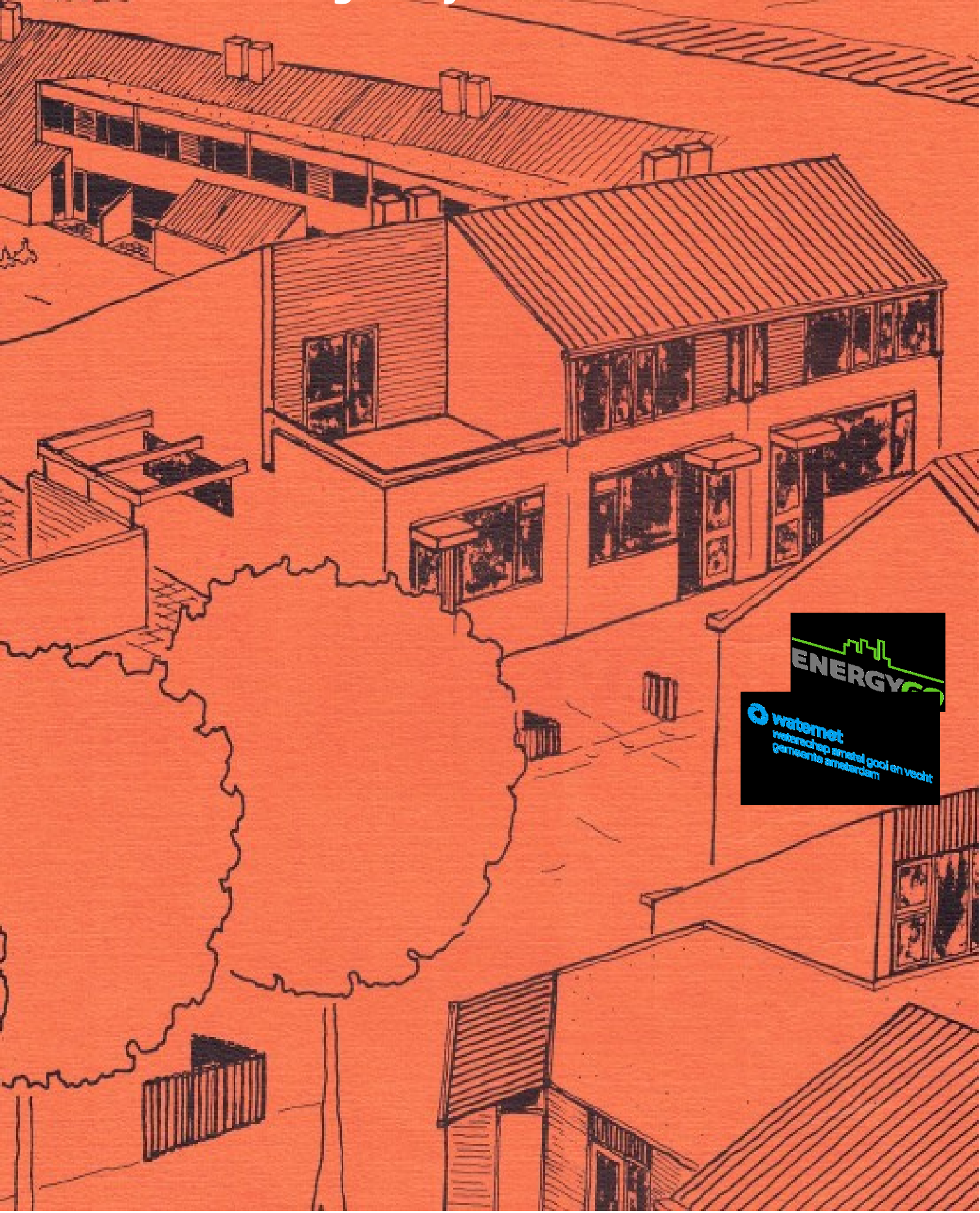


Onderzoek naar de mogelijkheden voor een aardgasvrij Banne Noord



Colofon

Opdrachtgever

Gemeente Amsterdam

Weesperplein 8 | 1018 XA Amsterdam

Uitvoering

EnergyGO

Marcel Elswijk; Bart Roossien en Saskia Müller

Ampèrestraat 3b | 1817DE Alkmaar | www.energygo.nl

Waternet

Stefan Mol

Korte Ouderkerkerdijk 7 | 1096AC Amsterdam | www.waternet.nl

Rapport

Correspondentie: info@energygo.nl

Projectnummer A660.307

Versie: 20 februari 2020

Documentnaam: R660307_warmtescenarios_BanneNoord_v03

Verklaringen

Afkorting	Verklaring
COP	Coefficient of Performance, aanduiding van het rendement van een warmtepomp. 1 = laag.
Discontovoet	Het percentage (de rekenkundige basis) waarmee toekomstige kosten, baten en risico's van projecten in een eerder moment in de tijd kunnen worden gewaardeerd. Wordt gebruikt om de netto contact waarde (NCW) uit te rekenen.
KPI	Key Performace Indicator, maatstaf of criterium om de aantrekkelijkheid van een aspect van een groter geheel aan af te meten. Zo kan tussen uiteenlopende aspecten vergeleken worden.
LW WP	Lucht Water Warmtepomp
Netto Contante waarde	Berekeningsmethode. Het saldo van alle kosten en baten over een bepaalde looptijd wordt gesaldeerd en teruggerekend naar een waarde in het nu. De hoogte van de discontovoet speelt hierin een bepalende rol.
NMDA	Niet Meer Dan Anders. Uitgangspunt dat wordt gebruikt bij de bepaling van de prijs van warmte.
Rekenrente	De rente die wordt gebruikt om te bepalen welk rendement op een investering naar verwachting in de toekomst wordt behaald.
RV	Ruimteverwarming
TEA	Thermische Energie uit Afvalwater
TED	Thermische Energie uit Drinkwater
TEO	Thermische Energie uti Oppervlaktewater
TW	Tapwater

Samenvatting

In Banne-Noord is een zeer actieve groep particulier eigenaren die graag inzicht willen hebben in de duurzaamheid en betaalbaarheid van verschillende aardgasvrije warmtevoorzieningen. De gemeente Amsterdam heeft daartoe een onafhankelijk onderzoek consortium ingeschakeld om een aantal mogelijke wijzen om de wijk van warmte te voorzien (scenario's) te beoordelen op verschillende prestaties.

Dit rapport presenteert de scores van de onderzochte scenario's op economie, duurzaamheid en overige aspecten. Deze scores ondersteunen de bewoners en de gemeente Amsterdam en eventueel betrokken corporaties in hun gesprek over de keuze voor de uiteindelijke warmtevoorziening en de weg er naartoe. Een aantal scenario's gaat er van uit dat er een collectief van wooneigenaren is die akkoord gaan, voordat de gekozen oplossing geïmplementeerd wordt.

Het onderzoek heeft vijf fasen doorlopen.

- A. Inventariseren gebouwtypen, infrastructurele data en overige data
- B. Vaststellen energiegebruik
- C. Bepalen lokale energiepotentie: bronnen en opslag
- D. Opstellen renovatieconcepten en warmtescenario's
- E. Bepalen prestatie scores warmtescenario's.

Tweemaal zijn 'meedenksessies' georganiseerd met een klankbordgroep en de gemeente.

De inventarisatie van alle relevante gebouwen is uitgevoerd op basis van open data en huisbezoeken. Op basis daarvan is één woningtype gedefinieerd waarmee de warmtescenario's zijn doorgerekend.

Voor de renovatie is er in overleg een maatregelenpakket samengesteld welke een besparing oplevert van ongeveer 40% op de ruimteverwarmingsvraag. Op basis van dit renovatieconcept is de vraag naar ruimteverwarming en warm tapwater per woningtype bepaald. Er is in overleg besloten geen rekening te houden met een koelvraag.

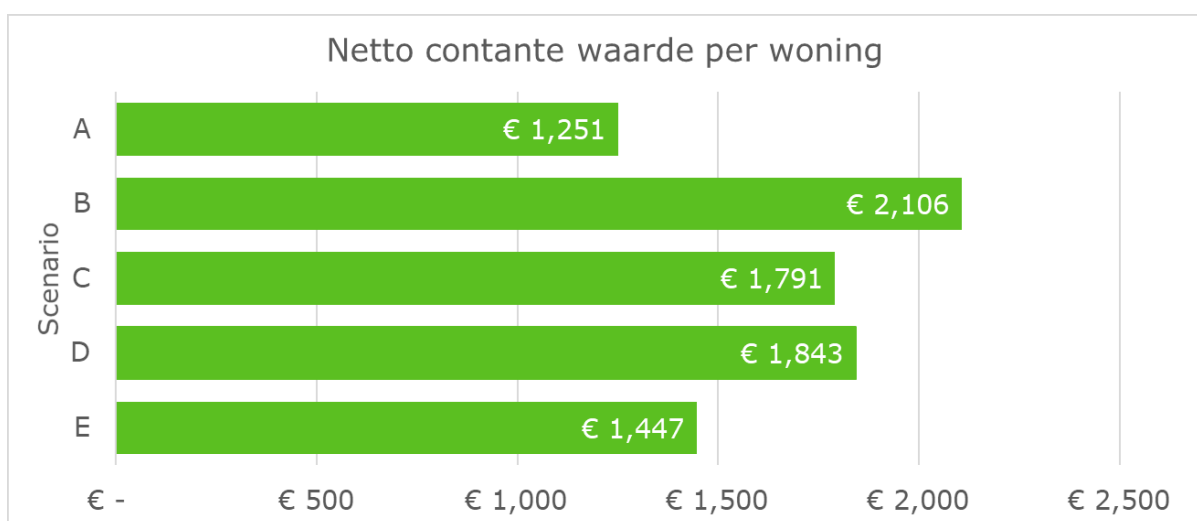
Een inventarisatie van haalbare warmtebronnen, warmtedragers en warmteopslag heeft uiteindelijk geleid tot vijf warmtescenario's. Naast stadswarmte en individuele warmtepompen zijn er twee scenario's gebaseerd op een lokaal warmtenet met warmteopslag in de grond (WKO) en warmteonttrekking uit oppervlaktewater (TEO) en één scenario met warmteopslag in de grond (WKO) en warmteonttrekking uit afvalwater (TEA)

Alle warmtescenario's zijn beoordeeld op financiële, duurzaamheids- en overige criteria, die in overleg met de klankbordgroep van bewoners en gemeente in volgorde van belangrijkheid gezet.

Scenario	Omschrijving
A. All-electric	Een individuele oplossing zonder warmtenet, waarbij elke woning van een lucht-water warmtepomp wordt voorzien.
B. Warmtenet- 50 °C TEO/WKO/centrale warmtepomp	Warmte wordt onttrokken uit oppervlakte water en in de bodem opgeslagen. In de wintermaanden wordt op wijkniveau 50 °C water aan de woningen levert. Tapwater wordt gemaakt met behulp van een elektrische bijstookboiler.
C. Bronnet - 15 °C TEO / WKO	Warmte wordt onttrokken uit oppervlakte water en in de bodem opgeslagen. In de wintermaanden wordt op wijkniveau 15 °C water aan de woningen levert. Ruimteverwarming en tapwater wordt gemaakt met behulp van een individuele water-water warmtepomp.
D. Bronnet - 15 °C TEA / WKO	Warmte wordt onttrokken uit een afvalwater leiding en in de bodem opgeslagen. In de wintermaanden wordt op wijkniveau 15 °C water aan de woningen levert. Ruimteverwarming en tapwater wordt gemaakt met behulp van een individuele water-water warmtepomp.
E. Warmtenet - 70 °C	Warmte geleverd door het stadswarmtenet van Westpoort Warmte.

De gebruikte parameters zijn objectief. Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd vanwege onzekerheden over de langere termijn, waarbij zowel hogere als lagere waarden zijn ingevoerd. In het onderzoek is steeds van de middelste waarden uitgegaan.

Voor de financiële analyse is een maatschappelijke total-cost-of-ownership (TCO) berekening uitgevoerd. Deze TCO berekening leidt tot een netto contante waarde per woning per jaar en is hieronder weergegeven.



De duurzaamheid is beoordeeld aan de hand van de energiebesparing, de benodigde energie in de wijk en de vermindering van de CO₂ uitstoot. In onderstaand schema zijn de scores samengevat (1 = goed, 5 =slecht).

	A (L/W)	B (50)	C (15 TEO)	D (15 TEA)	E (70)
Energiebesparing woning	2	2	2	2	2
Benodigde elektriciteitsinput	412 MWh/jaar	450 MWh/jaar	293 MWh/jaar	293 MWh/jaar	14 MWh/jaar
CO ₂ uitstoot 2020	140 ton	153 ton	100 ton	100 ton	100 ton
CO ₂ uitstoot cumulatief 2020-2060	2.170 ton	2.370 ton	1.548 ton	1.548 ton	1.690 ton

Tenslotte zijn de scenario's op een aantal bijkomende aspecten beoordeeld. Deze zijn hieronder weergegeven.

	A (LW)	B (50)	C (15 TEO)	D (15 TEA)	E (70)
Openheid	n.v.t.	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Op dit moment niet
Techniek	1	2	2	2	1
Ruimte woning		Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast
	Grote warmtepomp	Kleine booster tapwater	Relatief grote warmtepomp	Relatief grote warmtepomp	
		Airco vergt ruimte			Airco vergt ruimte
	Buffervat	Buffervat	Buffervat	Buffervat	
Faseerbaarheid	1	2	2	2	2
Impact wijk / Welstand	Buitenunits in zicht (kan ook binnen)	TEO installatie onderstations met WKO en WP	TEO installatie onderstations met WKO en WP	TEO installatie onderstations met WKO	Airco in zicht
Overlast tijdens bouw	1	1	1	1	1

In deze fase van de verkenning is de eigenaar van de lokale warmtenetten nog onbekend. Het lokale warmtenet kan in private, publieke en/of coöperatieve handen komen. Verdeling van de eigendom van delen van het net, bron, netwerk, levering, over diverse eigenaren is goed mogelijk.

Het opstellen van business cases en financieringsvormen voor de warmte scenario's vallen buiten dit onderzoek.

Aanbevelingen

- De haalbaarheid van lokaal warmtenet wordt sterk bepaald door het aantal deelnemers. Ideale situatie zou zijn dat er initieel tussen de 500 en 1000 woningen deelnemen. Om teleurstelling in een late fase te voorkomen is het aan te bevelen om al in een vroeg stadium commitment van eigenaren te contracteren en/of een plan te maken hoe wooneigenaren worden benaderd/overtuigd om te kiezen voor een aansluiting op een lokaal warmtenet.
- Het wordt aanbevolen om met wooneigenaren te bepalen of zij eigen controle over een water/water warmtepomp willen hebben (met de daarbij behorende investeringen en ruimtebeslag), of dat zij liever ontzorgt willen worden. In het eerst is een laag temperatuurnetwerk (bijv. 15°C) geschikter, in het tweede is een midden temperatuur netwerk (40 – 70 °C) geschikter.
- Niet alle woningen hoeven dezelfde mate van isolatie te hebben voor een midden temperatuur netwerk. Voor een laag temperatuurnetwerk is het aan te bevelen wel goed te isoleren (minimaal 40% warmtevraagreductie), omdat anders de kosten voor het netwerk sterk toenemen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1. Introductie	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Aanpak	11
1.3 Leeswijzer	13
2. Inventarisatie	14
2.1 Kengetallen	14
2.2 Woningen	15
2.3 Infrastructuur	16
2.4 Huidig energiegebruik en CO ₂ -emissies	17
3. Gebouwenrenovatieconcept	18
3.1 Energie besparen	18
3.2 Schilrenovatie, ventilatie en luchtdichtheid	18
3.3 Uitgangpunten renovatie	19
3.4 Investerings	20
3.5 Netto energievraag	21
4. Bronnen, dragers en opslag	22
4.1 Bronnen en dragers	22
4.2 Opslag	23
4.3 Afgevallen bronnen, dragers en opslag	24
5. Warmtescenario's	26
5.1 Beschikbare bronnen en temperaturen	26
5.2 Wijk warmte scenario's	26
5.3 Kosten	31
6. Energie en CO ₂ uitstoot	32
6.1 Energiegebruik per bouwtype	32
6.2 Totaal energiegebruik gebouwen	32
6.3 Totale energievraag warmtescenario	33
6.4 CO ₂ emissies	34
6.5 Duurzame elektriciteit	35
7. Financiële analyse	37

7.1	TCO-model	37
7.2	Berekening	38
7.3	Totale kosten per scenario.....	39
7.4	Gevoeligheidsanalyse.....	40
7.4.1	Discontovoet	40
7.4.2	Evaluatieperiode	41
7.4.3	Inflatie	42
7.4.4	Inflatiepercentage elektriciteit	43
7.4.5	Inflatiepercentage warmte	44
7.4.6	Schaalgrootte.....	44
8.	Eigendom en governance	46
8.1	Warmtenet en Warmtewet.....	46
8.2	Eigendom.....	47
8.2.1	De warmte coöperatie	48
8.3	Investering.....	49
8.4	Gedeelde eigendom	49
8.4.1	Externe partij	50
8.4.2	Lokale coöperatie.....	50
8.4.3	Lokale coöperatie alleen als producent en leverancier.....	51
8.4.4	Lokale coöperatie alleen als leverancier	51
8.5	Governance	52
9.	Prestatie scores	53
9.1	Economische prestaties.....	53
9.2	Duurzaamheid prestatie	54
9.3	Bijkomende aspecten.....	56
10.	Verwijzingen	58
Bijlage A	Infraroodopnamen.....	62

1. Introductie

1.1 Aanleiding

In Banne-Noord is een groep particuliere woningbezitters actief betrokken bij het mogelijk aardgasvrij maken van hun woningen. Zij hebben duurzaamheid hoog in het vaandel staan en onderschrijven de ambitie om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Ze willen graag meer inzicht krijgen in de wijze waarop de stap naar aardgasvrij bij kan dragen aan deze ambitie en wat de consequenties van deze stap zijn. De gemeente Amsterdam heeft hun verzoek gehonoreerd om (samen) een onderzoek te doen naar de toekomstige warmte- en tapwatervoorziening voor deze 230 grondgebonden woningen uit de jaren '70.

De bewoners willen weten of het kansrijk is om hun woningen aan te sluiten op een lokaal collectief warmtenet, hoe verschillende bronnen gewogen kunnen worden en welke maatregelen dat in hun woningen noodzakelijk maakt.

