

Op weg naar een aardgasvrije Van der Pek buurt



Colofon

Opdrachtgever

Gemeente Amsterdam

Weesperplein 8 | 1018 XA Amsterdam

Uitvoering

EnergyGO

Marcel Elswijk; Bart Roossien, Saskia Müller en Niels Sijpheer

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

Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde

Sabine Jansen en Tess Blom

Julianalaan 134 | 2628BL Delft | www.tudelft.nl/bk/

Waternet

Stefan Mol

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

Rapport

Correspondentie: info@energygo.nl

Projectnummer A660.305

Versie: 13 januari 2020

Documentnaam: R660305_warmtescenarios_vanderPekbuurt_v04

Samenvatting

In de van der Pekbuurt is een zeer actieve bewonersgroep betrokken bij het aardgasvrij maken van hun buurt. In de Gentiaanbuurt heeft Ymere in een renovatieproject 40 van de 240 woningen al aangesloten op stadswarmte. De bewonersgroep vraagt zich af of bij deze keuze alle mogelijkheden zijn onderzocht en of dit de beste oplossing is voor de wijk. De gemeente Amsterdam heeft daartoe een onafhankelijk onderzoek consortium ingeschakeld om 5 mogelijke warmtevoorzieningen te beoordelen op verschillende prestaties.

Dit rapport presenteert de scores van 5 mogelijke warmtevoorzieningen (scenario's) op economie, duurzaamheid en bijkomstige aspecten. Deze scores ondersteunen de bewoners, de betrokken corporatie Ymere en de gemeente Amsterdam in hun gesprek over de keuze voor de uiteindelijke warmtevoorziening en de weg er naartoe.

Het onderzoek heeft 5 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.

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

De inventarisatie van alle relevante gebouwen in de van der Pekbuurt is uitgevoerd met open data. Op basis daarvan zijn vijf woningtypes gedefinieerd waarmee de warmtescenario's zijn doorgerekend.

Voor de renovatie is uitgegaan van het concept dat door Nieman adviseurs is geadviseerd aan Ymere. Op basis van dit renovatieconcept is de vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en koeling per woningtype bepaald. Een inventarisatie van haalbare warmtebronnen, warmtedragers en warmteopslag heeft uiteindelijk geleid tot vijf warmtescenario's. Naast stadswarmte en individuele warmtepompen zijn er drie scenario's gebaseerd op een lokaal warmtenet met warmteopslag in de grond (WKO) en warmteonttrekking uit oppervlaktewater (TEO).

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

Scenario	Omschrijving
A. Warmtenet - 70 °C	Warmte geleverd door het stadswarmtenet van Westpoort Warmte.
D. Warmtenet - 50 °C	Warmte wordt onttrokken uit oppervlakte 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.
E. Warmtenet - 40 °C	Warmte wordt onttrokken uit oppervlakte en in de bodem opgeslagen. In de wintermaanden wordt op wijkniveau 40 °C water aan de woningen levert en in de zomer 20°C. Tapwater wordt gemaakt met behulp van een booster warmtepomp.
H. Warmtenet - 15 °C	Warmte wordt onttrokken uit oppervlakte 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.
J. All-electric	Een individuele oplossing zonder warmtenet, waarbij elke woning van een lucht-water warmtepomp wordt voorzien.

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 die hieronder is weergegeven. De netto contante waarde is een benadering van de toekomstige jaarlijkse kosten voor gebruikers.



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 = groen = goed, 5 = rood = slecht).

	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Energiebesparing woning	2	2	2	2	2
Benodigde elektriciteitsinput	Onbekend	5.442 MWh	3.887 MWh	3.459 MWh	5.141 MWh
Vermindering CO ₂ uitstoot	2	5	3	1	4

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

Meetbare aspecten

	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Techniek	1	1	1	1	1
Ruimte woning	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	n.v.t.
	N.v.t.	n.v.t.	Kleine warmtepomp	Rel. grote warmtepomp	Grote warmtepomp
	Airco vergt ruimte	Airco vergt ruimte	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
		Buffervat	Buffervat	Buffervat	Buffervat
Overlast tijdens bouw	1	1	1	1	1
Openheid	Alleen bij uitzondering	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	n.v.t.
Faseerbaarheid	1	2	2	2	1

Niet meetbare aspecten

	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Impact wijk	WOS in de wijk	TEO installatie onderstations met WKO en WP	TEO installatie onderstations met WKO en WP	TEO installatie onderstations met WKO	Buitenunits in zicht (kan ook binnen)
Welstand	Airco's	Airco's Net: afhankelijk van ontwerp	Net: afhankelijk van ontwerp	Net: afhankelijk van ontwerp	Buitenunits in zicht
Koude levering	Airco	Airco	Warmtenet	Warmtenet	Warmtepomp

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.

