	30	Innoforte woningtool Noord-Holland
Mechanisch afvoer	€/won	1.842	30	Innoforte woningtool Noord-Holland
Elektrisch koken	€/won	618	30	Innoforte woningtool Noord-Holland
Extra groep voor koken	€/won	307	30	Innoforte woningtool Noord-Holland

Voor de onderhoudskosten zijn dezelfde bronnen gebruikt. De onderhoudskosten zijn geïndexeerd met de gemiddelde consumentenprijsindex over de afgelopen 10 jaar.

Tabel 20 - Kosten onderhoud

Onderhoud (p.p. 2019 incl. BTW)	Eenheid	Waarde	Bron
Onderhoud CV-ketel (incl. BTW)	€/jaar	147	ACM, besluit maxumprijs warmte 2019
WP lucht + elektrisch element tapwater	€/jaar	279	Innoforte woningtool Noord-Holland
Collectieve warmtepomp warm water + E element	€/jaar	184	Innoforte woningtool Noord-Holland
Warmtepomp warmwater + boiler	€/jaar	39	Innoforte woningtool Noord-Holland
LT-radiatoren	€/jaar	0	Aanname geen onderhoudskosten
Mechanisch afvoer	€/jaar	55	Innoforte woningtool Noord-Holland
Elektrisch koken	€/jaar	0	Aanname geen onderhoudskosten
Extra groep voor koken	€/jaar	0	Aanname geen onderhoudskosten

⁷ Voor de indexering van isolatiekosten is de gemiddelde jaarlijkse toename van de consumentenprijsindex in de afgelopen tien jaar gekozen (bron: CBS).

A.8 Leveringskosten energie

Tarieven voor gas, elektriciteit en warmte verschillen. Per energiedrager zijn de tarieven toegelicht. De vaste kosten die voor elektriciteit en gas jaarlijks aan de energieleverancier worden betaald, zijn niet meegenomen in de berekeningen. Het vastrecht is namelijk niet afhankelijk van verbruik en in alle situatie (gas, all electric) hetzelfde. Er is gerekend met een ontwikkeling in de kosten van elektriciteit en gas tot 2030 zoals meegenomen wordt in het Vesta-model van PBL. Na 2030 worden de energieprijzen constant geacht.

Tabel 21 - Leveringskosten elektriciteit in 2018

Omschrijving	Bedrag (p.p. 2018, incl. BTW)	Toelichting
Variabel tarief (per kWh)	€ 0,091 per kWh	Vesta-model PBL
Opslag Duurzame Energie (ODE)	€ 0,01553 per kWh	Vesta-model PBL
Energiebelasting	€ 0,09269 per kWh	Vesta-model PBL

Tabel 22 - Leveringskosten gas in 2018

Omschrijving	Bedrag (p.p. 2018, incl. BTW)	Toelichting
Variabel tarief (per m ³)	€ 0,2608	Vesta-model PBL.
Opslag Duurzame Energie (ODE)	€ 0,03690 per m ³	Vesta-model PBL
Energiebelasting	€ 0,23 per m ³	Vesta-model PBL

De leveringskosten voor warmte zijn gebaseerd op de kosten van gas, conform de berekening van de warmteprijs van de ACM.