De hoofdvraag is om vijf kansrijke scenario's voor de toekomstige collectieve warmtevoorziening aan te reiken en in kaart te brengen welke investeringen in en aan de woningen en welke investeringen in de openbare ruimte gedaan moeten worden; daarnaast is gevraagd welke effecten de verschillende scenario's hebben op betaalbaarheid, duurzaamheid en overige aspecten

Met bovenstaande vragen in het achterhoofd is door de gemeente besloten om een gezamenlijk onderzoekstraject met de particuliere eigenaren uit de Banne-Noord te starten, waarin een aantal warmtetechnieken met elkaar vergeleken wordt en een onafhankelijk advies verkregen wordt over haalbare alternatieven voor de warmtevoorziening.

Het onderzoek is bedoeld om als onafhankelijke basis te dienen voor een gefundeerde gezamenlijke vergelijking door alle stakeholders van een vijftal geselecteerde warmte oplossingen.

1.2 Aanpak

Het onderzoek is in zes fasen uitgevoerd. In de eerste fase is een inventarisatie gemaakt van de relevante gebouwen in Banne-Noord aan de hand van open data. Hiermee zijn drie woningtypes nader uitgewerkt. Omdat de woningtypes veel op elkaar lijken is uiteindelijk 1 generiek type gebruikt om de warmtescenario's mee door te rekenen. Daarnaast zijn de kengetallen en toekomstige ontwikkelingen ervan voor CO₂-emissies en kosten van energiedragers vastgelegd waarmee de scenario's zijn doorgerekend.

In de tweede fase is het huidige energiegebruik van de wijk in kaart gebracht en werden 7 huizen bezocht. Er is een pakket verduurzamingsmaatregelen vastgesteld dat leidt tot 40% reductie van de verwarmingsvraag. Daarnaast zijn aanvullende maatregelen

gedefinieerd die in plaats van een maatregel in het pakket kunnen worden genomen. Hierdoor kan in elke woning een besparing van 40% op de warmtevraag behaald worden. Dit is bepaald in overleg in de tweede meedenksessie met de woningeigenaren.

Vervolgens is een raming gemaakt van de toekomstige behoefte aan elektriciteit, ruimteverwarming en warm tapwater.

In de derde fase is gekeken naar de potentie van lokale energiebronnen en energieopslag ten behoeve van ruimteverwarming en warm tapwater. De potentiële oplossingen zijn geanalyseerd op hun haalbaarheid binnen de buurt.

In de vierde fase zijn de geselecteerde energiebronnen en opslagmethoden verwerkt in vijf warmtescenario's met bijbehorende woningrenovatie. Vervolgens zijn de in de toekomst verwachte energiestromen in de wijk berekend. Als laatste zijn in deze fase de levensduurkosten voor de verschillende belanghebbenden en de totale maatschappelijke kosten berekend met behulp van een Total Cost of Ownership (TCO) model.

In de vijfde fase zijn de warmtescenario's op verschillende technische, financiële en overige criteria beoordeeld. Ook deze criteria zijn eerder in de klankbordgroep overeen gekomen.

In de laatste fase zijn de resultaten middels presentaties van dit rapport gecommuniceerd met de betrokken belanghebbenden, de particuliere eigenaren en de Gemeente Amsterdam. De klankbordgroep bestond uit particuliere eigenaren en vertegenwoordigers van de gemeente Amsterdam.



Figuur 1: Kaart van Banne-Noord. Het onderzoeksgebied omvat alles binnen de roze en blauw omkaderde lijnen. Bron: OpenStreetMaps/EnergyGO

In Figuur 1 is een kaart van Banne-Noord weergegeven. Het onderzoek richt zich op het gebied binnen de roze en blauwe lijnen. Het gaat om woningen in particulier bezit. De overige woningen in Banne-Noord zijn voornamelijk in bezit van woningcorporaties en vallen buiten het onderzoek. De warmtescenario's zijn uiteindelijk alleen voor het roze gebied doorgerekend (181 woningen), omdat het blauwe gebied (49 woningen) onvoldoende schaalgrootte heeft voor collectieve maatregelen. De gebieden liggen te ver uit elkaar om aan elkaar te koppelen. De vergelijking tussen het individuele scenario en aansluiting op het 70 °C warmtenet, geldt onverkort voor dit deel van de wijk.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport begint in hoofdstuk 2 met een inventarisatie van de huidige situatie: het aantal en type woningen, de staat van de (energie)infrastructuur en huidig energiegebruik en CO₂-uitstoot. Op basis van deze informatie zijn de drie woningtypen geselecteerd waarmee gerekend is in de warmtescenario's.

Vervolgens is in hoofdstuk 3 het renovatieconcept voor de woningen beschreven. Het renovatieconcept is voor de verschillende woningtypen doorgerekend om de netto warmtevraag in kaart te brengen.

Hoofdstuk 4 beschrijft de potentiële warmtebronnen, de energiedragers en warmteopslagsystemen en hun kansrijkheid. Deze zijn voor zover toepasbaar in een vijftal warmtescenario's gevat en beschreven in hoofdstuk 5.

De berekening van de energiestromen en de CO₂-emissies voor de verschillende warmtescenario's zijn gepresenteerd in hoofdstuk 6. De financiële analyse is terug te vinden in hoofdstuk 7.

In hoofdstuk 8 is een analyse te lezen van de mogelijke eigendomsstructuren en governance voor de verschillende warmtescenario's.

De beoordeling van alle vijf warmtescenario's aan de hand van financiële, technische en overige criteria is te vinden in hoofdstuk 9.

2. Inventarisatie

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de inventarisatie van de woningen in de buurt en hun energiegebruik gepresenteerd.

2.1 Kengetallen

Voor de woningen in het gebied zijn het huidige energiegebruik en de CO₂-uitstoot bepaald. In Tabel 1 staan de omrekenfactoren voor verschillende eenheden van vermogen en energie. Daarbij is vermogen de hoeveelheid energie die per tijdseenheid wordt gebruikt. Een oven met een vermogen van 2 kW die anderhalf uur aan staat, gebruikt

$$2 \text{ kW} \times 1,5 \text{ uur} = 3 \text{ kWh}$$

Tabel 1: Omrekenfactoren voor vermogen en energie.

Waarde	Eenheid	Rekenwaarde	Eenheid	
1 W	Watt	1	J/s	Joule per seconde
1 kW	kilo Watt	1.000	J/s	Joule per seconde
1 kWh*	kilo Watt uur	3.600.000	J	Joule
1 kWh	kilo Watt uur	3.6	MJ	Mega Joule
1 GJ	Giga Joule	1.000	MJ	Mega Joule

De omrekenfactoren voor het energie- en brandstofgebruik naar kosten en CO₂-emissies in 2020 zijn weergegeven in Tabel 2. Let op, het gaat hier alleen om de kosten voor de bewoner. In een aantal scenario's wordt warmte en elektriciteit op grootgebruikersniveau afgenomen en daar gelden andere tarieven. De CO₂-emissies zijn bepaald conform landelijke algemeen geaccepteerde rekenmethodieken en gelden voor de levering aan de woning. De getallen nemen verliezen in de distributienetten mee.

Tabel 2: Kengetallen voor verschillende brandstoftypen (prijzen inclusief BTW). [3][5][25][26]

Brandstof/ energiedrager	Energie (MJ)	Prijs variabel (€/unit)	Prijs Vast (€/jaar)	CO ₂ emissie (gram/eenheid)
Aardgas (m ³)	35,17	0,7364	259,07	1.890
Elektriciteit (kWh)	3,60	0,2174	8,66	340
Warmte (GJ)	1.000	28,4700	475,61	26.200

De variabele prijs voor aardgas en elektriciteit is de optelsom van de kale marktprijs, de energiebelasting, de opslag duurzame energie en de BTW (21%). De vaste prijs voor aardgas en elektriciteit is een optelsom van het capaciteitstarief van de netbeheerder (voor een standaard woningaansluiting) en de vaste leveringskosten van de energieleverancier. De teruggave energiebelasting is verrekend met de vaste prijs voor elektriciteit.

Er is van uit gegaan dat de CO₂ emissie van zowel elektriciteit als stadswarme in de komende 30 jaar lineair afneemt met 3,33% per jaar ten opzichte van het jaar 2020.

Zowel elektriciteit als stadswarmte zijn dan in 2050 CO₂ neutraal. Deze aannames zijn gebaseerd op de ambitie van het Klimaatakkoord voor elektriciteit en de opgave van Vattenfall voor warmte [27].

2.2 Woningen

Het onderzoeksgebied is in kaart gebracht met behulp van open data [7] en huisbezoeken. In het onderzoeksgebied (blauw en roze) staan 230 gebouwen die alle een woonfunctie hebben. In totaal zijn er 230 woningen (adressen) in het gebied die worden gedomineerd door 3 bouwtypen zoals weergegeven in Tabel 3. De eigenaren van de woningen zijn allen particulieren.

Tabel 3: Aantal woningen en woongebouwen in het onderzoeksgebied, uitgesplitst naar type volgens de Basisregistratie Gebouwen (BAG).

Type	Toelichting	Gebouwen	Adressen	
			Westerlengte	Oosterlengte
Tussenwoning	Rijteswoning die tussen twee andere woningen staat.	161	35	126
Hoekwoning	Rijteswoning, die aan het einde van een rij staat.	59	14	45
Overige	Een mix van o.a. vrijstaande woningen, 2-onder-1-kap woningen.	10		10
Totaal		230	49	181

Aan de Oosterlengte (roze) is een mix van "Type 4" tussenwoningen en hoekwoningen met een vide aanwezig. Zogenaamde "Type 5" tussenwoningen hebben geen vide en een plat dak. Deze woningen zijn in de jaren '70 geplaatst. In 1989 zijn 22 rijteswoningen, 6 vrijstaande en 2 stuks 2-onder-1 kap woningen bijgebouwd. Aan de Westerlengte (blauw) staan 49 woningen waarvan 35 tussenwoningen en 14 hoekwoningen met 1979 als bouwjaar.

Op basis van de inventarisatie zijn drie woningtypen gedefinieerd. Voor deze drie typen is de potentiële verlaging van de warmtevraag door energiebesparende maatregelen berekend. De woningtypen staan in Tabel 4.

Tabel 4: Woningtypen die zijn uitgewerkt voor het renovatieconcept.

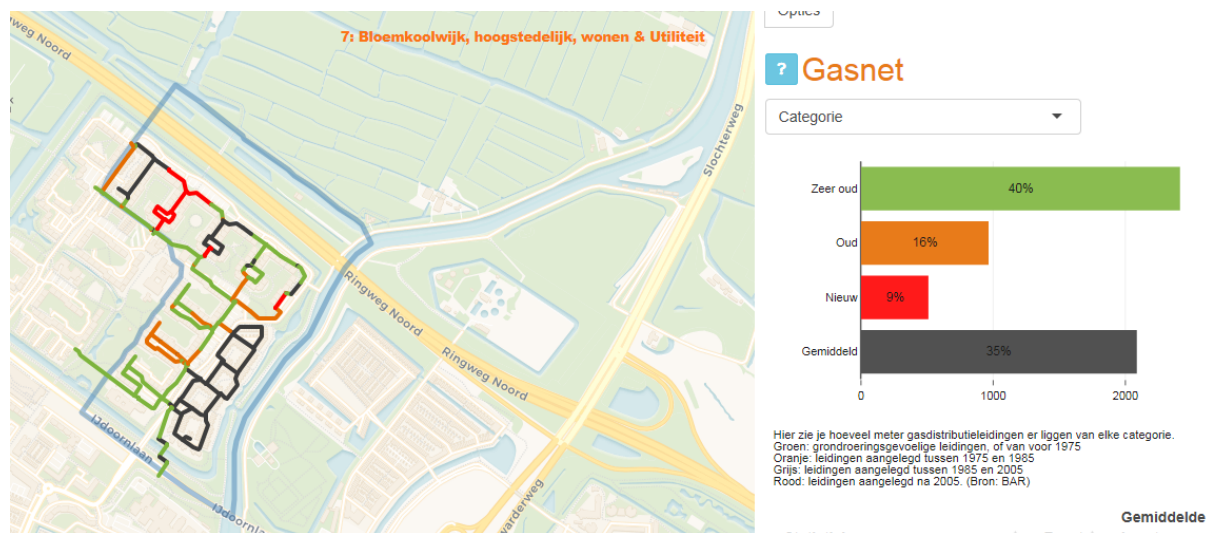
Type	Toelichting
Type 4 Tussenwoning	<ul style="list-style-type: none"> Rijteswoning tussen twee andere rijteswoning. Met vide Bestaat uit 1 woning
Type 5 Tussenwoning	<ul style="list-style-type: none"> Rijteswoning tussen twee andere rijteswoning. Geen vide Deels plat dak. Bestaat uit 1 woning
Type 4 Hoekwoning	<ul style="list-style-type: none"> Rijteswoning aan het einde van een rij woningen Bestaat uit 1 woning



Figuur 2: Hoekwoning van de voorzijde (links) en rijtjeswoning van de achterzijde (rechts)

2.3 Infrastructuur

De huidige infrastructuur bestaat uit drinkwaterleidingen, rioleringsbuizen, aardgasleidingen, elektriciteitskabels, warmteleidingen en TV/telefoon kabels. De netbeheerder voor elektriciteit en aardgas, Liander, heeft vanwege interne privacy protocollen geen data kunnen aanleveren van de exacte leeftijd, capaciteit en afschrijvingsperiode van het aardgas- en elektriciteitsnet. Liander heeft wel cijfers aangeleverd over het verwijderen en vervangen van aardgasleidingen en de aansluitkosten voor all-electric woningen. De leeftijd van het gasnet in het onderzoeksgebied heeft een gemiddelde leeftijd (grijs – aangelegd tussen 1985 en 2005). Elders in de wijk liggen aardgasleidingen die op korte termijn aan vervanging toe zijn.



Figuur 3: Indicatie leeftijd van het aardgasnet Banne-NoordOost (groen: zeer oud; oranje: oud; rood: nieuw; grijs: gemiddeld).

2.4 Huidig energiegebruik en CO₂-emissies

De opgave van het huidige energiegebruik komt van de regionale netbeheerders die open data beschikbaar stellen over het gemiddelde energiegebruik per postcode-6 gebied.

In Tabel 5 is het totale jaarlijkse energiegebruik van de 230 woningen in 2017 weergegeven. De CO₂-uitstoot is bepaald op basis van de te verwachten emissiefactoren in 2020.

Tabel 5: Totaal en woninggemiddeld energiegebruik en CO₂ uitstoot.

	Eenheid	Totaal	Gemiddeld per woning
Aantal adressen		230	1
Totaal vloeroppervlak	m ²	22.263	96,8
Gasverbruik	m ³ /jaar	344.631	1.498
Elektriciteit	kWh/jaar	745.086	3.240
CO ₂ uitstoot t.g.v. gasverbruik	ton/jaar	651	2,83
CO ₂ uitstoot t.g.v. elektriciteitsgebruik	ton/jaar	253	1,10
Energierkening	€/jaar	449.190	1.953

3. Gebouwrenovatieconcept

In dit hoofdstuk is het renovatieconcept voor de woningen beschreven dat is gebruikt voor het berekenen van de toekomstige energievraag voor ruimteverwarming en tapwater. Deze energie moet worden geleverd door de energiesystemen in de verschillende warmtescenario's. De apparatuur die hiervoor nodig is wordt beschreven in hoofdstuk 5.

3.1 Energie besparen

Om te beginnen zijn isoleren, kierdichting, zuinige apparaten en energiebewust gedrag maatregelen om de energievraag te verlagen. Een natuurlijk renovatiemoment van de woning is een goed moment om energiebesparende maatregelen te treffen.

De tweede stap is om de resterende energievraag zo goed mogelijk te dekken met energie uit de woning die kan worden hergebruikt, zoals ventilatie- en douchewarmte. Door het hergebruiken van deze warmte, hoeft er minder warmte opgewekt te worden.

Ten derde helpt het om warmte die beschikbaar is op momenten dat ze niet direct nodig is (bijvoorbeeld zonnewarmte of warmte uit oppervlaktewater in de zomer) tijdelijk op te slaan, in bijvoorbeeld buffervaten of in de gebouwschil. Op die manier wordt het aansluitvermogen van de gebouwen vergroot. Dan kunnen installaties en energienetwerken kleiner worden uitgevoerd, waardoor ze goedkoper worden.

De laatste stap is om de overgebleven energievraag met zo duurzaam mogelijke bronnen en technieken in te vullen.

3.2 Schilrenovatie, ventilatie en luchtdichtheid

De behoefte aan ruimteverwarming wordt bepaald door:

- De mate van isolatie van de gebouwschil; dit wordt bepaald door de vloeren, daken, gevels, ramen en deuren;
- De kierdichting van de gebouwschil;
- De hoeveelheid lucht die moet worden geventileerd om een gezond klimaat in de woning te realiseren.

Het isoleren van de woning is geen dagelijks gebeuren. Gebruikelijk is dat een woning eens in de 30 tot 50 jaar grootschalig gerenoveerd wordt. De keuze van de mate van isolatie vandaag, bepaalt daarom de verwarmingsvraag voor de komende decennia.

Energieverlies vindt ook plaats via kieren en naden (infiltratie). De meeste kieren en naden zitten bij ramen, deuren en aansluitingen tussen gevels en daken. In veel gevallen sluiten deze bouwdelen niet goed op elkaar aan. Hierdoor ontstaat een kier waar koude lucht doorheen komt. Het kierdicht maken van de woning verlaagt de vraag naar ruimteverwarming. De kierdichting wordt uitgedrukt als een $qv10$ waarde (uitgedrukt in

liters lucht per seconde en per m²). Deze waarde drukt de omvang uit van de ongecontroleerde luchtstroom die de woning verlaat bij windkracht 3. Na het kierdicht maken moet voldoende geventileerd worden voor een goede luchtkwaliteit in de woning.

In Bijlage A zijn thermobeelden te vinden die zijn gemaakt van de bezochte woningen, waarin de kierdichtheid in terug te zien is.

Ventileren is het in- en uitblazen van lucht. Dat kan op een natuurlijke of op een mechanische manier. Er zijn 3 typen ventilatiesystemen die aangeduid worden met A, C en D (type B komt tegenwoordig vrijwel niet meer voor).

Tabel 6: Verschillende type ventilatiesystemen.

Ventilatiesysteem	Aanvoer	Afvoer
A. Natuurlijk ventileren	Natuurlijk (roosters)	Natuurlijk (kanaal)
C. Mechanische afzuiging	Natuurlijk (roosters)	Mechanisch
D. Balansventilatie met warmteterugwinning	Mechanisch	Mechanisch

Balansventilatie geeft extra energiebesparing door een warmteterugwinningssysteem (WTW). Voordat de afgezogen lucht wordt uitgeblazen, wordt er zoveel mogelijk warmte aan onttrokken. Hiermee wordt de buitenlucht die wordt aangezogen verwarmd. Voor het toepassen van balansventilatie zijn twee luchtkanalen nodig naar de ruimten waar geventileerd wordt. Er zijn tegenwoordig ook oplossingen met platte luchtkanalen of decentrale eenheden beschikbaar voor bestaande woningen.