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

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Introductie	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Waarom Van der Pekbuurt?	10
1.3 Aanpak	10
1.4 Leeswijzer	12
2. Inventarisatie	13
2.1 Kengetallen	13
2.2 Woningen	14
2.3 Infrastructuur	16
2.4 Huidig energiegebruik en CO ₂ -emissies	17
2.5 Welstand	17
3. Gebouwenrenovatieconcept	18
3.1 Energie besparen	18
3.2 Schilrenovatie, ventilatie en luchtdichtheid	18
3.3 Uitgangpunten schilisolatie, ventilatie en afgifte systeem na renovatie	19
3.4 Investerings	20
3.5 Koeling	21
3.6 Netto energievraag	23
4. Bronnen, dragers en opslag	24
4.1 Bronnen en dragers	24
4.2 Opslag	25
4.3 Afgevalen bronnen, dragers en opslag	26
5. Warmtescenario's	28
5.1 Beschikbare bronnen en temperaturen	28
5.2 Wijk warmte scenario's	29
5.3 Kosten	33
6. Energie en CO ₂ uitstoot	34
6.1 Energiegebruik per bouwtype	34
6.2 Totale energiegebruik gebouwen	34
6.3 Totale energievraag warmtescenario	35

6.4	CO ₂ emissies	38
6.5	Duurzame elektriciteit.....	39
7.	Financiële analyse.....	40
7.1	TCO-model	40
7.2	Berekening	41
7.3	Totale kosten per scenario.....	42
7.4	Gevoeligheidsanalyse.....	43
7.4.1	Discontovoet	43
7.4.2	Evaluatieperiode	44
7.4.3	Inflatie	45
7.4.4	Inflatiepercentage elektriciteit	46
7.4.5	Inflatiepercentage warmte	47
8.	Eigendom en governance.....	48
8.1	Eigendom	48
8.2	Governance	51
9.	Prestatie scores	52
9.1	Economische prestaties.....	52
9.2	Duurzaamheid prestatie	53
9.3	Bijkomende aspecten.....	54
10.	Verwijzingen	56
Bijlage A	: Warmtescenario's.....	59
Bijlage B	: Input gebouwberekeningen	1
Bijlage C	: Wijk-Distributieverliezen warmtenetten en pompenergie	1

1. Introductie

1.1 Aanleiding

In de van der Pekbuurt is een zeer actieve kopgroep van bewoners betrokken bij het aardgasvrij maken van hun buurt. De gemeente Amsterdam heeft hun verzoek gehonoreerd samen een onderzoek uit te zetten naar de mogelijkheden voor de toekomstige warmtevoorziening in de wijk. 40 woningen in een deel van de wijk (de Gentiaanbuurt) zijn al op stadswarmte aangesloten, de aansluiting van de volgende 200 woningen wordt voorbereid. De bewoners vragen zich af of bij deze keuze alle mogelijkheden zijn onderzocht en of dit de beste oplossing is voor de rest van de wijk.

Overwegingen bij dit onderzoek zijn onder andere:

- De gemeente en de woningcorporatie hebben aangegeven dat nog geen besluit genomen is over de warmtetechniek die in de wijk zal komen;
- de bewoners vragen zich af of stadswarmte de meest duurzame oplossing is en of de woonlasten betaalbaar blijven als er niet maximaal geïsoleerd wordt. Er wordt gezocht naar een goede verdeling van lusten en lasten voor alle betrokkenen. Het doel is een toekomst zonder verliezers;
- de bewoners willen een beter beeld krijgen van de voor- en nadelen van verschillende eigendommen en governance constructies van een warmtebedrijf. De uitkomsten van dit onderzoek moeten aanknopingspunten geven voor een gesprek over het organiseren van collectieve oplossingen waarbij het eigenaarschap anders is opgelost, zoals een buurtcoöperatie;
- de bewonersgroep bestaat uit betrokken bewoners die op persoonlijke titel meedenken;
- de uitkomsten van het onderzoek zijn vooral relevant voor bewoners, gemeente en Ymere. Zij zullen de uitkomsten gezamenlijk bespreken. Uiteraard zijn de uitkomsten ook relevant voor andere betrokkenen, zoals andere woningcorporaties en netbeheerders indien zij zich nu of in de toekomst in soortgelijke trajecten bevinden.

Met bovenstaande vragen in het achterhoofd is door de gemeente besloten om een gezamenlijk onderzoekstraject met de bewoners van de Van der Pekbuurt te starten, waarbij een aantal warmtetechnieken met elkaar vergeleken wordt en een onafhankelijk advies verkregen wordt over het voorkeursalternatief voor deze buurt.

Het onderzoek is bedoeld om de basis te bieden aan een gefundeerde gezamenlijke vergelijking door alle stakeholders van een vijftal geselecteerde warmte oplossingen.

1.2 Waarom Van der Pekbuurt?

De komende jaren gaat de grootste woningcorporatie in de Van der Pekbuurt, Ymere, ingrijpende renovatiewerkzaamheden uitvoeren. De kwaliteit, het comfort en het uiterlijk van de woningen verbetert daarmee aanzienlijk. Tegelijkertijd heeft de gemeente plannen om de openbare ruimte op te knappen en zullen waterbedrijf Waternet en netbeheerder Liander waar nodig waterleidingen, rioleringen en elektriciteitsnetten vernieuwen. Door werkzaamheden op elkaar af te stemmen en te zoeken naar gezamenlijke oplossingen, zijn er kansen om de betaalbaarheid van de warmtetransitie op buurtniveau, en in het verlengde daarvan de betaalbaarheid voor alle betrokken partners (dus ook de eindgebruiker) te verbeteren.