3.3 Uitgangpunten renovatie

In de berekening van de toekomstige energievraag is voor de verbetering van de schil van de woningen uitgegaan van isolatie van de vloer met 7 cm PUR, het isoleren van het dak met 42 mm PUR platen en het toepassen geïsoleerd glas (HR++). Daarnaast worden kieren aangepakt, bijvoorbeeld door het toepassen van rubberen tochtstrippen en het dichtmaken van kieren en gaten met PUR schuim.

In Tabel 7 worden de oude en nieuwe isolatiewaarden uitgedrukt in Rc-waarden. De Rc-waarde is de mate van warmteweerstand van een bouwdeel. Hoe hoger de Rc, hoe beter de isolatie en hoe minder warmte verloren gaat.

Voor ramen en glas wordt de isolatiewaarde altijd gegeven in een U-waarde; dat is in feite het omgekeerde van een Rc waarde: hoe lager de U-waarde, hoe minder warmtestroom door het raam. De U-waarde van een raam is een combinatie van de U-waarde van het glas en de U-waarde van de kozijnen.

Er is aangenomen dat het bestaande afgiftesysteem reeds geschikt is voor lage temperatuurverwarming (bijv. vloerwarming), dat de bestaande radiatoren voldoende overcapaciteit hebben om met aanvoertemperaturen van maximaal 50 °C te functioneren of dat de bestaande radiatoren eenvoudig aangepast kunnen worden (met magnetische convectoren) om met lage aanvoertemperaturen om te kunnen gaan.

Tabel 7: Uitgangspunten renovatieconcept.

Bouwdeel	Bestaand	Na renovatie
Dak	$R_c = 1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	$R_c = 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Vloer	$R_c = 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	$R_c = 4,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Gevel (alleen hoekwoning)	$R_c = 1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	$R_c = 4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Ramen	$U = 2,0 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$	$U = 1,2 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
Kierdichting (Qv10)	$2 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$	$1 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$
Koken	Aardgas	Elektrisch

Type 5 tussenwoning is gebruikt als gemiddelde woning voor alle woningen in de TCO-berekening.

Omdat veel daken al voorzien zijn van zonnepanelen, kan dakisolatie relatief kostbaar zijn, waarbij de zonnepanelen eerst verwijderd moeten worden. Daarnaast wordt een dakrenovatie door een aantal bewoners omschreven als een hoge-impact ingreep. Als alternatief zouden zij kunnen kiezen voor een balansventilatiesysteem, omdat dit (ongeveer) dezelfde warmtevraagreductie behaalt.

In dit rapport is er van uit gegaan dat het dak geïsoleerd wordt en dat er alleen mechanische afzuiging van ventilatielucht plaats vindt. Echter, berekeningen van EnergyGO hebben aangetoond dat door balansventilatie toe te passen in plaats van het dak te isoleren, ongeveer dezelfde besparing op de ruimteverwarmingsvraag gerealiseerd wordt en daarmee een prima alternatief is. De total-cost-of-ownership van balansventilatie is echter wel hoger, vanwege de kortere afschrijftermijn (15 jaar) ten opzichte van dakisolatie (30 jaar). De initiële investeringskosten zijn ongeveer gelijk.

3.4 Investerings

Voor de kosten die deze renovatie met zich meebrengt (indicatie excl. BTW) is gebruik gemaakt van de getallen in Tabel 8. Hieronder zijn deze uitgangspunten samengevat.

Voor Banne-Noord is uitgegaan van de natuurlijke vervangmomenten en een projectmatige aanpak. De combinatie van huisbezoeken en discussies in de bijeenkomst heeft het beeld geschetst dat veel woningen binnenkort tegen noodzakelijk onderhoud aan onder meer het dak en kozijn lopen. Gezien het collectieve initiatief om van het gas af te gaan is dat een mooi moment om gezamenlijk ook energetische maatregelen te nemen. De getallen zijn exclusief BTW, peildatum 01-01-2017 en bevatten:

- Directe kosten (uurlonen, normen, prijzen (gemiddelden van leveranciers));
- Indirecte kosten (algemene uitvoeringskosten, algemene kosten, winst en risico).

De investeringen zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 8: Overzicht bouwkundige investeringskosten op basis van [1].

Object	Specificatie	Investering (excl. BTW)	Eenheid
Vloer	70 mm PUR Isolatie	39,00	€/m ²
Buitengevel (alleen hoekwoning)	Isolatie binnenzijde 100mm	96,00	€/m ²
Hellend dak	Renovatie dak elementen	32,00	€/m ²
Plat dak	42 mm PUR isolatie buitenzijde	59,00	€/m ²
Beglazing	Enkel/dubbel glas vervangen voor HR++	140,00	€/m ²
Kozijnen	Behouden kozijnen + toepassen kierdichting	146,00	€/woning
Voordeur	HR++ glas met behoud van deur	140,00	€/m ²
Kierdicht maken	Renovatiejaar 2018	1.164,00	€/woning

Tabel 9: Overzicht bouwkundige investeringskosten tussenwoning Type 5

Object	ex BTW	incl. BTW
Vloer	2.340 €	2.831 €
Buitengevel	1.824 €	2.207 €
Hellend dak	1.920 €	2.323 €
Plat dak	1.121 €	1.356 €
Beglazing	3.108 €	3.761 €
Kozijnen	146 €	177 €
Voordeur	252 €	305 €
Infiltratie	1.164 €	1.408 €
<i>Totaal</i>	<i>11.875 €</i>	<i>14.369 €</i>

3.5 Netto energievraag

Omdat de woningen relatief op elkaar lijken is ervoor gekozen om één type woning door te rekenen: de Type 5 tussenwoning. De netto energievraag voor ruimteverwarming en tapwater van dit woningtype na schilrenovatie is met het bouwfysisch softwarepakket Energeyes [6] bepaald. De renovatie van de schil van de bestaande naar de nieuwe situatie levert een verlaging van 40% van de netto ruimteverwarmingsvraag. In de onderstaande tabel is de netto energievraag per jaar voor ruimteverwarming en tapwater weergegeven.

Tabel 10: Netto energievraag voor ruimteverwarming en tapwater (na renovatie) per woning.

Gebouwtype	Ruimteverwarming		Tapwater	
	GJ/jaar	kWh _{th} /jaar	GJ/jaar	kWh _{th} /jaar
Type 5 tussenwoning	15,0	4.167	7,0	1.944

4. Bronnen, dragers en opslag

In dit hoofdstuk zijn de potentiële energiebronnen, energiedragers en energieopslagsystemen geanalyseerd op hun toepasbaarheid binnen Banne-Noord.

4.1 Bronnen en dragers

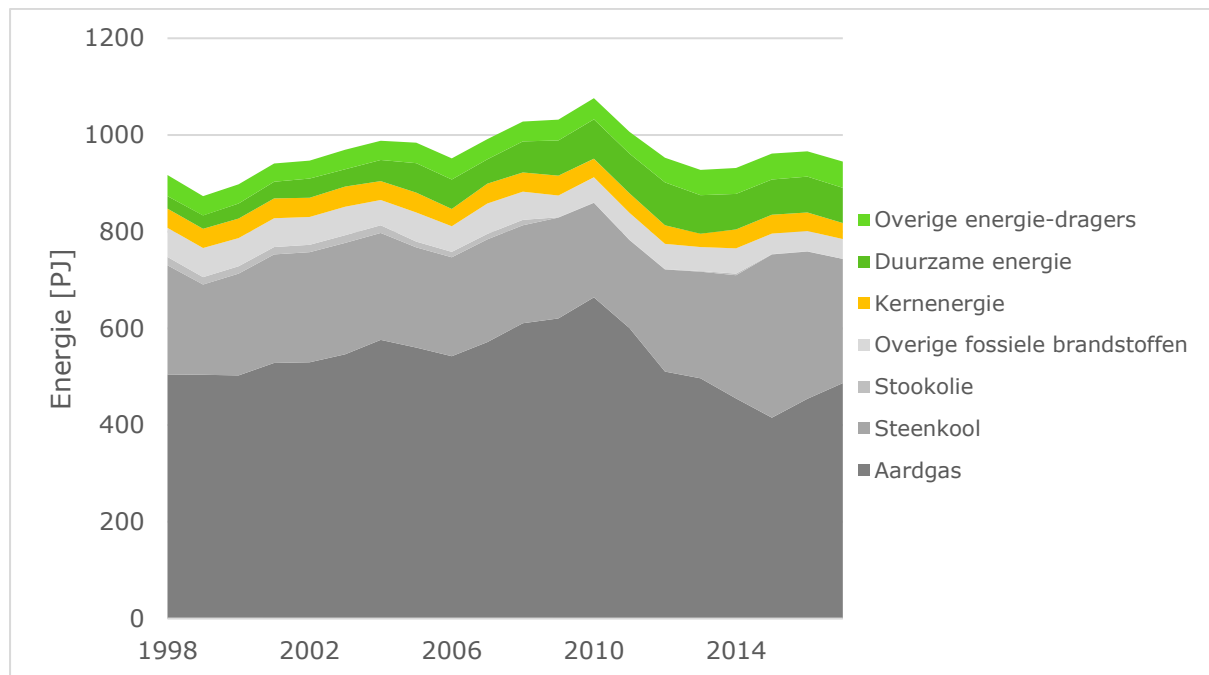
Verkend is welke energiebronnen en/of energiedragers warmte zouden kunnen leveren aan Banne-Noord. In Tabel 11 is een overzicht gemaakt van de primaire energiebronnen (de vorm van de energie, die in de natuur voorkomt: zoals zon, wind, en water) de techniek om deze primaire energiebron om te zetten naar warmte (bijvoorbeeld zonnecollectoren) en de resulterende energiedrager van de warmte zoals die aan het lokale energiesysteem of de woning geleverd wordt (bijvoorbeeld warm water of een brandstof).

Tabel 11: Bronnen, technieken en dragers voor warmte.

Bron	Techniek	Energiedrager
Bodem	Geothermie (~ 1 km diep in de grond)	Water (70 - 100 °C)
Zon	Zonnecollectoren	Water (30 - 80 °C)
Lucht	Dry coolers	Water (5 - 25 °C)
	Lucht-water warmtepompen, airco's	Water (5 - 80 °C)
Water	Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO).	Water (5 - 25 °C)
	Thermische energie uit afvalwater (TEA)	Water (ca 16 °C)
	Thermische energie uit drinkwater (TED)	Water (5 - 25 °C)
Restwarmte	Datacenters	Water (ca 30°C)
	Afvalverbrandingsinstallaties	Water (50 - 110 °C)
	Metro	Water (< 25 °C)
	Industrie	Water (ca 30 - 60 °C)
Biomassa	Houtpellets	Houtpellets
	Vergisting	Biogas
	Vergisting en opwaardering van biogas	Groen gas
Zon of wind	Opwekking duurzame elektriciteit	Elektriciteit
	Elektrolyse van water met elektriciteit	Waterstofgas

Hulpenergie in de vorm van elektriciteit is nodig om de warmte aan de bronnen te onttrekken. Elektriciteit is bijvoorbeeld nodig om warm water door een warmtenet te pompen of om warmtepompen te voeden. Elektriciteit kan (deels) zelf opgewekt worden met zonnepanelen (PV). De woningen in Banne-Noord zijn zeer geschikt voor toepassing van zonnepanelen. Een aanzienlijk deel van de woningen heeft dan ook al zonnepanelen op haar dak liggen.

De elektriciteit die niet lokaal kan worden opgewekt, komt van het landelijke elektriciteitsnet en bestaat uit een mix van bronnen zoals weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4: Inzet energiedragers voor elektriciteitsproductie in voor de jaren 1998-2017. [4]

De Nederlandse elektriciteitsmix is op dit moment nog niet duurzaam. In 2050 moet de CO₂-uitstoot van elektriciteit nul zijn.

Waterstof is een energiedrager. Groene waterstof wordt gemaakt door water met behulp van duurzame elektriciteit te splitsen in waterstofgas en zuurstof. Waterstof maakt op dit moment nog geen deel uit van de Nederlandse energiemix. Dit kan in de toekomst veranderen.

4.2 Opslag

De vraag naar energie en het aanbod van hernieuwbare energie lopen niet synchroon. Het aanbod van zonne-energie is in de zomer groot en kleiner als er veel vraag is in de winter. Dit geldt ook voor warmte uit oppervlaktewater. Sommige restbronnen zoals een datacenter zijn continu beschikbaar. Het opslaan van warmte in een buffer (opslag) in de zomer ten behoeve voor het gebruik in de winter zorgt voor een betere afstemming van de vraag en het aanbod. Opslag kan plaatsvinden op grote en kleine schaal, en bij hoge of lage temperatuur. Een overzicht van de verkende opslagmogelijkheden is te vinden in Tabel 12.

Tabel 12: Opslag en toepassingsmogelijkheden.

Opslag	Omschrijving	Temperatuur	Schaal	Past bij ...
Open WKO	Warmte en koude wordt opgeslagen in ondergrondse waterlagen.	5 - 15 °C	Wijk	TEO, TEA, TED, zonnecollector, datacenters
Gesloten WKO	Warmte en koude wordt opgeslagen in een ondergrondse waterlaag.	5 - 15 °C	Huis, blok	Moet in balans blijven!
Ecovat	Ondergrondse betonnen bunker gevuld met water.	5 - 90 °C	Wijk	Alle, liefst in combinatie met een overschot aan groene stroom
HoCoSto	Open ontgraving gevuld met water.	5 - 90 °C	Huis, blok	Zonnecollector
Buffervat	Stalen vat met water.	5 - 90 °C	Huis	5 - 50 °C warmtenet, zonnecollectoren
Warmtebatterij	Zouthydraten.	n.v.t.	Blok	Hoger dan 70 °C, of een overschot aan groene stroom
Fase Overgangs-Materialen (PCM's)	Smeltend zout	10 - 90 °C	Huis, blok	In huis: dag/nacht overschotten aan warmte (geen seizoensopslag)

4.3 Afgevalen bronnen, dragers en opslag

Alle bronnen, technieken, dragers en opslagmogelijkheden zijn beoordeeld op basis van:

- Beschikbaarheid
- Geschiktheid voor een uitvoerbare warmteketen
- Stand van de techniek
- Kosten
- Ruimtelijke inpasbaarheid.

Deze beoordeling is weergegeven in Tabel 13. Een bron/techniek met een rode score valt direct af. Oranje scores kunnen in een latere fase met goede onderbouwing meegenomen worden. In deze haalbaarheidsstudie wordt uitsluitend verder gegaan met de groene scores op alle 5 beoordelingen om warmtescenario's op te stellen.

Tabel 13: Bronnen, dragers, opslag en technieken - met en zonder perspectief in de buurt.

Omschrijving	Beschikbaarheid	Geschiktheid	Techniek	Kosten	Ruimte
Geothermie	Prototype		Onzeker	Onzeker	Onzeker
Zonnecollectoren					Concurrereert met zonnepanelen.
Dry coolers		Geluid			
Lucht Warmtepomp		Geluid			Groot
Airco's		Geluid			
TEO	99 TJ				
TEA	107 TJ				
TED	Onvoldoende				
Datacenters	Niet aanwezig				
Afvalverbranding					
Metro	Onzeker			Onbekend	Onbekend
Houtpellets		CO2, fijnstof			
Biogas	Onzeker				
Groengas	Onzeker				
Waterstofgas	Onvoldoende			Duur	
Kernenergie	Niet lokaal	Risico's		Duur	
Open WKO	381 TJ				
Gesloten WKO	180 TJ				Onzeker
Ecovat				Onbekend	Groot
HoCoSto					Groot
Buffervat 200 l					
Warmtebatterij			Niet gereed	Onbekend	
PCM's				Onbekend	Onbekend

5. Warmtescenario's

In dit hoofdstuk zijn de vijf warmtescenario's beschreven die zijn doorgerekend en vergeleken.

5.1 Beschikbare bronnen en temperaturen

Uitgangspunten zijn de ruime beschikbaarheid van thermische energie uit stromend oppervlaktewater in de kanalen rond Banne-Noord, de nabijheid van een rioolpersleiding en de mogelijkheid tot aansluiten op het stadswarmtenet van Westpoort Warmte. Daarnaast is een individuele all-electric oplossing onderzocht. Andere bronnen zijn afgefallen, zoals beschreven in paragraaf 4.3. De thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) en thermische energie uit afvalwater (TEA) kunnen worden benut in combinatie met een WKO (warmte-koudeopslag in de bodem). De warmtebehoefte in de woningen kan in koelere seizoenen deels gedekt worden met warmte uit de WKO. Om deze in balans te houden wordt deze in de zomer geregenereerd met warmte uit het oppervlaktewater of afvalwater.



Figuur 5: Geschikt gebied voor thermie uit oppervlaktewater (lichtblauw), afvalwater (paars) en stadswarmte (rood).

5.2 Wijk warmte scenario's

In de woningen geven de bestaande radiatoren na renovatie voldoende warmtevermogen bij een aanvoertemperatuur van 50 °C. Bij het toepassen van een warmtepomp in de woning zelf (lucht/water of water/water) is het wenselijk, maar niet noodzakelijk, om de aanvoertemperatuur in de woning naar 35 °C te brengen. Woningen met vloerverwarming

kunnen dit al. Woningen die beschikken over radiatoren kunnen met het toepassen van convectoren (kosten: enkele tientjes) alsnog naar een aanvoertemperatuur van 35 °C. De warmtepomp is bij een aanvoertemperatuur van 35 °C efficiënter dan bij 50 °C. Warm tapwater moet aan het tappunt geleverd worden met een temperatuur van minimaal 58 °C om de legionellabacterie geen kans te geven.

Voor de 181 woningen aan de oostzijde van Banne-Noord is gekeken naar aansluiting op het stadswarmtenet van Westpoort Warmte en een individuele oplossing met all-electric lucht-water warmtepompen. Daarnaast zijn twee scenario's op basis van TEO (thermische energie uit oppervlaktewater) en een scenario op basis van TEA (thermische energie uit afvalwater) onderzocht.

Voor de 49 woningen aan de Westerlengte van Banne-Noord is een lokaal warmtenet niet haalbaar zonder dat hier ook omliggende gebouwen van de woningcorporaties worden aangesloten. Het warmtenet is te kleinschalig om financieel haalbaar te zijn. De individuele oplossing (scenario A: all-electric) en aansluiting op het warmtenet van Vattenfall scenario E) behoren wel tot de oplossingen.

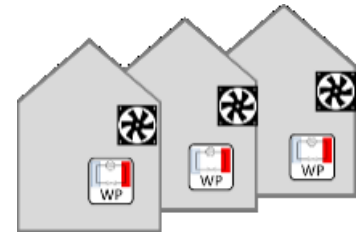
Een (wijk)warmtenet op basis van TEO of TEA kan op verschillende temperatuurniveaus worden ontworpen. De lokale warmtescenario's hebben elk een ander temperatuurniveau waarop het water van het warmtenet wordt geleverd aan de woning, waarbij twee scenario's te onderscheiden zijn: het warmtenet levert dezelfde temperatuur als het warmteafgiftesysteem nodig heeft (50 °C) of het warmtenet levert "koele" warmte van 16 °C welke door middel van een water/water warmtepomp in de woning tot de gewenste temperatuur wordt opgewaardeerd.

Dit leidt tot scenario's zoals weergegeven in Tabel 14. In Figuur 6 zijn de scenario's met bijbehorende onderdelen gevisualiseerd. In Tabel 15 staat samengevat welke installaties per scenario in de woning vereist zijn en in Tabel 16 staat de in de berekeningen gehanteerde efficiëntie van de installaties.

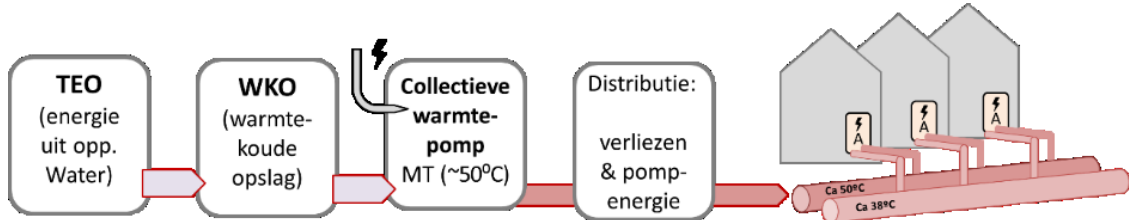
Tabel 14: Overzicht van de scenario's

Scenario	Omschrijving
A. All-electric	Het all-electric scenario is een individuele oplossing zonder warmtenet. Elke woning krijgt een eigen lucht-water warmtepomp die de lucht als warmtebron gebruikt. Hiervoor is een zogenaamde 'buitenunit' (nodig. Dezelfde warmtepomp kan ook koeling leveren, waarbij de onttrokken warmte aan de buitenlucht wordt afgegeven.
B. TEO Lokaal warmtenet - 50 °C	Op wijkniveau levert een wijk warmtenet water van 50°C aan de woningen. Deze warmte wordt geproduceerd met grote collectieve warmtepompen, die TEO als bron gebruiken in combinatie met een WKO. De aan de woningen geleverde temperatuur van 50°C kan direct voor ruimteverwarming worden gebruikt; voor tapwater is na-verwarming nodig. Hiervoor bestaan afleversets met geïntegreerde na-verwarming en een klein boilervat. Voor koeling is een airco nodig.
C. TEO Lokaal warmtenet - 15 °C	Het wijkwarmtenet levert water van ca 15°C aan de woningen. Dit is de temperatuur die direct vanuit de WKO en TEO geleverd kan worden; er is dus geen collectieve warmtepomp nodig. Een combi-warmtepomp produceert in de woning zowel ruimteverwarming als tapwater. Koeling kan het hele jaar door vanuit het net worden geleverd, waarbij eigenlijk geldt: hoe meer koeling hoe beter, omdat dit de balans van de WKO positief beïnvloedt en minder regeneratie met oppervlaktewater nodig is.
D. TEA Lokaal warmtenet - 15 °C	Op wijkniveau levert een wijk warmtenet water van ca 15°C aan de woningen. Dit is de temperatuur die direct vanuit de WKO en TEA geleverd kan worden; er is dus geen collectieve warmtepomp nodig. Een combi-warmtepomp in de woning produceert zowel ruimteverwarming als tapwater. Koeling kan het hele jaar door vanuit het net worden geleverd, waarbij eigenlijk geldt: hoe meer koeling hoe beter, omdat dit de balans van de WKO positief beïnvloedt en minder regeneratie met afvalwater nodig is.
E. Warmtenet - 70 °C	Een wijk warmtenet levert water van 70°C aan de woningen. Vattenfall (Westpoort Warmte) transporteert deze warmte aan het wijkwarmtenet. Deze temperatuur is hoog genoeg om direct ruimteverwarming én tapwater mee te produceren in de woning. Voor koeling is een airco nodig.

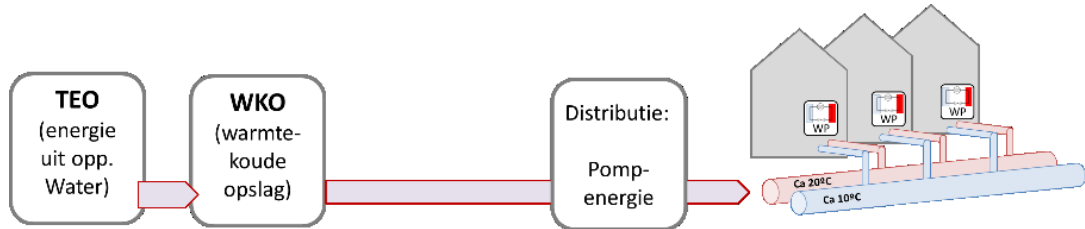
Scenario A: Individuele optie met lucht/water warmtepomp



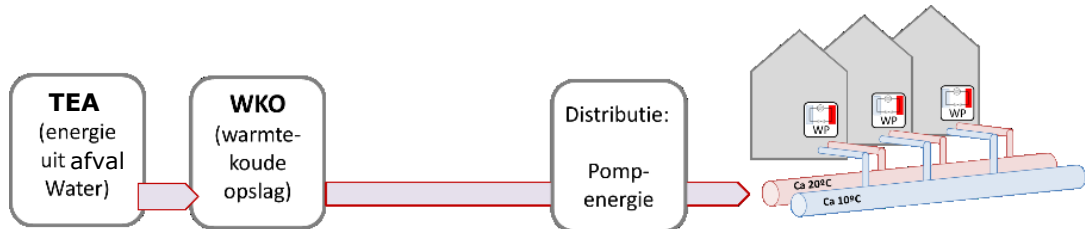
Scenario B: Warmtenet van 50°C met TEO, WKO en buurtwarmtepompen.



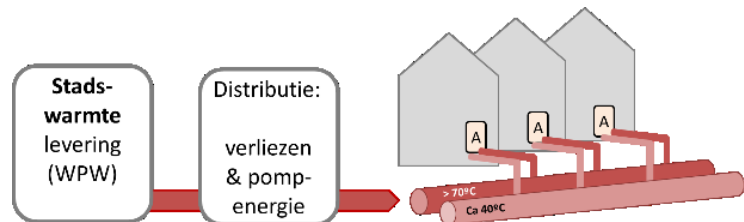
Scenario C: Warmtenet van 15°C met. TEO, WKO individuele warmtepompen.



Scenario D: Warmtenet van 15°C met TEA, WKO en individuele warmtepompen.



Scenario E: Hoog temperatuur stadswarmtenet (>70 °C) geleverd door Westpoort Warmte.



Buitenunit Lucht/water warmtepomp

Afleverset HT

Afleverset MT met tapwater naverwarmer

Warmtepomp voor ruimteverwarming & tapwater

Figuur 6: Overzicht van de gekozen warmtescenario's.

Tabel 15: Overzicht van de scenario's en de gebruikte technieken.

Scenario	Ruimteverwarming	Tapwater
A. All-electric	Lucht/water warmtepomp	Lucht/water warmtepomp
B. TEO Warmtenet - 50 °C	Afleverzet	Afleverzet met elektrische boiler
C. TEO Warmtenet - 15 °C	Afleverzet	Afleverzet met booster
D. TEA Warmtenet - 15 °C	Afleverzet	Afleverzet met booster
E. Warmtenet - 70 °C	Afleverzet	Afleverzet

Tabel 16: Overzicht van de coëfficiënt of performance (COP) voor het opwaarderen van ruimteverwarming en tapwater.

Scenario	Ruimteverwarming	Tapwater
A. All-electric	4,0	1,9
B. TEO Warmtenet - 50 °C	Directe levering	1
C. TEO Warmtenet - 15 °C	6	4
D. TEA Warmtenet - 15 °C	6	4
E. Warmtenet - 70 °C	Directe levering	Directe levering

5.3 Kosten

In Tabel 17 is een overzicht gegeven van de installaties en bijbehorende investeringskosten zoals toegepast in de verschillende concepten. Dit overzicht bevat de installaties binnen de systeemgrens van de woning. De aansluitkosten op het warmtenet (BAK – bijdrage aansluitkosten) zijn meegenomen als eenmalige investering boven op de leveringsprijs van warmte. Daarom is deze niet in onderstaand overzicht meegenomen. In dit overzicht zijn de kosten opgegeven door diverse leveranciers aangehouden.

Tabel 17: Investeringskosten installaties.

Installatie		Investeringskosten (excl. BTW)	Bron
Verwarming	Warmtepomp water/water inclusief boilervat	€ 7.500,00	Toros Vision Techneco
	Warmtepomp lucht/water exclusief boilervat	€ 6.500,00	NIBE F2120
	Boilervat 200L	€ 1.472,90	Itho Daalderop
Warm tapwater	Boiler + elektrisch verwarmingselement	€ 1.178,00	Arcadis 2017; Toros Vision Techneco (inclusief elektrisch rendement)
	Boosterwarmtepomp met 200L boiler	€ 4.393,90	Itho Daalderop: WP BWP-20-W met voorverwarmer €2421, boiler 200L IGB-200S €1472,90, aansluitkosten €500
Koeling	Airconditioning	€ 600,00	Mitsubishi 2kW SRK/SRC 20-SZ-W
Kookinstallatie	Inductiekookplaat	€ 1.025,00	Samsung NZ64K5747BK (coolblue.nl) € 485 + aansluitkosten € 540 (werkspot)

6. Energie en CO₂ uitstoot

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenresultaten voor het energiegebruik per woningtype, het totale energiegebruik voor Oosterlengte, de benodigde energie en CO₂ uitstoot per warmtescenario en hoe de elektriciteitsvraag kan worden verduurzaamd.

6.1 Energiegebruik per gebouwtype

Begonnen is met het bepalen van de hoeveelheid en de vorm van de energie die aan de woning geleverd moet worden ten behoeve van ruimteverwarming, ruimtekoeling en warm tapwater. Dit wordt de finale energie genoemd; deze is per gebouwtype berekend met behulp van het bouwfysische softwarerekenprogramma Energeyes [6]. Vervolgens zijn de energiestromen in de gehele wijk en de bijbehorende CO₂-emissies berekend.

Het gebruik van aardgas, elektriciteit en warmte voor een Type 5 tussenwoning is voor de verschillende scenario's weergegeven in Tabel 18. Deze woning is ook gebruikt in het TCO-model. Aardgas is vanzelfsprekend alleen nog aanwezig in de bestaande situatie. Daarbij is gekeken naar het aardgasverbruik zoals bekend uit open data en het aardgasverbruik zoals berekend. Het elektriciteitsgebruik is in alle warmtescenario's hoger dan het elektriciteitsgebruik in de bestaande situatie. Dit is het gevolg van het toepassen van mechanische ventilatie (afzuiging) elektrisch koken en koeling.

Tabel 18: Finale energievraag (op de meter) van een type 5 woning in de verschillende warmtescenario's.

Scenario Type 5 tussenwoning	Aardgas [m ³ /jaar]	Elektriciteit [kWh/jaar]	Warmte [GJ/jaar]
Bestaande situatie (open data)	1.498	3.240	
A. All-electric		5.816	
B. TEO Warmtenet - 50 °C		4.079	20,5
C. TEO Warmtenet - 15 °C		4.851	18,8
D. TEA Warmtenet - 15 °C		4.851	18,8
E. Warmtenet - 70 °C		3.576	22,0

6.2 Totaal energiegebruik gebouwen

De totale warmte- en elektriciteitsvraag van de 181 woningen op basis van Type 5 aan de Oosterlengte zijn bepaald. Het aantal van 49 woningen aan de Westerlengte is te klein om hiervoor een warmtenet aan te leggen. Mochten in de toekomst ook omliggende gebouwen van bijvoorbeeld woningcorporaties willen aansluiten op een warmtenet, dan zijn de resultaten aan de Oosterlengte ook toepasbaar op de woningen aan de Westerlengte.

In Tabel 19 is de totale netto warmtevraag in GJ/jaar weergegeven per scenario. Dit is de hoeveelheid warmte die door een warmtenet geleverd moet worden. Scenario A maakt

gebruik van een individuele lucht/water warmtepomp en heeft dus geen aansluiting op een warmtenet nodig.

Tabel 19: Totale vraag van de woningen naar warmte uit een warmtenet in GJ/jaar, uitgesplitst naar warmtescenario.

	Aantal	A.	B.	C.	D.	E.
Type 5 tussenwoning	181	n.v.t	3.705	3.406	3.406	3.982

De totale elektriciteitsvraag ten behoeve van de levering van warmte en koude is weergegeven in Tabel 20. Het elektriciteitsgebruik voor huishoudelijke apparatuur, verlichting en ventilatie is buiten beschouwing gelaten omdat deze geen deel uitmaken van de warmteketen. Het elektriciteitsgebruik voor deze toepassingen is gelijk in alle scenario's.

Tabel 20: Totale elektriciteitsvraag in kWh/jaar van de woningen ten behoeve van het leveren van de warmtevraag die het warmtenet moet leveren, uitgesplitst naar warmtescenario.

	Aantal	A.	B.	C.	D.	E.
Totaal	181	411.956	97.559	237.291	237.291	6.516

6.3 Totale energievraag warmtescenario

Warmtenetten, of ze nu een hoge of lage temperatuur hebben, verliezen warmte omdat de (warme) pijpen in de grond voortdurend een beetje afkoelen. De warmte als gevolg van deze leidingverliezen bij distributie moet uiteindelijk ook door de bron geleverd worden.

Daarnaast heeft een warmtenet elektriciteit nodig voor het rondpompen van water, het regenereren van de bronnen met behulp van oppervlaktewater of afvalwaterthermie en het verhogen van de temperatuur met behulp van een warmtepomp.

Tabel 21 geeft de totale benodigde warmte uit de bron en de totale elektriciteitsvraag weer voor de verschillende warmtescenario's.

Tabel 21: Benodigde energie per warmtescenario op wijkniveau, inclusief leidingverliezen.

Scenario	Elektriciteit Woningen [MWh/jaar]	Elektriciteit Wijkstelsysteem [MWh/jaar]	Elektriciteit Totaal [MWh[/jaar]	Hoeveelheid warmte [GJ/jaar]
A. All-electric	412	0	412	n.v.t
B. TEO Warmtenet - 50 °C	98	352	450	3.514
C. TEO Warmtenet - 15 °C	237	56	293	3.786
D. TEA Warmtenet - 15 °C	237	56	293	3.786
E. Warmtenet - 70 °C	7	7	14	5.096

6.4 CO₂ emissies

De jaarlijkse CO₂ uitstoot op wijkniveau is opgebouwd uit de CO₂ uitstoot bij het gebruik van warmte en het gebruik van elektriciteit. Voor stadswarmte is de CO₂-uitstoot berekend door de hoeveelheid aan het wijkonderstation geleverde warmte te vermenigvuldigen met de emissiefactor en daar de CO₂ uitstoot van elektriciteit voor ruimtekoeling en pompen in de wijk bij op te tellen.

In alle andere scenario's draagt alleen het elektriciteitsgebruik, zowel op woning als wijkniveau, bij aan de CO₂ uitstoot. De warmte in deze scenario's is vrij van emissies omdat deze duurzaam gewonnen wordt uit oppervlaktewater. Tabel 22 geeft de totale CO₂ uitstoot weer voor het jaar 2020.

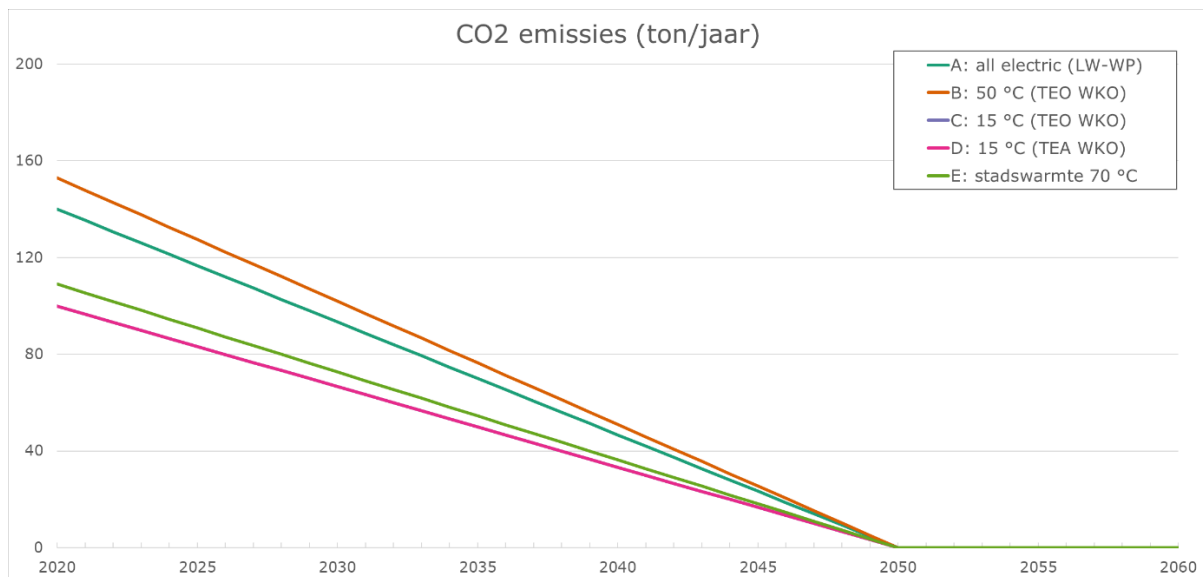
Tabel 22: Totale CO₂ uitstoot op wijkniveau per scenario (som van wijk en woning) voor het jaar 2020.