Het aardgasvrij maken van de Van der Pekbuurt is geen doel op zich. De stap maakt onderdeel uit van het gemeentelijk klimaatbeleid om in 2050 een klimaat neutrale stad te zijn. Hiervoor wordt langs verschillende sporen gewerkt. Het verbeteren van de energieprestatie van de gebouwde omgeving is er één van. Nieuwbouw wordt in de stad al aardgasvrij opgeleverd. Voor bestaande bouw wordt onder andere ingezet op het verbeteren van de isolatie van gebouwen en het overstappen op andere warmteoplossingen dan aardgas.

In een deel van de Van der Pekbuurt, de Gentiaanbuurt, is Ymere al begonnen met de renovatie en het aardgasvrij maken van 240 woningen. De afspraken die Ymere hierover met de bewoners gemaakt heeft, zijn tot stand gekomen binnen de 'Amsterdamse City Deal vernieuwing en verbetering'. De woningen worden op het stadswarmtenet van Westpoort Warmte aangesloten.

In 2018 heeft de gemeente Amsterdam een nationale proeftuinsubsidie gekregen voor de Van der Pekbuurt. Deze middelen worden ingezet voor het realiseren van een betaalbare businesscase voor de warmtetransitie in deze buurt op basis van het uitvoeringsplan Warmte. De status 'proeftuin' maakt ook mogelijk dat op allerlei manieren geleerd kan worden in deze wijk, zowel over financiën, techniek, als over het gevolgde proces. Dit gezamenlijke onderzoek is daar een voorbeeld van.

1.3 Aanpak

Het onderzoek is in zes fasen uitgevoerd. In de eerste fase is een inventarisatie gemaakt van de relevante gebouwen in de Van der Pekbuurt aan de hand van open data. Hiermee zijn vijf woningtypes gedefinieerd waarmee de warmtescenario's zijn doorgerekend. 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. Voor de vijf referentiewoningen en door Nieman Adviseurs geadviseerde renovatie voor de van der Pek woningen is een raming gemaakt van de toekomstige behoefte aan elektriciteit, ruimteverwarming, warm tapwater en koeling.

instemming van de bewoners gekregen om de woningen te renoveren en aan te sluiten op het stadswarmtenetwerk.

1.4 Leeswijzer

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

Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 het renovatieconcept voor de woningen beschreven. Dit renovatieconcept is voor alle warmtescenario's hetzelfde en is toegepast op alle woningen in de Van der Pek buurt. Het renovatieconcept is voor de verschillende woningtypen doorgerekend om zo de netto warmtevraag in kaart te krijgen.

Hoofdstuk 4 beschrijft potentiële warmtebronnen, energiedragers en warmteopslagsysteem en beoordeelt deze op de kansrijkheid¹. De kansrijke bronnen, dragers en opslagsysteem zijn vervolgens in een vijftal warmtescenario's gegoten in 5.

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

In hoofdstuk 8 is een analyse gemaakt van mogelijke eigendomsstructuren en governance met betrekking tot de verschillende warmtescenario's.

De warmtescenario's zijn op verschillende prestaties beoordeelt 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 er warmte en elektriciteit op grootgebruikersniveau afgenomen en daar gelden andere tarieven.

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.

De ontwikkeling van de emissiefactoren over de komende 40 jaar voor zowel elektriciteit als stadswarmte is dat deze lineair afneemt met 3,33% per jaar ten opzichte van het jaar 2020. Zowel elektriciteit als stadswarmte stoot in 2050 helemaal geen CO₂ meer uit.

2.2 Woningen

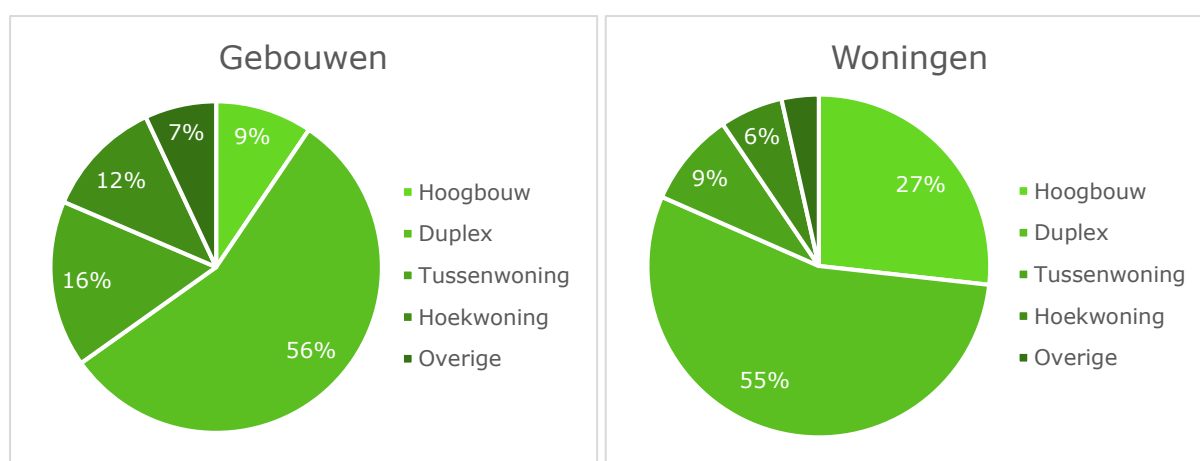
Het onderzoeksgebied is in kaart gebracht met behulp van open data [7]. In het onderzoeksgebied (blauw en geel) staan 1.166 gebouwen, waarvan er 1.131 een woonfunctie hebben. Een gebouw, zoals een appartementengebouw, kan meer dan één woningadres bevatten. In totaal zijn er 2.310 woningen (adressen) in het gebied die worden gedomineerd door 4 bouwtypen zoals weergegeven in Tabel 3 en Figuur 2.