Scenario	Elektriciteit [ton CO ₂ /jaar]	Warmte [ton CO ₂ / jaar]	Totaal [ton CO ₂ / jaar]
A. All-electric	140		140
B. TEO Warmtenet - 50 °C	153		153
C. TEO Warmtenet - 15 °C	100		100
D. TEA Warmtenet - 15 °C	100		100
E. Warmtenet - 70 °C	5	99	104

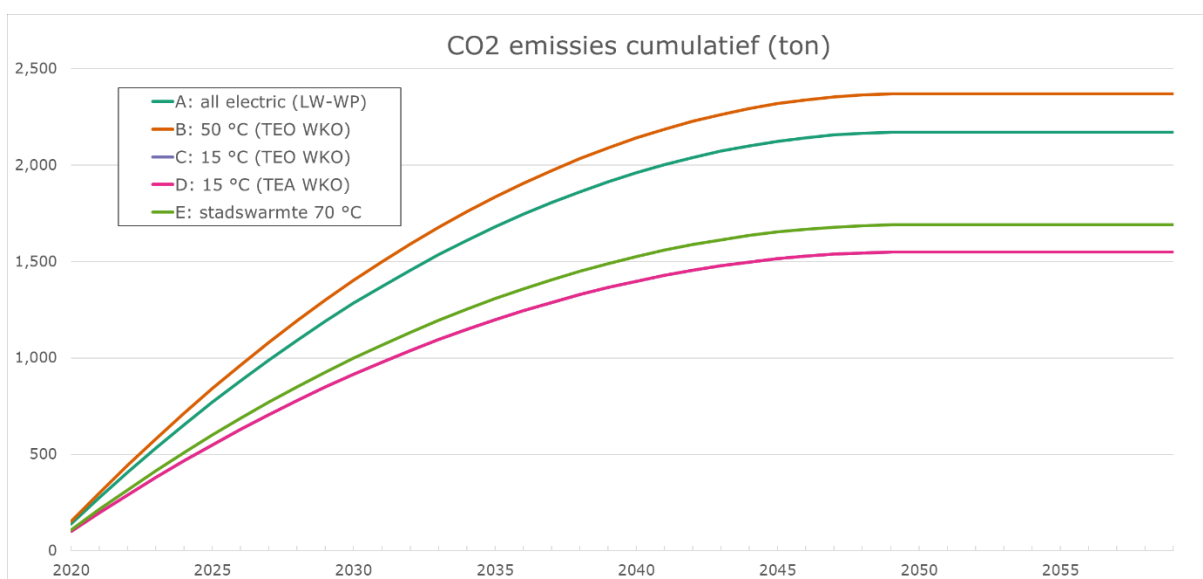
Scenario C en D hebben de laagste CO₂ uitstoot. De huidige CO₂ uitstoot van de 181 woningen veroorzaakt door de aardgasgestookte cv-ketels ligt op ruim 512 ton per jaar. Alle scenario's hebben daardoor een positieve impact op het klimaat.

De totale CO₂ uitstoot neemt in de jaren erna af, doordat de CO₂ uitstoot van zowel elektriciteit als stadswarmte elk jaar vermindert. In 2050 moeten zowel stadswarmte als elektriciteit vrij van CO₂. Deze cijfers zijn gebaseerd op de ambitie van het Klimaatakkoord voor elektriciteit en de opgave van Vattenfall voor warmte.

De jaarlijkse CO₂-uitstoot op wijkniveau tussen 2020 en 2060 is weergegeven in Figuur 7 en de cumulatieve CO₂-uitstoot over deze periode in Figuur 8.



Figuur 7: Jaarlijkse CO₂-emissies van 2020 tot 2060. Scenario C en D hebben dezelfde uitstoot, waardoor de lila-gekleurde lijn bovenop de paarse lijn ligt.



Figuur 8: Cumulatieve CO₂-emissies van 2020 tot 2060. Scenario C en D hebben dezelfde uitstoot, waardoor de lijn van scenario C niet zichtbaar is.

De jaarlijkse en de cumulatieve CO₂ uitstoot van scenario A en B zijn significant hoger dan de uitstoot van de scenario's C, D en E. Deze laatste drie scenario's liggen dicht bij elkaar, waarbij scenario E de laagste jaarlijkse CO₂-uitstoot heeft.

6.5 Duurzame elektriciteit

De elektriciteitsvraag moet de komende 30 jaar worden verduurzaamd om de CO₂-uitstoot naar nul te brengen. Hoewel dit een landelijke opgave is, kan de Banne-Noord hier zelf aan bijdragen. In Tabel 23 is weergegeven hoeveel zonnepanelen of windturbines nodig

zijn om de elektriciteitsvraag voor de warmtevoorziening duurzaam in te vullen. De benodigde elektriciteit voor o.a. huishoudelijke apparaten is hierin niet meegenomen.

Tabel 23: Elektriciteitsbehoefte per warmtescenario.

Scenario	Benodigde input	Benodigde opwek (buiten de wijk)
A. All-electric	412 MWh elektriciteit	<ul style="list-style-type: none"> • Of 1.648 zonnepanelen • Of 1,9 windturbines van 100 kW
B. TEO Warmtenet - 50 °C	450 MWh elektriciteit	<ul style="list-style-type: none"> • Of 1.800 zonnepanelen • Of 2,0 windturbines van 100 kW
C. TEO Warmtenet - 15 °C	293 MWh elektriciteit	<ul style="list-style-type: none"> • Of 1.172 zonnepanelen • Of 1,3 windturbines van 100 kW
D. TEA Warmtenet - 15 °C	293 MWh elektriciteit	<ul style="list-style-type: none"> • Of 1.172 zonnepanelen • Of 1,3 windturbines van 100 kW
E. Warmtenet - 70 °C	-	<ul style="list-style-type: none"> • Geleverd door Westpoort Warmte

7. Financiële analyse

Voor de analyse van de vijf warmtescenario's is gewerkt met het TCO-model (TCO = total cost of ownership) van Waternet (ondersteund door Twynstra en Gudde). In dit model zijn alle relevante te verwachten kosten van aanleg en materialen voor bronnen, leidingen, opslagmiddelen, onderhoud en beheer verwerkt. Het model is gebaseerd op door de onderzoekers ingevoerde basisgetallen over te verwachten prijsstijgingen, rente e.d.

Het volledige TCO-model is ter beschikking gesteld aan de betrokken stakeholders. Dit hoofdstuk beschouwt de high lights van de uitkomsten van het model beschouwd.

7.1 TCO-model

De (meer)kosten zijn voor elk warmtescenario bepaald.

De meerkosten bestaan op gebouwniveau uit de investeringen en onderhoudskosten voor de energiebesparende maatregelen door bouwkundige aanpassingen (isolatie en glas) en installaties (verwarmingsapparaten, installaties en airco's). Het reguliere en meerjaren onderhoud zijn buiten beschouwing gelaten.

De meerkosten voor de lokale warmtekets (TEO, TEA en WKO) betreffen de investeringen en beheerkosten voor de TEO- TEA- en de WKO-installaties, de distributieleidingen tussen deze beide installaties, de distributieleiding van de WKO naar de woningen, een warmtepomp en een afleverset voor iedere woning; daar komt een circulatiepomp bij voor het scenario van 50 °C. De operationele kosten voor de hulpenergie van pompen zijn ook meegenomen.

De meerkosten voor stadsverwarming (70°C) betreffen de aanleg van het wijkwarmtenet en de kosten voor de aansluiting van de wijk op het warmtetransportnetwerk van Vattenfall.

De totale meerkosten van een warmteketen over een periode van 40 jaar is uitgedrukt in een netto contante waarde per woning. De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende parameters:

Looptijd:	40 jaar	Conform opdrachtgever.
Discontovoet	3%	Conform standaardpercentage maatschappelijke kostenbaten analyses.
Rente	3%	De rente op geleend kapitaal.
Inflatie algemeen:	2%	Doelstelling ECB.
Inflatie elektriciteit:	2,5%	Op basis van prijsontwikkeling van de afgelopen 15 jaar.
Inflatie warmte:	3%	Op basis van prijsontwikkeling van de afgelopen 15 jaar.
BTW	21%	Standaardwaarde

Het TCO-model werkt op hoofdlijnen als volgt: alle te maken investeringen worden met geleend geld gefinancierd en jaarlijks afgelost mét een te betalen rentepercentage. Daarbij is aangenomen dat de investeringen in 1 jaar worden gedaan. Alle 181 woningen stappen tegelijkertijd van het aardgas af.

De aflossing en rente zijn kosten. Andere jaarlijkse kosten zijn bijvoorbeeld de inkoop van energie, brandstof en operationele zaken (onderhoud & beheer). Deze kosten worden gecorrigeerd voor prijsverhogingen en inflaties.

De totale jaarlijkse kosten vormen de som van alle bovengenoemde kosten. Voor deze totale kosten wordt vervolgens de netto contante waarde uitgerekend voor dat jaar met de gegeven discontovoet. Vervolgens wordt de netto contante waarde van alle jaren bij elkaar opgeteld, gedeeld door de looptijd (40 of 20 jaar) en gedeeld door het aantal woningen.

Onderstaande tabel geeft een fictief voorbeeld van de bepaling van de netto contante waarde per jaar. De investering is met een lening gefinancierd, waarvoor jaarlijks een aflossing en rentebedrag verschuldigd zijn. De totale netto contante waarde komt uit op € 16.433. Stel dat het hier 10 woningen betreft, dan is de netto contante waarde per woning per jaar ($\text{€ } 16.433,00 / 10 \text{ woningen} / 5 \text{ jaar}$) = € 329.

	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4	Jaar 5	NCW
Aflossing & rente	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
Operationele kosten	1.000	1.050	1.100	1.150	1.200	
Energiekosten	300	400	500	600	700	
Totaal	3.300	3.450	3.600	3.750	3.900	
NCW	3.203	3.250	3.290	3.330	3.360	16.433

In het TCO-model worden alle kosten uiteindelijk verwerkt in een warmtetarief voor de scenario's B t/m E, in het individuele scenario A. is geen sprake van een warmtetarief. In alle scenario's komt het er in het model op neer dat de gebruiker uiteindelijk alle kosten betaalt. Op die manier geeft de berekende netto contante waarde een betrouwbare benadering van de te verwachten jaarlijkse kosten.

Het TCO-model is niet geschikt om de business case voor één of meer van de stakeholders apart te berekenen.

7.2 Berekening

Voor alle scenario's zijn de investeringskosten in de woning (isolatie en installaties), de wijk (infrastructuur, onderstations) en in de energiebron (TEO, TEA) bepaald, samen met de bijbehorende operationele- en energiekosten.

De scenario's B, C en D kennen een lokaal warmtenet, waarbij bron, distributie en aflevering binnen de systeemgrenzen van het TCO model valt. Voor scenario A (all electric)

geldt dat geen wijkaanpak plaats vindt en dat alle investeringen ook binnen de systeemgrens vallen.

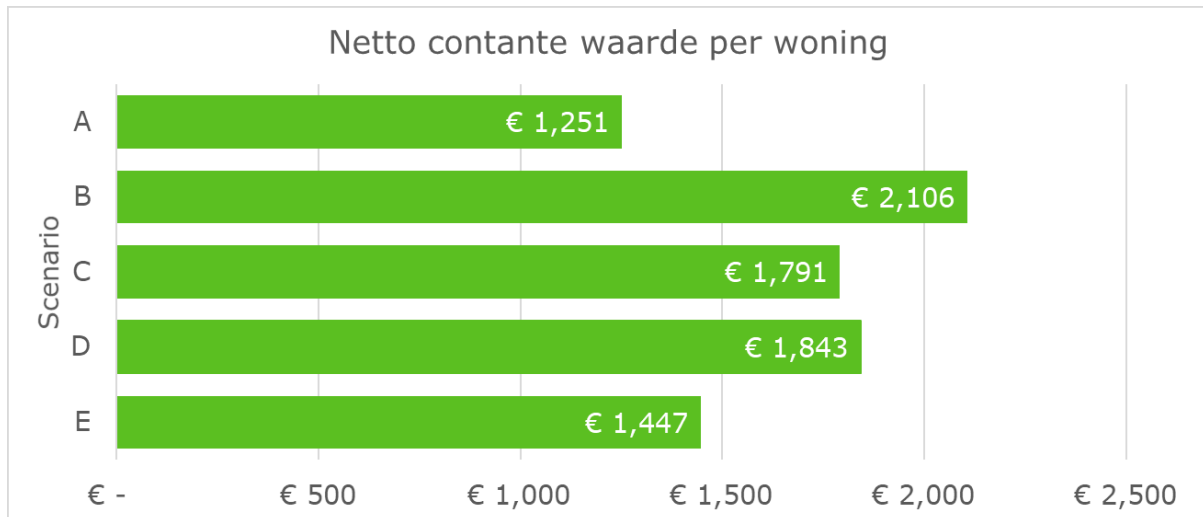
Scenario E is een buitenbeentje, omdat een deel van de investeringen en kosten buiten de systeemgrens liggen: namelijk het warmtetransportnet naar de wijk en het opwekken van warmte in de AEB afvalverbrandingsinstallatie. Om scenario E zo realistisch mogelijk te kunnen vergelijken met de scenario's B, C en D is ervoor gekozen om voor te doen dat er een lokaal warmtebedrijf is, dat 1 aansluiting heeft op het warmtenet van Vattenfall. De wijk wordt door Vattenfall dus gezien als een grote industriële aansluiting. Het lokale warmtebedrijf doet, net als in de andere scenario's, zelf de investeringen voor de distributie en levering van warmte aan de woningen. Dit lokale warmtebedrijf betaalt vervolgens een eenmalige aansluitbijdrage en een periodieke vastrechtvergoeding aan Vattenfall voor de aansluiting op het warmtetransportnet. Tevens koopt het lokale warmtebedrijf warmte in op eenzelfde wijze als deze elektriciteit inkoopt in de scenario's B, C en D ten behoeve van de pomp voor TEO/TEA en de warmtepompen in de onderstations. In de praktijk zal het "lokale" warmtebedrijf ook gewoon Vattenfall zijn.

Vattenfall heeft, in overleg met de gemeente Amsterdam de prijzen bepaald voor een wijkaansluiting. De prijzen zijn door EnergyGO geverifieerd en worden realistisch geacht. Het betreft een eenmalige aansluitbijdrage van 280.000 euro, een jaarlijks vastrecht van 15.175 euro en een prijs voor levering van warmte aan het wijkverdeelstation van 8,72 euro/GJ.

7.3 Totale kosten per scenario

In Figuur 9 is de netto contante waarde per woning per jaar per scenario gepresenteerd. Hoe lager het getal, hoe lager de totale kosten zijn. Scenario A (individuele warmtepompen) komt duidelijk als minst kostbare uit de bus, op de voet gevolgd door het Scenario E (stadswarmte). Alle varianten van TEO en TEA zijn relatief kostbaar.

Belangrijk om hierbij op te merken is dat voor scenario A een verzwaring van het elektriciteitsnet noodzakelijk is. De kosten van verzwaring van een all-electric woning bedragen € 2.500 per woning aldus Liander (2018). Deze kosten zijn onderdeel van het vastrecht dat elke woning aan de regionale netbeheerder betaalt. Dit vastrecht is voor elke woning in Nederland hetzelfde. Wanneer in Nederland grote aantallen woningen de warmtevoorziening all-electric gaan regelen, kan het vastrecht stijgen. De netbeheerders kunnen zich genoodzaakt voelen tot een snellere stijging dan de aangenomen 2,5% om zo de verzwaring te kunnen financieren. Deze kwestie kent veel onzekerheden. Daarom zijn de kosten voor verzwaring van het elektriciteitsnet niet meegenomen in de warmtescenario's.



Figuur 9: De netto contante waarde per woning voor de vijf warmtescenario's.

7.4 Gevoeligheidsanalyse

Om inzicht te krijgen in de impact van bepaalde parameters (bepalende factoren) op de netto contante waarde, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De gebruikte parameters zijn gebaseerd op algemeen erkende en wetenschappelijk gefundeerde inzichten zoals historische ontwikkelingen en gevalideerde prognoses van aangekondigd beleid. Omdat de prognoses op een lange periode (tot 2060) betrekking hebben, zijn zekerheden niet te geven. Daarom wordt hieronder getoond wat de uitkomsten zijn bij andere aannames. De oplettende lezer zal zien dat in het onderzoek steeds is uitgegaan van de middelste van de drie mogelijke waarden.

7.4.1 Discontovoet

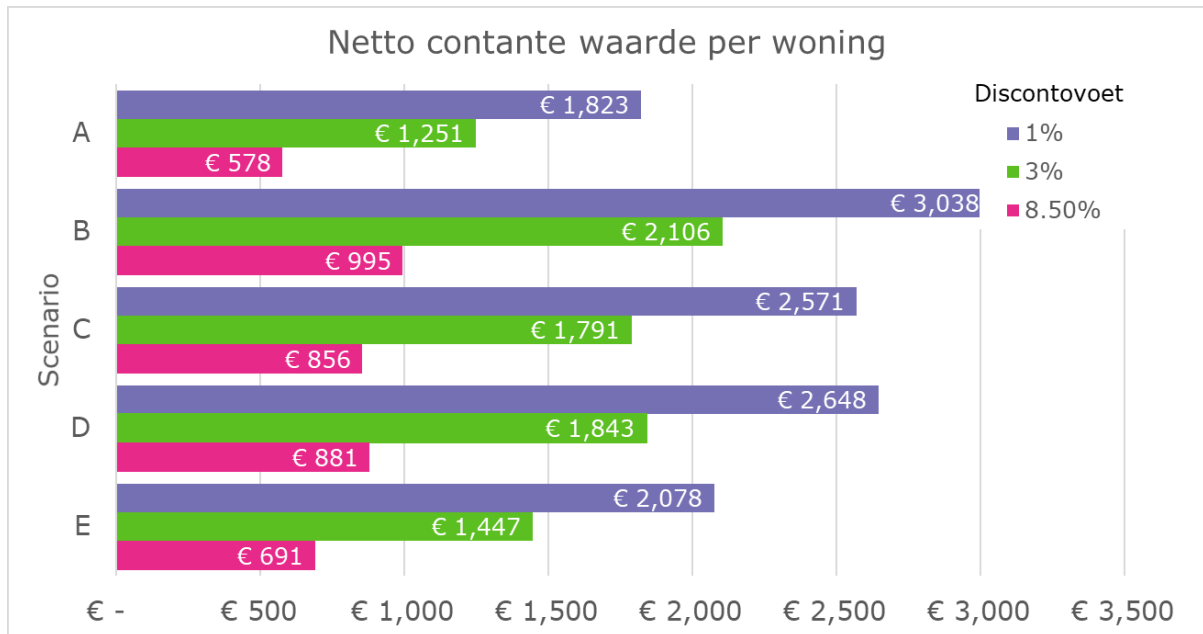
De discontovoet is het jaarlijkse percentage waarmee toekomstige inkomsten en uitgaven worden teruggerekend naar de waarde van vandaag. € 1.000 vandaag is immers meer waard dan € 1.000 euro over tien jaar.

De discontovoet is (bij investeringen) het minimale rendement dat behaald moet worden op de investering. In de commerciële wereld (korte termijn < 10 jaar) bestaat deze meestal uit de rente op het kapitaal plus een risico-opslag. Een percentage van 8 tot 10% is op dit moment gangbaar.

Als het gaat om een MKBA (maatschappelijke kosten en batenanalyse) gaat de discontovoet niet alleen over geld, maar ook over de verdeling van welvaart, omdat de investeringen voor lange termijn (10 - 400 jaar) worden gedaan. Een investering nu kan tot hogere welvaart voor een volgende generatie leiden. Hoe lager de discontovoet, hoe hoger het belang van de toekomstige welvaart wordt geacht. Voor maatschappelijke kosten en batenanalyses zijn discontovoeten van 1% tot 5 % gangbaar. In veel landen, inclusief Nederland, is 3% het standaard percentage voor MKBA's [34].

In Figuur 10 is de netto contante waarde uitgerekend met drie discontovoeten: één voor hoog maatschappelijk belang (1%), één voor standaard MKBA's (3%) en één voor commerciële toepassing (8,5%), gehanteerd.

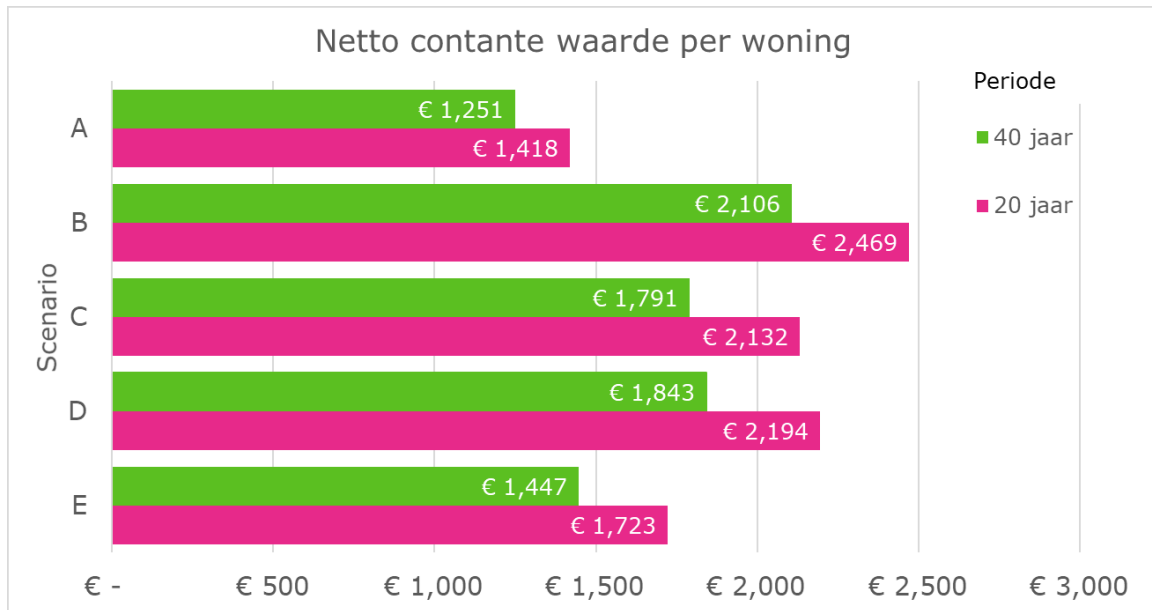
Hoewel de netto contante waarde in absolute zin verandert met de discontovoet, zijn de netto contante waarden per scenario relatief gelijk gebleven.



Figuur 10: Netto contante waarde voor verschillende percentages van de discontovoet.

7.4.2 Evaluatieperiode

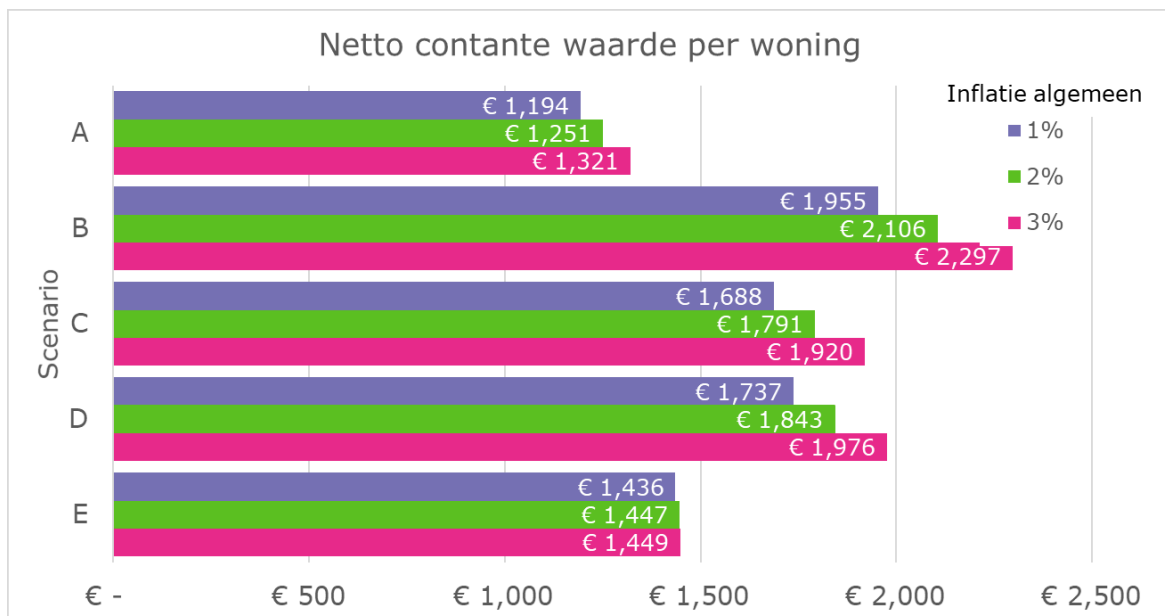
In het onderzoek is uitgegaan van een periode van 40 jaar. Hiervoor is gekozen omdat het in de praktijk ook zal gaan om grote investeringen met een lange technische en economische afschrijvingsduur. Om een zo reëel en betrouwbaar mogelijk beeld te krijgen van de kosten verdient het de voorkeur om van een langere periode uit te gaan.



Figuur 11: Netto contante waarde voor een periode van 20 jaar en 40 jaar.

7.4.3 Inflatie

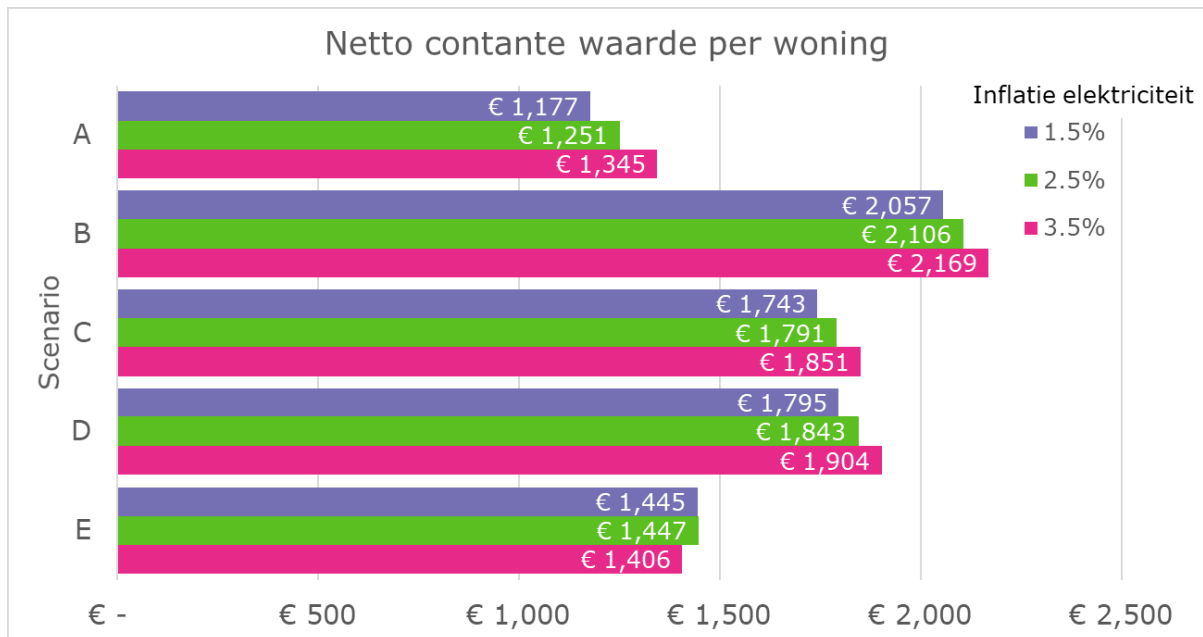
In het onderzoek is uitgegaan van een algemeen inflatiepercentage van 2%. In Figuur 12 is de gevoeligheid van de netto contante waarde voor het inflatiepercentage weergegeven.



Figuur 12: Netto contante waarde voor verschillende percentages van het algemene inflatiecijfer.

7.4.4 Inflatiepercentage elektriciteit

Het onderzoek gaat uit van een inflatie van 2,5% voor elektriciteit, gebaseerd op de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs in de afgelopen 15 jaar. Het inflatiepercentage is echter onderhevig aan Europese elektriciteitsmarktontwikkelingen en overheidsbeleid. Naast het percentage van 2,5% is ook gerekend met percentages van 1,5% en 3,5%. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 13. Scenario's met een hoog elektriciteitsgebruik (A) zijn hier vanzelfsprekend veel gevoeliger dan scenario's met een laag elektriciteitsgebruik (E).

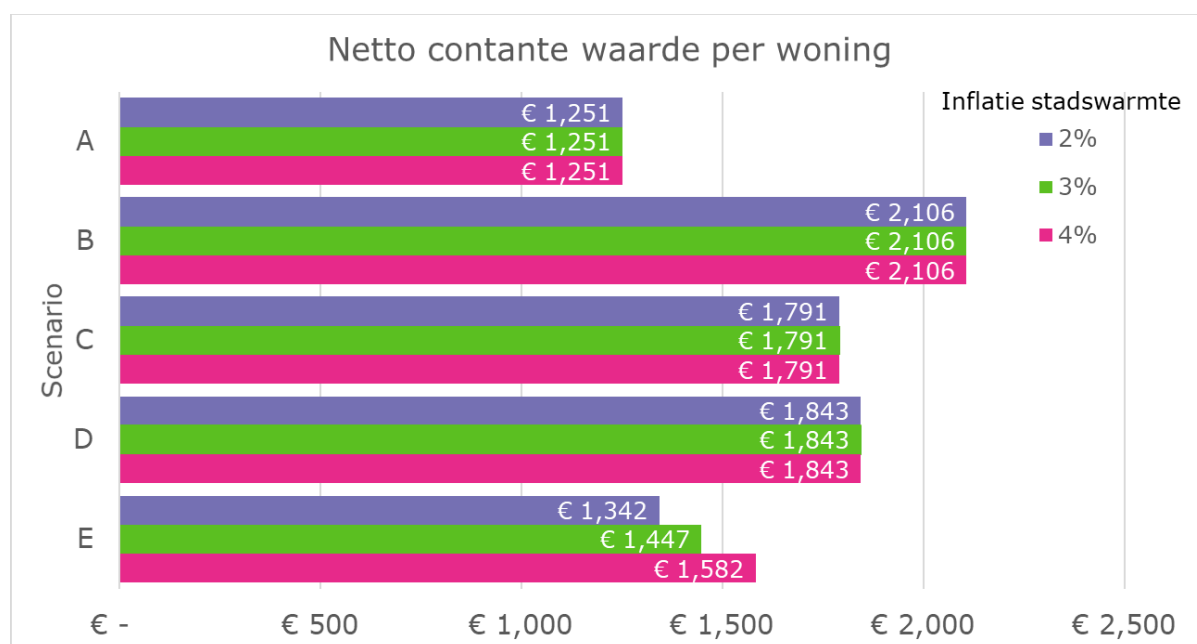


Figuur 13: Netto contante waarde voor verschillende percentages van het inflatiecijfer voor de elektriciteitsprijs.

7.4.5 Inflatiepercentage warmte

Het onderzoek gaat uit van een inflatiepercentage van 3% voor stadswarmte, gebaseerd op prijsontwikkelingen in de afgelopen 15 jaar. Het inflatiepercentage is natuurlijk onderhevig aan overheidsbeleid en de kosten voor het verduurzamen van de stadswarmtevoorziening. Naast het percentage van 3% is ook gerekend met een percentage van 2% en 4%. De resultaten staan weergegeven in Figuur 14.

Het ligt voor de hand dat alleen scenario E, het 70 °C stadswarmtenet, gevoelig is voor het inflatiepercentage warmte. In dit scenario immers wordt 100 % warmte geleverd aan consumenten, direct van de bron. Er zijn relatief weinig andere kosten van invloed op de netto contante waarde van dit scenario.



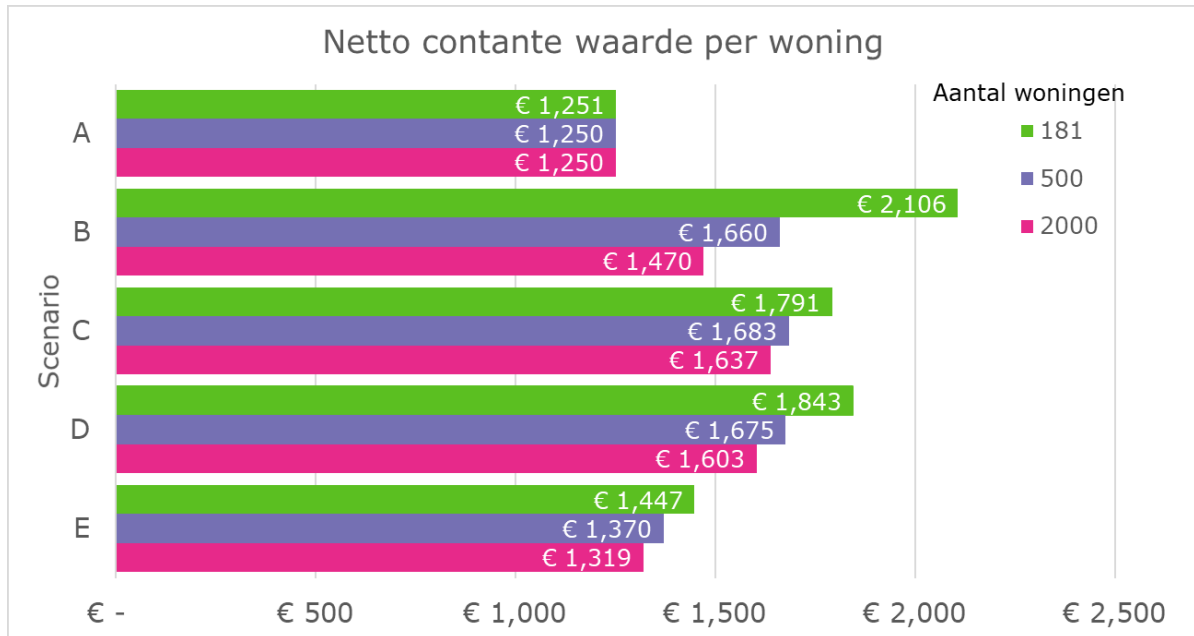
Figuur 14: Netto contante waarde voor verschillende percentages van het inflatiecijfer voor stadswarmte.

7.4.6 Schaalgrootte

Warmtenetten profiteren van schaalgrootte, doordat kosten over een groter aantal gebouwen verdeeld kunnen worden. De warmtescenario's zijn daarom ook doorgerekend voor 500 en 2000 woningen (type 5).

In Figuur 15 staan de resultaten. Scenario A (individuele warmtepomp) profiteert niet van schaalvergroting, iedere woning wordt immers individueel aangepakt. Scenario E (stadswarmte) profiteert beperkt van schaalvergroting. Het stadswarmtenet is namelijk al groot. Het voordeel wordt voornamelijk behaald in het secundaire net (het deel tussen het wijk warmteoverdrachtstation en de lokale distributiestations).

De lokale lage temperatuur warmtenetten met eigen warmtebron (B, C, D) profiteren het meest van de vergroting van de schaal. Met name scenario B (50 °C warmtenet) is bij een grotere schaal (> 2000 woningen) een stuk kosteneffectiever en benadert de kosten van de scenario's A en E.



Figuur 15: Effect van schaalgrootte. Met name de laagtemperatuur warmtenetten profiteren van een grotere schaal.

8. Eigendom en governance

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke eigendomsvormen van een eventueel toekomstig lokaal warmtenet in een coöperatieve vorm en de governance (bestuursvorm) als het lokale warmtenet in eigendom zou zijn van een andere juridische entiteit.

8.1 Warmtenet en Warmtewet

Een warmtenet bestaat uit verschillende van elkaar onderscheiden onderdelen (gedefinieerd in de Warmtewet). Eigendom van het warmtenet kan, behalve op het gehele warmtenet, dan betrekking hebben op de volgende delen zoals in Tabel 24 is weergegeven.

Tabel 24: Eigendom warmtenet per onderdeel

	Onderdeel	Eigendom
1	Bron	Producent
2	Distributienetwerk	Netbeheerder
3	Afleverzet	Leverancier
4	Voorzieningen in huis	Gebouweigenaar, verhuurder
5	WKO	Netbeheerder

- De producent is een persoon die zich bezighoudt met de productie van warmte.
- De netbeheerder is degene die een warmtenet beheert.
- De leverancier is een persoon die zich bezighoudt met de levering van warmte.
- De verbruiker is een persoon die warmte afneemt van een warmtenet en een aansluiting heeft van maximaal 100 kilowatt.

In de praktijk kan er meer dan één producent en ook meer dan één beheerder zijn. Het eerste is niet ongevoel, zeker niet wanneer meerdere bronnen, ook voor back-up en piek bijvoorbeeld, zijn aangesloten op het netwerk. Het tweede zal in kleine warmtenetten niet snel voorkomen. Bij schaalvergroting en koppeling van meerdere kleinschalige netwerken, kan dit wel gebeuren.

In Tabel 25 zijn de onderdelen van het warmtenet en hun mogelijke eigenaren gepresenteerd.

Tabel 25: Mogelijke eigendomsvormen voor onderdelen warmtenet

	Huurder	Gebouweigenaar	Eigenaar-bewoner	Coöperatie	Derde partij
Bron(nen)	Indirect	Ja	Indirect	Ja	Ja
Distributie	Indirect	Ja	Indirect	Ja	Ja
Levering	Indirect	Ja	Indirect	Ja	Ja
Inpandige installatie	Indirect	Ja	Ja	Ja	Ja

Woningcorporaties zijn hier niet als aparte categorie eigenaren opgenomen. Woningcorporaties zijn behouden aan hun kerntaken. Voor hen gelden op grond van de Woningwet strengere bepalingen dan voor particuliere eigenaren: bezit (ook gedeeltelijk) van bron en distributienet is uitgesloten. Dit betekent in concreto dat een woningcorporatie ook niet tezamen met bijvoorbeeld een bewonersgroep eigenaar van een of meer bronnen en/of een distributienetwerk kan zijn. Wel kan een woningcorporatie, al dan niet in een samenwerking, als leverancier optreden. Voorbeelden van manieren waarop woningcorporaties een lokaal net, al dan niet met bron, kunnen ondersteunen, zijn er voor zover bekend niet in Nederland. Te denken valt aan tenminste een afnamegarantie voor de lange termijn van de woningcorporatie, waarmee het volloopprijsrisico kan worden verkleind. Andere mogelijke opties zijn speculatief.