De eigenaren van de woningen zijn de woningcorporaties Eigen Haard, Ymere, De Alliantie en De Key, particulieren, Verenigingen van Eigenaren en zakelijke verhuurders.

Tabel 3: Aantal woningen en woongebouwen in het onderzoeksgebied, uitgesplitst naar type.

Type	Toelichting	Gebouwen	Adressen
Hoogbouw	Gestapelde bouw, zoals appartementen en flatgebouwen.	107	618
Duplex	Gebouwen die bestaan uit een boven- en benedenwoning.	630	1.267
Tussenwoning	Rijtjeswoning die tussen twee andere woningen staat.	184	206
Hoekwoning	Rijtjeswoning die aan het einde van een rij staat.	131	138
Overige	Een mix van o.a. vrijstaande woningen, 2-onder-1-kap woningen, woonschepen en woonarken.	79	81
Totaal		1.131	2.310

Het aantal adressen per gebouw voor het type hoogbouw varieert tussen de 3 en 60 woningen per gebouw. Daarbij moet opgemerkt worden dat een gebouw in veel gevallen een portiek betreft en niet het gehele flatgebouw. Daarnaast is de typering niet altijd even nauwkeurig, waardoor woningen soms een verkeerde typeaanduiding krijgen. Dit verklaart waarom sommige rijtjeswoningen meer dan 1 adres hebben.

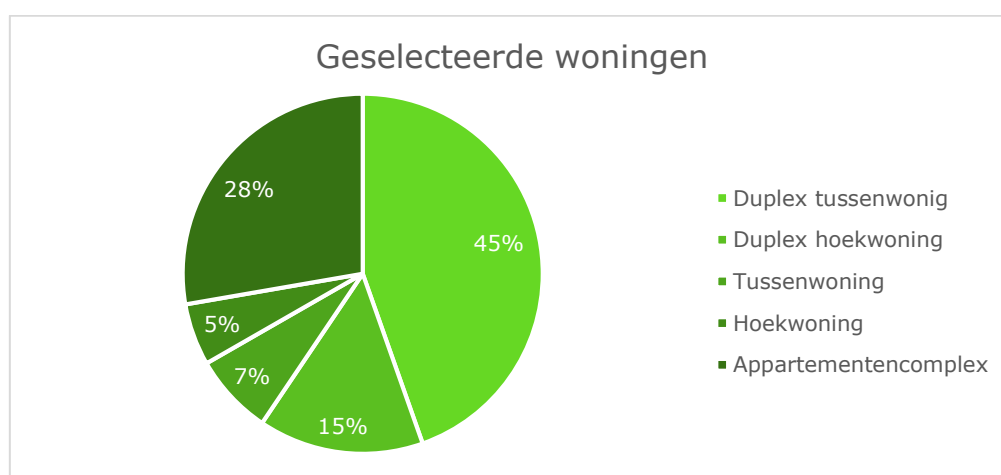


Figuur 2: De verdeling van het aantal woongebouwen en individuele woningen in het onderzoeksgebied uitgesplitst per type.

Op basis van de inventarisatie zijn vijf woningtypen gedefinieerd. Deze zijn in dit onderzoek uitgewerkt ten behoeve van de verschillende warmtescenario's. De woningtypes staan in Tabel 4. Aangegeven is hoeveel gebouwen er per categorie zijn opgenomen. Omdat er een klein percentage gebouwen is dat buiten onderstaande woningtypes valt, is het aantal gebouwen dat doorgerekend is in de warmtescenario's iets lager dan het werkelijk aantal gebouwen.

Tabel 4: Woningtypen die zijn uitgewerkt voor de warmtescenario's met het aantal adressen.

Type	Toelichting	Adressen
Duplex tussenwoning	• Staat tussen twee andere duplexwoongebouwen • Bestaat uit een beneden- en bovenwoning • Van der Pek architectuur	994
Duplex hoekwoning	• Staat op de hoek van een blok van duplexwoningen • Bestaat uit een beneden- en bovenwoning • Van der Pek architectuur	331
Tussenwoning	• Rijtjeswoning tussen twee andere rijtjeswoning. • Bestaat uit 1 woning • Op basis van Disteldorp architectuur	162
Hoekwoning	• Rijtjeswoning aan het einde van een rij woningen • Bestaat uit 1 woning • Op basis van Disteldorp architectuur	124
Appartementencomplex	• Bestaat gemiddeld uit 14 woningen • Vijf portieken met elk 6 woningen • Generieke architectuur	618
Totaal		2.229



Figuur 3: Verdeling van het aantal adressen van de gekozen woningtypen.