De toepasselijkheid van de Warmtewet kent uitzonderingen. Artikel 9 bepaalt dat de eigenaar van het net zich niet aan alle bepalingen in de Warmtewet hoeft te houden, indien zij een Vereniging van Eigenaren (VVE) is. Met een VVE wordt een coöperatie gelijkgesteld. De reden daarvoor is dat de gebruikers in dat geval indirect zelf eigenaar zijn en, simpel gezegd, geacht worden goed voor hun eigen belangen te zorgen. Het gaat namelijk om bepalingen over het verhelpen van storingen, en bijvoorbeeld garanties voor de kwaliteit van de administratie. Het is een voordeel van de coöperatieve eigendom van een warmtenet dat dit soort zaken in wat meer vrijheid geregeld kunnen worden. Tegelijk zal natuurlijk niemand graag warmte kopen bij een partij die dit soort zaken niet op orde heeft.

8.2 Eigendom

De eigendom van (onderdelen van) een warmtenet heeft twee aspecten.

- Juridische eigendom leidt tot zeggenschap en vloeit doorgaans voort uit economische eigendom. Beide kunnen enigszins los van elkaar bestaan, door bepaalde eigenaren meer of gekwalificeerde zeggenschap te geven dan andere.
- Economische eigendom biedt op geld waardeerbare rechten en plichten, zoals prijsbepaling en winstneming en ook financiering en risico's.

De zeggenschap kan van belang zijn bij:

- De keuze van (nieuwe) warmtebron(nen)
- Besluiten tot uitbreiding van het net of tot verbinding ervan met andere net(ten)
- Besluiten inzake eenmalige en weerkerende tarieven voor aansluiting en verbruik
- Bestemming van de eventuele winst
- Besluiten inzake beheer en onderhoud en uitbesteding ervan
- Besluiten tot vervreemding van (delen van) het net.

Het economisch voordeel heeft twee kanten. Met de warmteprijs kan enigszins worden gevarieerd, binnen de marges van een redelijke terugverdientijd en het maximum van de Warmtewet. De coöperatieve eigenaren hebben uiteraard het voordeel dat winstopslagen die in een door derden beheerd net bij de – commerciële – eigenaren terecht komen, aan hen toevallen. Hoe groot die winst zal zijn is niet in het algemeen te zeggen. In een net

dat van een commerciële eigenaar of een nutsbedrijf is, wordt ook arbeid verricht voor het tarief dat aan de eindgebruiker wordt berekend. De coöperatie zal dat werk zelf moeten doen of moeten uitbesteden. Het laatste zal doorgaans het geval zijn omdat de kennis en kunde ontbreken om het zelf te doen. Het zal deels afhangen van de prijs waarvoor de coöperatie het werk weet uit te besteden, of het voordelig uitpakt of niet. Een kleine schaal (< 150 woningen) is doorgaans niet voordelig.

8.2.1 De warmte coöperatie

Een coöperatie (eigenlijk coöperatieve vereniging) is een rechtsvorm die bedoeld is om een onderneming te organiseren. Wie zich wil verenigen zonder het doel te ondernemen, richt een gewone vereniging op. Wie gewoon een bedrijf wil starten, alleen of met een paar aandeelhouders, richt eerder een besloten vennootschap op. Een coöperatie is daarom een geschikte rechtsvorm om een gezamenlijk energiebedrijf in te organiseren. De figuur bestaat al veel langer voor het gezamenlijk investeren in en exploiteren van een windmolen of collectieve zonnenvelden bijvoorbeeld.

Een coöperatie heeft een bestuur en leden, die zeggenschap hebben over hetgeen de verenging onderneemt. Als een warmte coöperatie eenmaal draait, is het meeste werk gedaan. Om tot zo een coöperatie te komen, moet deze eerst bij notariële akte worden opgericht, anders kan zij niet handelen. Daarbij kan gekozen worden voor uitgesloten, beperkte of volledige aansprakelijkheid. Het voert te ver hier de aansprakelijkheid helemaal te behandelen. Het is niet realistisch een onderneming te drijven zonder enig risico te lopen. Uitsluiting leidt tot het deels verleggen van de risico 'snaar de gebruikers/leden en wellicht naar leveranciers die dit mogelijk zullen willen compenseren. De eventuele aansprakelijkheid raakt primair het bestuur maar soms ook de leden (afhankelijk van de statuten). En deel van de risico's kan met een bestuurdersaansprakelijkheidsverzekering worden afgedekt.

Als een warmte coöperatie eenmaal draait, is het meeste werk gedaan. Om tot zo een coöperatie te komen, moet deze eerst bij notariële akte worden opgericht, anders kan zij niet handelen. Daarbij kan gekozen worden voor uitgesloten, beperkte of volledige aansprakelijkheid. De eventuele aansprakelijkheid raakt primair het bestuur maar soms ook de leden (afhankelijk van de statuten).

Vervolgens zal de coöperatie alles moeten doen om het warmtebedrijf te starten. Wat dat precies inhoudt, hangt er natuurlijk vanaf of de coöperatie de hele warmteketen gaat organiseren, van bron tot en met levering, of een deel ervan. Daarover hieronder meer.

Een aantal taken dat hoe dan ook vervuld moet worden:

- Keuze van het type net (scenario)
- Financiering regelen;
- Bron(nen) bepalen;
- Architectuur van het warmtenet ontwikkelen;
- Selectie en contracteren leveranciers;
- Controleren werkzaamheden leveranciers;

- Selectie en contracteren serviceverleners;
- Klanten zoeken;
- Contracteren met klanten.

Al deze taken kunnen (moeten wellicht) worden uitbesteed. Dat kost natuurlijk geld.

In de beheer- of exploitatiefase zijn de taken beperkter, afhankelijk van de vraag of de coöperatie onderhoud en storingsdienst heeft uitbesteed of niet. Bij uitbesteding moet worden toegezien op de juiste uitvoering van de taken en de facturering ervan. Ook moet een administratie worden gevoerd en moeten klanten gefactureerd worden. De administratie behoeft ook accountantscontrole. Af en toe zullen vervangingsinvesteringen moeten plaatsvinden.

8.3 Investing

De kosten van aanleg en onderhoud van een compleet warmtenet zijn groot en de afschrijvingstermijn (de economische levensduur) is lang: hier 40 jaar. Wie coöperatieve ambities heeft, moet in staat zijn het benodigde vermogen op tafel te krijgen. Omdat het gaat om investeringen (en operationele kosten) die over een lange periode worden terugverdiend, zullen particulieren alleen bij uitzondering voldoende vermogen hebben om dit zelf te financieren. Dat betekent dat een beroep moet worden gedaan op banken, beleggers, subsidies, garantstellingen of crowdfunding door sympathisanten. Op dit moment is er nog maar weinig kennis en ervaring (in Nederland) met deze vormen van financiering voor warmte coöperaties. Daar wordt wel aan gewerkt. Het resultaat zal hopelijk worden dat er duidelijkheid komt over eisen aan warmtenetten, schaal, techniek, de initiatiefnemers en beheerders en business cases. Die duidelijkheid moet bijdragen aan benchmarking en zo aan de financierbaarheid van warmtenetten. Het zal nog zeker een jaar duren voor hier meer perspectief op financiering ontstaat.

Het plan om een warmtenet aan de Oosterlengte op te zetten in coöperatie moet rekening houden met de volgende investeringskosten, afhankelijk van het type net.

Tabel 26: Totale kapitaalsinvestering per functie per scenario in € mio

Partner	A (L/W)	B (50)	C (15)	D (15)	E (70)
Warmte producent	0,0	2,0	0,8	1,1	0,2
Warmtenetbeheerder	0,0	2,6	2,6	2,9	3,4
Warmteleverancier	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Woning eigenaar	3,8	2,6	3,7	3,7	2,3
Totaal	3,8	7,1	7,0	7,3	6,0

8.4 Gedeelde eigendom

Er zijn verschillende opties voor bezit en beheer van een warmtenet.

1. Het gehele net komt in handen van een enkele externe partij.
2. Het hele net komt in handen van een (lokale) coöperatie.

3. Het net wordt in delen gehouden door verschillende partijen, waaronder de lokale coöperatie waarbij
 - a. De coöperatie producent en leverancier is en het netwerk in handen van een derde externe eigenaar
 - b. De coöperatie uitsluitend leverancier is, een of meer externe partijen eigenaar van het distributienetwerk en producent.

De situatie waarin de coöperatie ook het distributienetwerk in eigendom heeft, wordt hier verder niet behandeld vanwege de hoge investeringslast van deze variant.

8.4.1 Externe partij

De voor- en nadelen voor de eindgebruikers als een externe private of publieke partij het warmtenet bezit en beheert, zijn:

Voordelen voor eindgebruikers

- Tarief gemaximeerd
- Technisch beheer in een hand
- Financieel voordeliger/efficiënter (mogelijk voordeel eindgebruiker)
- Weinig impuls om derden op net toe te laten
- Kleine initiële investering
- Vollooprisico bij externe partij

Nadelen voor eindgebruikers

- Geen zeggenschap over temperatuur, bron(nen) en configuratie
- Geen inzicht in prijsvorming en reële kosten
- Geen zeggenschap over inkoop (sociaal, groen ja/nee)

8.4.2 Lokale coöperatie

De voor- en nadelen voor de eindgebruikers als een coöperatie het warmtenet bezit en beheert, zijn:

Voordelen voor eindgebruikers

- Zeggenschap over temperatuur, bron(nen), installaties
- Zeggenschap over (sociale, groene) inkoop van elektriciteit, onderhoud
- Technisch beheer in een hand
- Inzicht in/ invloed op prijsvorming
- Coöp kan back-up/peik leverancier zijn voor omliggende buurten

Nadelen voor eindgebruikers

- Grote financieringslast en risico
- Vollooprisico bij coöperatie
- Warmteleveringsvergunning nodig

8.4.3 Lokale coöperatie alleen als producent en leverancier

De voor- en nadelen voor de eindgebruikers als de coöperatie de producent en de leverancier is en het netwerk in handen van een derde externe eigenaar

Voordelen voor eindgebruikers

- Zeggenschap over temperatuur, bron(nen), installaties
- Zeggenschap over (sociale, groene) inkoop van elektriciteit, onderhoud
- Inzicht in/ invloed op prijsvorming
- Coöp kan back-up/piek leverancier zijn voor omliggende buurten
- Warmtetarief gemaximeerd
- Afstemming productiecapaciteit/ aantal gebruikers in eigen hand

Nadelen voor eindgebruikers

- Afhankelijk van (prijs van) derde voor transport en distributie
- Warmteleveringsvergunning nodig
- Geen directe zeggenschap over uitbreiding/innovatie net
- Risicostijging kosten distributie (niet per definitie door te berekenen aan eindgebruiker)

8.4.4 Lokale coöperatie alleen als leverancier

De voor- en nadelen voor de eindgebruikers als de coöperatie uitsluitend leverancier is, één of meer externe partijen zijn eigenaar van het distributienetwerk en producent

Voordelen voor eindgebruikers

- Initiële investering is beperkt (afleversets, meetapparatuur, administratief systeem)
- Coöperatie contracteert met zelf gekozen producent(en) en distributeur, langjarig

Nadelen voor eindgebruikers

- Warmteleveringsvergunning nodig
- Afhankelijk van (prijs van) derde voor transport en distributie en voor warmte
- Geen directe zeggenschap over uitbreiding/innovatie net
- Risico stijging kosten distributie (niet per definitie door te berekenen aan eindgebruiker)

Voor een coöperatieve vereniging die een enkel warmtenet in eigendom heeft en beheert en onderhoudt, zijn de risico's hoger dan voor een partij die er meerdere bezit. Kennis van en ervaring met beheer en onderhoud elders ontbreken. De last van eventuele problemen in het ene net, onderdelen daarvan, kunnen niet worden gedragen door een veelheid van klanten, doch slechts door degenen die zijn aangesloten bij dit net.

8.5 Governance

Een alternatief voor coöperatief bezit zonder de financiële nadelen en risico's kan gezocht worden in een alternatieve governance structuur.

Hierbij zijn diverse opties denkbaar. Geen van deze opties bestaat al op dit moment.

1. Alle bij het warmtenet betrokken eigenaren (van bron, netwerk, afleversets en in pandige infrastructuur) en de afnemers van de warmte (de bewoners dus) vormen gezamenlijk een rechtspersoon die in de statuten omschreven bevoegdheden heeft. Zo kan worden bepaald dat een vergaande beslissing als vervreemding alleen met een gekwalificeerde meerderheid van stemmen kan worden genomen. Ook kan worden afgesproken dat binnen de rechtspersoon transparantie over alle kosten wordt gegeven.
2. De bewoners vormen een rechtspersoon - coöperatie of BV - die de rol van leverancier op zich neemt. Dit vergt relatief weinig investeringscapaciteit terwijl de bewoners hiermee deels achter de kassa komen te zitten. Daarnaast bepalen ze zo wie de warmteproducenten zijn. Daarmee zullen overigens langjarige contracten worden gesloten met afnamegaranties om de investeringen te kunnen laten renderen. Die keuzevrijheid zal dus beperkt zijn.
3. De bewoners dwingen een nieuwe vertegenwoordigende eenheid af die in van tevoren omschreven gevallen een advies moet of mag uitbrengen; het advies moet meegewogen worden. Vergelijk deze oplossing met een ondernemingsraad. Je zou het een BuurtEnergieRaad (BERD) of WijkWarmteRaad (WWR) kunnen noemen.

Wanneer wordt gekozen voor individuele warmtevoorziening per woning in plaats van voor een collectieve voorziening, kan veel voordeel worden behaald door collectieve inkoop. Dit geldt zowel de te installeren apparatuur (warmtepompen en buffervaten) als de installatie en het onderhoud ervan. Dit vergt natuurlijk gezamenlijke planning. De te bedingen korting kan zeker 20 % bedragen, mogelijk meer.

9. Prestatie scores

Dit hoofdstuk presenteert de prestatie scores van de verschillende warmtescenario's op economie, duurzaamheid en bijkomende aspecten. Deze scores ondersteunen het gesprek tussen de bewoners-eigenaren en de gemeente en in de toekomst mogelijk ook andere stakeholders (woningbouwcorporaties in het gebied, warmtebedrijf, netbeheerders) om tot een uiteindelijke keuze te komen van het definitieve warmtescenario.

De criteria zijn in overleg met (13) bewoners en (een vertegenwoordiger van de) gemeente in volgorde van belangrijkheid gezet. De verduurzaming van de bronnen voor de warmtevoorziening bleek een duidelijke en gedragen hoofddoelstelling. In combinatie met energiebesparing (door bouwkundige maatregelen en warmteterugwinning binnen de woning) heeft duurzaamheid de hoogste prioriteit. Daarbij geldt de realistische voorwaarde dat het financieel haalbaar is. Meer dan naar de kosten per woningeigenaar, wordt hier gekeken naar de mate waarin een scenario ook voor de gehele buurt tezamen te financieren is.

Tenslotte weegt ook de faseerbaarheid nog relatief zwaar. Er is dus aandacht nodig voor de mogelijkheid een toekomstig warmtenet stapsgewijs in te voeren rekening houdend met het tempo waarin woningen daadwerkelijk aangesloten kunnen worden. Dit criterium is van grote invloed op de financierbaarheid.

9.1 Economische prestaties

In de vorige hoofdstukken zijn de boven- en ondergrondse economische aspecten van de warmtescenario's bepaald. In *Tabel 27* zijn de economische prestatie per warmtescenario en per stakeholder weer gegeven. De economische prestatie scores zijn weergegeven van de beste (1) tot de slechtste (5). De maatschappelijke kosten voor het elektriciteitsnetwerk zijn het hoogst in scenario A. In dat geval is mogelijk een netverzwaring nodig die door Liander wordt geraamd op € 2.500 per woning. De kosten en de planning van het reguliere onderhoud van zowel het elektriciteitsnet als het gasnet zijn onbekend. Waren deze wel bekend dan kon gerekend worden met de meerkosten van verzwaring als gevolg van een specifiek scenario ten opzichte van het reguliere onderhoud. De maatschappelijke kosten van het gasnet zijn allemaal hetzelfde ongeacht of de leidingen worden vervangen of het gasnet verwijderd wordt.

Tabel 27: Economische prestatie scores per scenario

Eigenaar		A (L/W)	B (50)	C (15 TEO)	D (15 TEA)	E (70)
Netto Contante Waarde per woning		€ 1.251	€ 2.106	€ 1.791	€ 1.843	€ 1.447
Particulier	Energierkening Investering	1	5	3	4	2
Warmteketen	Investering	1	5	3	4	2
Elektriciteitsnet	Maatschappelijke kosten	5	3	3	3	1

Uit de tabel hierboven blijkt dat het individuele scenario met lucht-water warmtepompen het goedkoopst is, het duurst is het scenario met thermische energie uit oppervlaktewater dat op 50 0C bij de woning wordt afgeleverd. Er zijn hier geen prijsverschillen per scenario tussen de verschillende stakeholders. Dat komt omdat alle kosten in het TCO model uiteindelijk zijn terug gerekend naar een bedrag per woning per jaar voor de gehele looptijd. Dat zegt echter nog niets over de financierbaarheid van de scenario's. Die wordt in sterke mate bepaald door de hoeveelheid kapitaal die beschikbaar moet kunnen worden gesteld om (een deel van) het net te financieren. Daarom is in Tabel 28 een overzicht opgenomen van de totale investeringen inclusief de kosten daarvan (rente) per scenario voor 4 verschillende functies in een warmtenet. Deze cijfers zijn relevant bij het overwegen van het in eigendom verwerven van een deel van een net.

Tabel 28: Totale capex per investeerder per scenario in € mio

Partner	A (L/W)	B (50)	C (15 TEO)	D (15 TEA)	E (70)
Warmte producent	0,0	2,0	0,8	1,1	0,2
Warmtenetbeheerder	0,0	2,6	2,6	2,9	3,4
Warmteleverancier	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Woning eigenaar	3,8	2,6	3,7	3,7	2,3
Totaal	3,8	7,1	7,0	7,3	6,0

9.2 Duurzaamheid prestatie

Duurzaamheid is beoordeeld aan de hand van de aspecten energiebesparing, benodigde energie-input wijk, en vermindering CO₂ uitstoot. De scores zijn weergegeven in Tabel 29.

De energiebesparing betreft de gereduceerde netto energievraag in de woning, als gevolg van bouwkundige maatregelen (isolatie, kierdichting en ventilatiesysteem). Omdat deze bij alle scenario's gelijk is, scoren de scenario's op dit punt ook gelijk.

De benodigde elektriciteit is de hoeveelheid elektriciteit ten behoeve van de warmtepompen en pompen in de warmteketen. Deze hoeveelheid elektriciteit moet geleverd worden aan de wijk dan wel in de wijk worden opgewekt.

Tot slot is de CO₂ uitstoot vergeleken, op basis van de grafieken in paragraaf 6.4. Indien de CO₂ emissiefactor van zowel elektriciteit als warmte lineair naar 0 gaat in 2050, kan eenvoudig worden vergeleken op basis van de te verwachten uitstoot in 2020. De ontwikkeling van de toekomstige emissiefactoren is nog een onzekere zaak, en de beoordeling op dit aspect hangt daarvan af.

Tabel 29: duurzaamheidsprestatie per warmtescenario

	A (L/W)	B (50)	C (15 TEO)	D (15 TEA)	E (70)
Energiebesparing woning	2	2	2	2	2
Benodigde elektriciteitsinput	412 MWh/jaar	450 MWh/jaar	293 MWh/jaar	293 MWh/jaar	14 MWh/jaar
CO ₂ uitstoot 2020	140 ton	153 ton	100 ton	100 ton	100 ton
CO ₂ uitstoot cumulatief 2020-2060	2.170 ton	2.370 ton	1.548 ton	1.548 ton	1.690 ton

In alle scenario's wordt uitgegaan van dezelfde energiebesparing (door isolatie). Er zijn duidelijke verschillen in de hoeveel benodigde elektriciteit en in de hoeveel uitgestoten CO₂ per scenario.

9.3 Bijkomende aspecten

De prestatie van de bijkomende aspecten zijn in *Tabel 30* gepresenteerd. De prestatie scores zijn weergegeven van goed (1) tot slecht (5). Onder de tabel is de toelichting per bijkomend aspect beschreven.

Tabel 30: prestatie score bijkomende aspecten per warmte scenario

	A (LW)	B (50)	C (15 TEO)	D (15 TEA)	E (70)
Openheid	n.v.t.	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Op dit moment niet
Techniek	1	2	2	2	1
Ruimte woning		Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast
	Grote warmtepomp	Kleine booster tapwater	Relatief grote warmtepomp	Relatief grote warmtepomp	
	Buffervat	Buffervat	Buffervat	Buffervat	
Faseerbaarheid	1	2	2	2	2
Impact wijk / Welstand	Buitenunits in zicht (kan ook binnen)	TEO installatie onderstations met WKO en WP	TEO installatie onderstations met WKO	TEA installatie onderstations met WKO	Airco in zicht
Overlast tijdens bouw	1	1	1	1	1

Veel van de bijkomende aspecten zijn niet in een cijfer uit te drukken. 'Techniek', 'faseerbaarheid' en 'overlast tijdens de bouw' kunnen wel kwantitatief geduid worden. Er zijn verschillen maar deze zijn beperkt: 1 is goed, 2 is slechter.

Toelichting:

Openheid: In theorie kan elk warmtenet open zijn voor andere producenten. Netten met een hoge temperatuur zijn per definitie minder geschikt voor invoeding uit andere bronnen (met een lagere temperatuur).

Techniek. Dit criterium is breed, dat wil zeggen dat het gaat over beschikbaarheid, risico, leveringszekerheid en veiligheid. In dit opzicht lopen de scenario's niet wezenlijk uiteen. In alle gevallen gaat het om bewezen technieken die ruimteverwarming en warm tapwater zonder legionella garanderen. Eventuele tochtproblemen als gevolg van ventilatie hangen niet rechtstreeks samen met een van de scenario's. Balansventilatie kan hier de oplossing zijn.

Ruimte woning. Het meest in het oog springt het ruimtebeslag van de verschillende scenario's. Het 70°C net scoort het best met een bescheiden afleverzet in de woning. De meeste ruimte wordt ingenomen door de installaties (warmtepompen en/of boiler) die

nodig zijn in scenario A, B, C en D, waarbij A de kroon spant omdat alle warmte in huis wordt geproduceerd. In scenario A kan gekozen worden tussen een buiten- of een binnenunit. Een binnenunit neemt veel ruimte in beslag in de woning, denk aan een flinke kast (0,90:0.90:1.80 m). Een buitenunit neemt buiten ruimte in.

Faseerbaarheid. Het zal geen verbazing wekken dat de faseerbaarheid van het individuele scenario het grootst is. Dit kan immers per woning worden geïnstalleerd (het zal overigens aanzienlijk goedkoper zijn hier desondanks samen te werken).

De collectieve scenario's scoren anders. Het 70°C warmtenet heeft in dit geval het voordeel dat het in handen van een externe partij is die het zogenaamde volloopriscio draagt, vooropgesteld dat deze partij bereid is tot aanleg. De andere drie scenario's vergen planning van een nieuw net waarbij de toekomstige eigenaar primair het volloopriscio loopt. Hierover kunnen natuurlijk afspraken worden gemaakt tussen netbeheerder en toekomstige gebruikers. Vergelijk dit bijvoorbeeld met de wijze waarop de belangstelling voor glasvezel voorafgaand aan de aanleg van het netwerk gepeild wordt. Vaak wordt al ruim tevoren contractueel vastgelegd wie zullen gaan afnemen.

Impact wijk. Deze kan bestaan uit aan de woning aangebrachte zichtbare voorzieningen zoals airco units die als ontsierend kunnen worden ervaren. Onderstations voor warmte, eventuele warmtepompen in de wijk en WKO's leggen beslag op de openbare ruimte. De locaties zouden in overleg met de bewoners bepaald moeten worden. De scenario's A en E geven de minste impact in de wijk.

Welstandseisen zullen geen onoverkomelijke belemmering vormen.

Overlast. In de wijk vergen de scenario's B, C, D en E graafwerkzaamheden. Afhankelijk van het ontwerp kunnen warmteoverdrachtstations (wos) of onderstations met warmtepompen boven- of ondergronds worden geïnstalleerd. Omdat ook andere grondwerkzaamheden in de buurt zijn voorgenomen, kunnen deze worden gecombineerd met de aanleg van een warmtenet.

10. Verwijzingen

- [1] Arcadis, Actualisatie en uitbreiding Investeringskosten maatregelen EPA-maatwerkadvies; bestaande woningbouw 2017 RVO
- [2] Amsterdams Klimaat en Energiefonds (2019, oktober). Leningen voor grote duurzame projecten. Opgehaald van <http://www.akef.nl/>
- [3] CO2emissiefactoren. (2019, januari 1). Lijst emissiefactoren. Opgehaald van co2emissiefactoren: <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/>
- [4] Compendium voor de Leefomgeving, CBS: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0019-inzet-energie dragers-en-bruto-elektriciteitsproductie>
- [5] Elektriciteits- en gasprijzen zijn gebaseerd op de gemiddelde prijsopgaven op 25 oktober 2019 van Essent, Vattenfall en Eneco voor een contract van 3 jaar vast voor een woning in Banne-Noord.
- [6] Energieyes, <https://www.energeyes.nl>
- [7] Geodan, PICO platform, <https://pico.geodan.nl/>
- [8] Gemeente Amsterdam. (2019, maart 5). Duurzaam verbouwen - korting op leges. Opgehaald van Amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?caseid=%7B35E4893B-EE26-4D8D-AC88-89A092BC12D8%7D>
- [9] Gemeente Amsterdam. (2019, maart 5). Lening Duurzaamheidsfonds. Opgehaald van Amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/wonen-leefomgeving/duurzaam-amsterdam/duurzaamheidsfonds/>
- [10] Gemeente Amsterdam. (2019, maart 6). Subsidie Amsterdam aardgasvrij. Opgehaald van Amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?productid=%7B776A647D-F3F3-44BC-9D4E-D371CE0974B8%7D>
- [11] Gemeente Amsterdam. (2019, maart 5). Subsidie Ruimte voor duurzaam initiatief - projectvoorbereiding. Opgehaald van Amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?productid=%7B1D452E36-8F3E-46F4-9854-BF98FF0C5AAA%7D>
- [12] Gemeente Amsterdam. (2019, maart 5). Wat is de energielening van de gemeente Amsterdam? Opgehaald van Amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?caseid=%7BED1B34DF-DF07-4D6F-81B4-D3E31F67B7FA%7D>

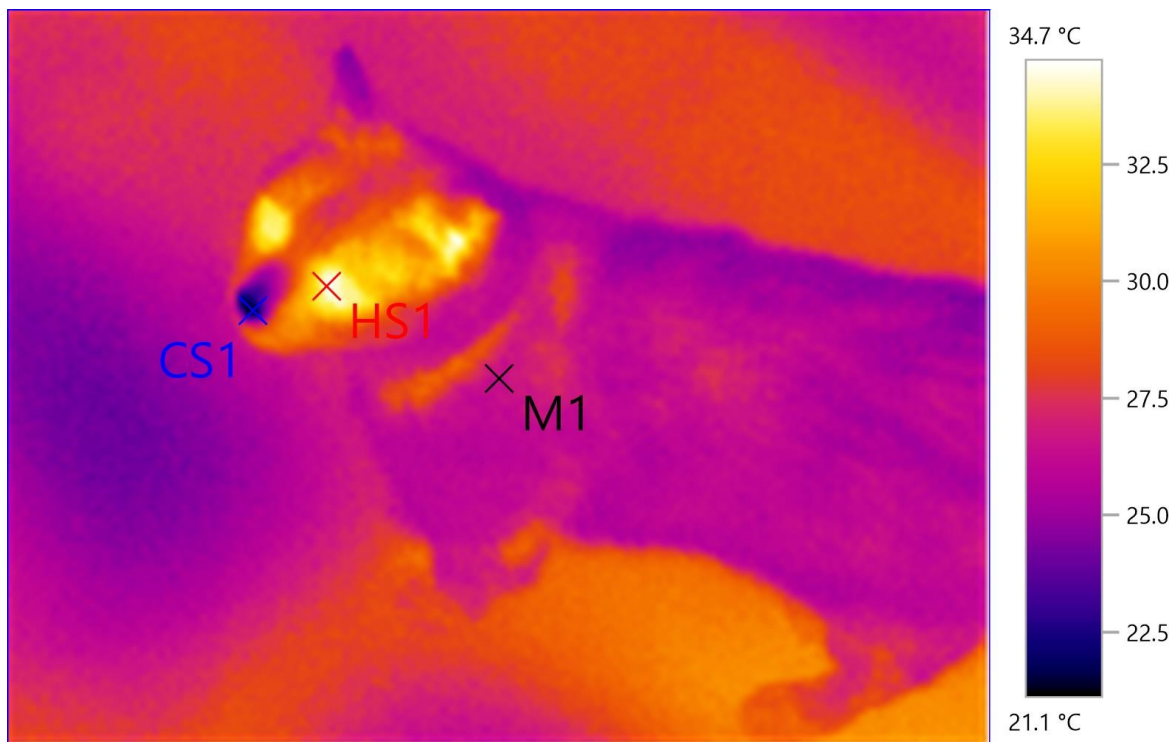
- [13] Gemeente Amsterdam (2019, oktober) Stimuleren van duurzaam meerjarenonderhoud van vastgoed met een culturele bestemming. Opgehaald van <https://www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?productid=%7BCF975509-C537-49EB-985A-CDD7F96BF99D%7D>
- [14] Gemeente Amsterdam (2019, oktober) Subsidie Op weg naar een circulaire stad - renovatie en transformatie van corporatiebezit. Opgehaald van <https://www.amsterdam.nl/veelgevraagd/?productid=%7B124d0172-783a-4308-a95c-3537aebadbfc%7D>
- [15] Gemeente Amsterdam (2019, oktober) De schoonheid van Amsterdam – Welstandsnota. Opgehaald van <https://www.crk.amsterdam.nl/welstandsnota/amsterdamse-themas#Duurzaamheid>
- [16] Innoforte (2018). Efficiëntie warmtenet Amsterdam. In opdracht van Gemeente Amsterdam.
- [17] Milieu Centraal. (2019, maart 5). Prijs en opbrengst zonnepanelen. Opgehaald van milieucentraal: https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/zonnepanelen-kopen/prijs-en-opbrengst-zonnepanelen/?gclid=CjwKCAjw7MzkBRAGEiwAkOXexHKngvQcc5tWcWM-5SBbqTe7NONMTcCdLLHydUNh0fpTcvBNxdmQpBoCPHkQAvD_BwE
- [18] Nationaal energiebespaarfonds. (2019, maart 5). Energiebespaarlening voor particulieren. Opgehaald van energiebespaarlening: <https://www.energiebespaarlening.nl/particulieren/#section1>
- [19] Niemann Raadgevende Ingenieurs, Renovatieadvies Gentiaanbuurt te Amsterdam – proefblok 5, 18 oktober 2018
- [20] Warmtewet (2019, juli). Opgehaald van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0033729/2019-07-01>
- [21] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2019, maart 5). Investeringssubsidie duurzame energie ISDE. Opgehaald van rvo: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/investeringssubsidie-duurzame-energie-isde>
- [22] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2019, maart 5). Stimulering Duurzame Energieproductie. Opgehaald van rvo: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimulering-duurzame-energieproductie>
- [23] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2019, oktober). Subsidie Energiebesparing Eigen Huis. Opgehaald van <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/seeh/>
- [24] Verwarminginfo. (2019, maart 5). water-water warmtepomp. Opgehaald van verwarminginfo: <https://www.verwarminginfo.nl/warmtepomp/water-water-warmtepomp>

- [25] Vattenfall, CO₂ uitstoot warmtenet:
<https://www.vattenfall.nl/producten/stadsverwarming/warmte-etiket/>
- [26] Vattenfall, prijzen warmtenet Amsterdam:
<https://www.vattenfall.nl/media/consumenten/producten/stadsverwarming/voorwaarden-richtlijnen-tarieven-endorsed/vattenfall-stadswarmte-tarieven-2019-amsterdam.pdf>
- [27] <https://group.vattenfall.com/nl/siteassets/vattenfall-nl-newsroom-assets/images-and-docs/2019/warmtepact-met-bijlage1.pdf>
- [28] Warmtepompenadvies. (2019, maart 5). warmtepomp prijzen. Opgehaald van warmtepompenadvies: <https://warmtepompenadvies.nl/warmtepomp-prijzen/>
- [29] Warmtepomp-info. (2019, maart 5). kosten warmtepomp. Opgehaald van warmtepomp-info: <https://www.warmtepomp-info.nl/kosten-warmtepomp/>
- [30] Warmtepompplein. (2019, maart 5). warmtepomp prijs, kosten en opbrengsten. Opgehaald van warmtepompplein: <https://warmtepompplein.nl/warmtepomp-prijs/>
- [31] Warmtepompweetjes. (2019, maart 7). Brine/Water warmtepomp. Opgehaald van warmtepomp-weetjes: <https://warmtepomp-weetjes.nl/soorten/brine-water-warmtepomp/>
- [32] Warmtepomp-weetjes. (2019, maart 5). warmtepomp prijzen. Opgehaald van Warmtepomp-weetjes: <https://warmtepomp-weetjes.nl/extra/warmtepomp-prijs/>
- [33] Wasco. (2019, maart 6). warmtebronnen. Opgehaald van wasco:
<https://www.wasco.nl/categorie/verwarming/warmtebronnen>
- [34] Werkgroep discontovoet:
<https://www.rwseconomie.nl/documenten/rapporten/2016/augustus/augustus/advies-werkgroep-discontovoet>

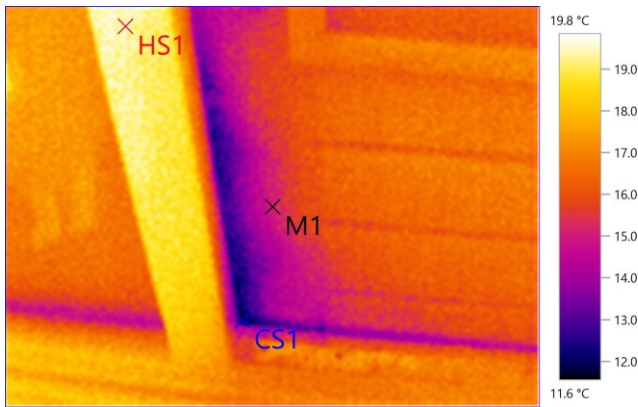
Bijlage A Infraroodopnamen

Bij het bezoeken van de woningen zijn infraroodopnamen gemaakt. Daarmee kan de temperatuur van een voorwerp mee worden gezien. Alle voorwerpen met een temperatuur boven het absolute nulpunt van -273.15 °C stralen warmte uit. De zogenaamde golflengte van deze straling is afhankelijk van de temperatuur van het voorwerp. Bij kamertemperatuur (20 °C) bevindt de straling zich in het infraroodspectrum. Is de temperatuur heel hoog ($> 500\text{ °C}$), dan komt de warmtestraling in het spectrum van zichtbaar licht, zoals roodgloeiend staal.

Een infraroodcamera zet infrarood straling (niet zichtbaar voor het menselijk oog), om in een plaatje met zichtbaar kleuren. Onderstaande foto is van een kat. De schaal aan de rechterzijde geeft aan dat paars een temperatuur van 21 °C is en dat deze oploopt tot ruim 34 °C als de kleur wit-geel is. De temperatuur van een kat is, net zoals een mens, ongeveer 36 °C . De foto is binnen gemaakt, dus de luchttemperatuur is ongeveer 20 °C . Door de vacht, welke een isolerende functie heeft, meten we slechts 21 °C . Daaruit kunnen we concluderen dat de vacht voorkomt dat de kat warmte verliest. Dit in tegenstelling tot zijn hoofd en met name de ogen, waar geen isolatie is, en we de werkelijke lichaamstemperatuur van de kat zien.



Het gebruik van een infraroodcamera voor gebouwen werkt hetzelfde. Foto's zijn van binnenuit gemaakt, terwijl het buiten koud was. Met we hoge temperaturen (nabij de 20 °C), dan kunnen we concluderen dat de koud de woning op deze plek niet binnen komt. Meten we koude temperaturen, dan is er een warmtelek.



In bovenstaande foto zien we een tuindeur. De donkerblauwe kleur wordt veroorzaakt door koude lucht die door een kier tussen het frame en de deur naar binnen komt. Dit veroorzaakt tocht en warmteverlies in de woning.

In onderstaande foto's is tocht door de brievenbus het kattenluik goed te zien.