Figuur 4: Links: 8 duplex tussenwoningen (4 gebouwen) en 4 duplex hoekwoningen (2 gebouwen). Midden: Hoek- en tussenwoningen op basis van Disteldorp architectuur. Rechts: Een appartementencomplex aan de Buiksloterweg.

2.3 Infrastructuur

De huidige infrastructuur bestaat uit drinkwaterleidingen, rioleringsbuizen, (gietijzeren) aardgasleidingen, elektriciteitskabels, warmteleidingen en TV/telefoon kabels. De netbeheerder voor elektriciteit en aardgas, Liander, heeft vanwege van interne privacy protocollen geen data kunnen aanleveren van de 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.

Delen van de infrastructuur voor aardgas, riolering en drinkwater zijn aan vervanging toe. Dit biedt mogelijk koppelkansen: bij het aanleggen van bijvoorbeeld warmteleidingen kunnen gelijktijdig ook andere leidingen worden vervangen of verwijderd, waarmee de kosten verlaagd kunnen worden. Bovendien vermindert het de overlast. Dit vraagt wel een goede coördinatie tussen de verschillende partijen. De Amsterdam City Deal wil koppelkansen bevorderen.



Figuur 5: Er is een grote overlap tussen de leeftijd van het aardgasnet (links, groen: moet vervangen worden) en het vervangingsmoment van riolering (rechts, rood: moet vervangen worden).

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 voor de 2.310 woningen in 2017 weergegeven. De CO₂-uitstoot is bepaald volgens de te verwachten emissiefactoren in 2020.

Tabel 5: Totaal en woninggemiddelde energiegebruik en CO₂ uitstoot.

	Eenheid	Totaal	Gemiddeld per woning
Aantal adressen		2.310	-
Totaal vloeroppervlak	m ²	163.726	70,88
Gasverbruik	m ³ /jaar	2.846.830	1.232
Elektriciteit	kWh/jaar	6.426.087	2.782
CO ₂ uitstoot t.g.v. gasverbruik	ton/jaar	5.381	2,329
CO ₂ uitstoot t.g.v. elektriciteitsgebruik	ton/jaar	2.185	0,946

2.5 Welstand

De Van der Pekbuurt en de Gentiaanbuurt zijn in de Welstandsnota (2016) van de gemeente aangewezen als een zogenaamd Rijks beschermd stads- en dorpsgezicht. Dat betekent dat het aanbrengen van zonnepanelen en installaties voor de energievoorziening aan strengere dan de gebruikelijke regels is gebonden. In het algemeen is het in deze buurt niet toegestaan zonnepanelen of installaties aan te brengen op plaatsen die zichtbaar zijn vanaf de openbare weg. Gepoogd is in overleg met een vertegenwoordiger van de Commissie Ruimtelijke Kwaliteit van de gemeente Amsterdam tot een nauwkeurige inschatting te komen van waar wel en waar geen panelen kunnen worden geplaatst. Ook is geprobeerd duidelijkheid te krijgen over de mogelijkheid om een droogloop of overdekte parkeervoorziening te bouwen bedekt met zonnepanelen. Dat is niet gelukt. In het algemeen zullen op de daken grenzend aan de binnentuinen en op platte daken panelen en installaties zijn toegestaan mits onzichtbaar vanaf de openbare weg. Nader overleg is nodig om de precieze grenzen vast te stellen.

3. Gebouwenrenovatieconcept

In dit hoofdstuk is het renovatieconcept voor de woningen beschreven dat is gebruikt voor het berekenen van de toekomstige energievraag voor ruimteverwarming, tapwater en koeling. 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 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 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 nog 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 zijn de vloeren, daken, gevels, ramen en deuren;
- De kierdichting van de gebouwschil;
- De hoeveelheid lucht die moet worden geventileerd om een gezond luchtklimaat 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 qv_{10} waarde (uitgedrukt in liters lucht per seconde en per m^2). 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.

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 niet voor in de Van der Pekbuurt en wordt tegenwoordig ook niet meer toegepast).

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 platte plafondsysteem voor de hal in de woning beschikbaar.

3.3 Uitgangspunten schilisolatie, ventilatie en afgifte systeem na renovatie

In de berekening van de toekomstige energievraag van de vijf woningtypen is voor de verbetering van de schil van de woningen uitgegaan van het renovatieconcept in de Gentiaanbuurt [19], met toepassing van lage temperatuur verwarming. 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.

Het nieuwe warmteafgiftesysteem bestaat uit lage temperatuur vloerverwarming. Het ventilatiesysteem C blaast warme binnenlucht naar buiten en zuigt buitenlucht aan door de roosters. Deze combinatie zou tot tochtklachten zou kunnen leiden. Bij de uitwerking moet rekening worden gehouden met de plaatsing van de roosters om tocht te voorkomen.

Tabel 7: Uitgangspunten renovatieconcept.

Bouwdeel	Bestaand	Na renovatie
Gevel	$R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	$R_c = 3,47 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Dak	$R_c = 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	$R_c = 2,44 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Gevel dakkapel	$R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	$R_c = 1,47 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Gevel dak	$R_c = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	$R_c = 1,33 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Vloer	$R_c = 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	$R_c = 2,37 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Ramen	$U = 3,2 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$	$U = 1,8 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$
Warmteafgiftesysteem	Radiatoren	Vloerverwarming
Ventilatiesysteem	A. Natuurlijke ventilatie	C. Mechanisch/roosters
Kierdichting (Qv10)	4,00	0,80
Koken	Aardgas	Elektrisch

3.4 Investeringskosten

Voor de kosten die deze renovatie met zich meebrengt (indicatie excl. BTW) is gebruik gemaakt van de getallen in [1]. Hieronder zijn deze uitgangspunten samengevat.

De kosten zijn onderscheiden naar zelfstandig of natuurlijk vervangmoment en individuele of projectmatige (collectieve) aanpak. Voor de Van der Pekbuurt is uitgegaan van de natuurlijke vervangmomenten en een projectmatige aanpak. 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).

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

Object	Specificatie (Gentiaan renovatie)	Investering (excl. BTW)	Eenheid
Vloer	100mm minerale wol onder houten vloer	35,00	€/m ²
Buitengevel	Voorzetwand binnenzijde met 130mm isolatie	109,00	€/m ²
Hellend dak	100mm isolatie binnenzijde	43,00	€/m ²
Plat dak	100mm isolatie buitenzijde	57,00	€/m ²
Beglazing	Enkel/dubbel glas vervangen voor HR++	47,00	€/m ²
Kozijnen	Behouden kozijnen + toepassen kierdichting	146,00	€/woning
Kierdicht maken	Renovatiejaar 2018	1.164,00	€/woning

Voor tussenwoningen van het type eengezinswoning en duplex (2 wooneenheden) zijn de investeringen weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Overzicht bouwkundige investeringskosten voor een typische eengezinswoning en duplexwoning (2 wooneenheden) in de Van der Pek buurt.

Object	EGW Tussen	Duplex Tussen
Vloer	1.096 €	1.827 €
Buitengevel	2.425 €	3.836 €
Hellend dak	2.021 €	2.993 €
Beglazing	432 €	1.123 €
Kozijnen	146 €	146 €
Infiltratie	1.164 €	1.164 €
Totaal ex. BTW	7.284 €	11.089 €
Totaal incl. BTW	8.814 €	13.418 €

3.5 Koeling

Vanwege de steeds warmere zomers en omdat geïsoleerde woningen minder goed vanzelf afkoelen, is ook naar de koelbehoefte gekeken. Hiervoor is van de meest voorkomende woning (een duplex tussenwoning) een dynamische berekening gemaakt, waarbij aangenomen is dat zowel aan de voor- als aan de achterkant een dakkapel staat.

De berekening voor deze woning is gemaakt met het dynamische energie simulatiemodel TRNSYS. Hiermee wordt het hele jaar (8.760 uur) doorgerekend. De uitgangspunten voor isolatie en ventilatie uit de vorige paragraaf gelden als invoer voor de woningkenmerken.

Als basisvariant is gekeken naar een situatie waarbij er geen zonwering is en geen te openen ramen. Dit geeft aan hoeveel koeling er nodig zou zijn als er geen passieve maatregelen zijn. Dit geeft tevens aan hoeveel warmte gewonnen zou kunnen worden als deze koeling benut zou worden in een WKO systeem. Als er geen koeling is, zullen mensen in de praktijk wel ramen openen.

Daarnaast is gekeken naar het effect van zonwering en van 'comfort-ventilatie', d.w.z. het effect van te openen ramen. Voor de zonwering wordt ervan uitgegaan dat deze naar beneden gaat als de zon een sterkte heeft die boven 250 W/m² komt. Bij de comfortventilatie wordt er van uit gegaan dat de ramen in de kiepstand worden gezet als het binnen warm is en buiten minder dan 24 °C, zodat met buitenlucht gekoeld kan worden. In het model is rekening gehouden met enkelvoudige ventilatie als gevolg van deze kiepstand. Als de ramen wijder open gezet worden, kan meer geventileerd en daardoor meer passief gekoeld worden.

Samenvattend zijn de volgende varianten bekeken:

- 1) Basisvariant: alle bouwfysische eigenschappen na renovatie; gemiddeld bewoners gedrag en bijbehorende interne warmteproductie (volgens NEN 7120). Alles dicht.
- 2) Basisvariant plus automatische zonwering op alle zuidgeoriënteerde ramen;
- 3) Basisvariant plus comfort ventilatie

Voor alle varianten is gekeken naar een situatie met en een situatie zonder koeling. De situatie zonder koeling laat zien hoeveel uren een gebrek aan comfort zou optreden; de situatie met koeling berekent de koelbehoefte, die door een koelinstallatie geleverd zou moeten worden. Hierbij is uitgegaan van continue koeling; in de praktijk zal er minder nodig zijn omdat mensen niet altijd thuis zijn.

In Tabel 10 staan de resultaten weergegeven voor een wooneenheid van 66 m², de helft van een duplexwoning. Deze tabel toont hoeveel uren het te warm wordt bij de scenario's zonder koeling, en hoe groot de koelvraag is in de scenario's met koeling.

Tabel 10: Aantal uren per jaar dat de genoemde temperatuur wordt overschreden en de netto koelvraag om dit tegen te gaan.

Variant	Zonder koeling		Met koeling
	Overschrijdingsuren/jaar		Koelvraag
	> 25 °C	> 28 °C	kWh/jaar
1. Basis variant	1.506	292	415
2. Basis + Zonwering	583	21	125
3. Basis + Ventilatie	1.083	76	270

In de tabel is te zien dat bij de varianten zonder koeling sprake is van oververhitting.

De basisvariant leidt tot een groot aantal overschrijdingsuren, omdat de warmte niet kan worden afgevoerd. Hierdoor blijft het in de zomermaanden ook 's nachts boven de 25 graden. Dit zal in de praktijk niet voorkomen, omdat mensen ramen zullen openen. Met automatische zonwering op het zuiden wordt het aantal overschrijdingen significant verlaagd, maar er blijven overschrijdingsuren. Ook met comfortventilatie kan het aantal overschrijdingen worden verlaagd. Als de ramen verder worden geopend, dan kunnen de overschrijdingen nog verder worden beperkt.

Dezelfde varianten met koeling geven vanzelfsprekend nul overschrijdingsuren, omdat de koeling zal aanslaan wanneer het te warm wordt. De variant zonder zonwering en zonder comfortventilatie heeft de hoogste koelvraag (415 kWh/jaar) voor een wooneenheid van 66 m²) en de variant met automatische zonwering op de zuidgevels de laagste. Een combinatie van zonwering en ventilatie zal tot minder overschrijdingen leiden.

Op basis van bovenstaande resultaten is voor de verdere studie gekozen om een koelvraag van 250 kWh/jaar per wooneenheid aan te nemen. Deze inschatting is gebaseerd op de wetenschap dat mensen niet continue koelen en ook niet altijd ramen op het gunstigste moment open en dicht doen. Alleen bij volledig automatische zonwering zal de koelvraag lager uit kunnen pakken.

3.6 Netto energievraag

De netto energievraag voor ruimteverwarming en tapwater van de verschillende woningtypen (na schilrenovatie) zijn met het bouwfysisch softwarepakket Energeyes [6] bepaald. Voor de koeling is voor alle woningtypen een gemiddelde aangenomen zoals beschreven in paragraaf 3.5. De renovatie van de schil van de bestaande naar de nieuwe situatie levert een verlaging van 55% van de netto ruimteverwarmingsvraag. In de onderstaande tabel is de netto energievraag per jaar voor ruimteverwarming, tapwater en koeling gepresenteerd.

Tabel 11: Netto energievraag voor ruimteverwarming, tapwater en koeling (na renovatie) per woning.

Gebouwtype	Ruimteverwarming		Tapwater		Koeling	
	GJ/jaar	kWh _{th} /jaar	GJ/jaar	kWh _{th} /jaar	GJ/jaar	kWh _{th} /jaar
Duplex Tussen	11,3	3.139	7,0	1.944	0,9	250
Duplex Hoek	13,3	3.694	7,0	1.944	0,9	250
Tussenwoning	12,4	3.444	7,0	1.944	0,9	250
Hoekwoning	16,2	4.500	7,0	1.944	0,9	250
Appartement	20,6	5.714	7,0	1.944	0,9	250
Gemiddeld	14,1	3.928	7,0	1.944	0,9	250

4. Bronnen, dragers en opslag

In dit hoofdstuk worden de potentiële energiebronnen, energiedragers en energieopslagsystemen geanalyseerd op hun toepasbaarheid binnen de Van der Pekbuurt.

4.1 Bronnen en dragers

Verkend is welke energiebronnen en/of energiedragers warmte zouden kunnen leveren aan de Van der Pekbuurt. In Tabel 12 is een overzicht gemaakt van de primaire energiebronnen (de vorm van de energie zoals deze voorkomt in de natuur, zoals bijvoorbeeld zon, wind, en water), de techniek om deze primaire energiebron om te zetten naar warmte (zoals bijvoorbeeld zonnecollectoren) en de resulterende energiedrager van de warmte zoals die aan het lokale energiesysteem of de woning geleverd wordt (zoals warm water of een brandstof).

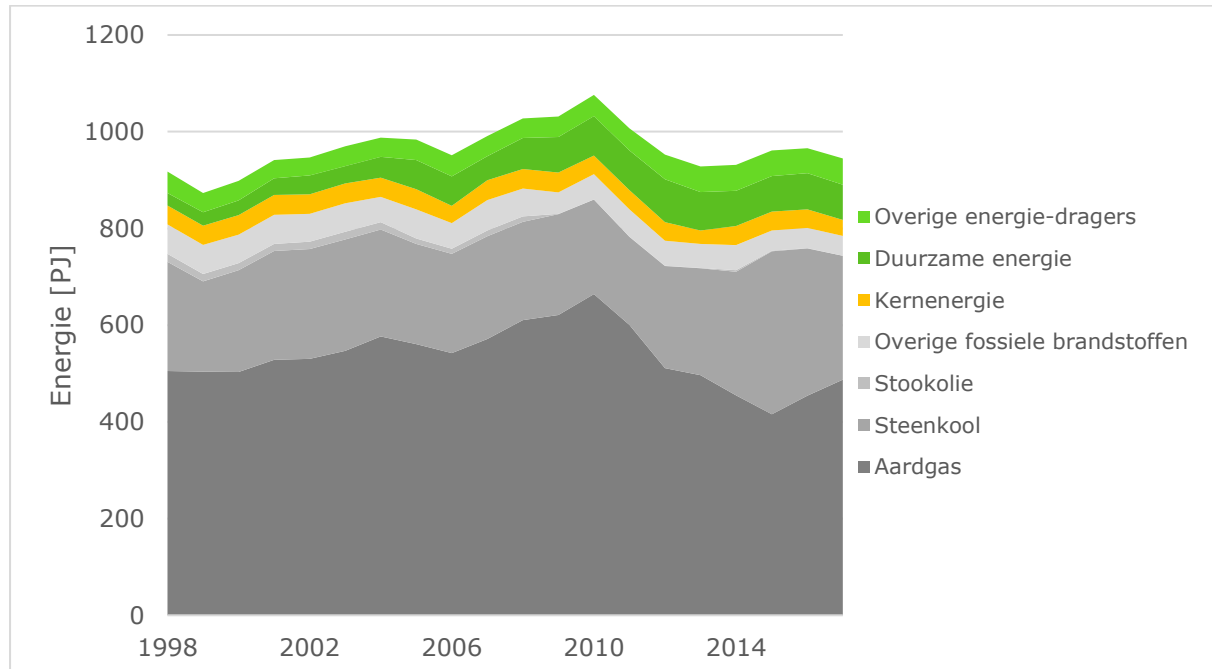
Tabel 12: Bronnen, technieken en dragers voor warmte.

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 uit 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). In de Van der Pekbuurt is het aantal zonnepanelen dat ter plaatse aan de straatkant kan worden geïnstalleerd beperkt omdat de gehele buurt een beschermd Stadsgezicht is. Daarnaast zijn veel dakkapellen aangebracht die het voor zonnepanelen beschikbare dakoppervlak verkleinen. Lokaal kunnen soms kleine windturbines worden

geïnstalleerd. Hiervoor gelden goeddeels dezelfde beperkingen als voor zonnepanelen. Daarnaast is de kosteneffectiviteit van kleine windturbines laag.

De elektriciteit die niet lokaal kan worden opgewekt, komt van het landelijke elektriciteitsnet en is gemaakt uit een mix van bronnen zoals weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Inzet energiedragers voor elektriciteitsproductie in voor de jaren 1998-2017. [4]

Verreweg de meeste Nederlandse elektriciteit 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 en het aanbod van hernieuwbare energie lopen niet synchroon. Het aanbod van zonne-energie is in de zomer groot maar klein 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 13.

Tabel 13: 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 14. 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 om warmtescenario's op te stellen.

Tabel 14: Bronnen, dragers, opslag en technieken met en zonder perspectief in de buurt.

Omschrijving	Beschikbaarheid	Geschiktheid	Techniek	Kosten	Ruimte
Geothermie	Prototype		Onzeker	Onzeker	Onzeker
Zonnecollectoren	71.726 GJ/jaar				Dakoppervlak
Dry coolers		Geluid			
Lucht Warmtepomp		Geluid			Groot
Airco's		Geluid			
TEO	185.262 GJ/jaar				
TEA	Onvoldoende				
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	251.984 GJ/jaar				
Gesloten WKO	134.583 GJ/jaar				Onzeker
Ecovat				Onbekend	Groot
HoCoSto					Groot
Buffervat 200 l					
Warmtebatterij			Niet gereed	Onbekend	
PCM's				Onbekend	Onbekend

5. Warmtescenario's

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

5.1 Beschikbare bronnen en temperaturen

Uitgangspunten zijn de ruime beschikbaarheid van thermische energie uit stromend oppervlaktewater van het IJ en het Noord Hollands kanaal 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) kan 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.



Figuur 7: Geschikt gebied voor thermie uit oppervlaktewater voor de Van der Pekbuurt.

5.2 Wijk warmte scenario's

Alle woningen zijn na renovatie voorzien van een lage temperatuur afgiftesysteem (vloerverwarming). Dit betekent dat de ruimteverwarming geleverd kan worden met een watertemperatuur lager dan 40 °C. Warm tapwater moet geleverd worden met een temperatuur van minimaal 58 °C om de legionellabacterie geen kans te geven.

Voor de wijk is gekeken naar aansluiting op het stadswarmtenet van Westpoort Warmte en een individuele oplossing met all-electric lucht-water warmtepompen. Daarnaast zijn verschillende scenario's op basis van TEO (thermische energie uit oppervlaktewater) onderzocht.

Een (wijk)warmtenet op basis van TEO 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. Het warmteafgiftesysteem (40 °C) in de woning en de benodigde temperatuur voor legionella preventie (58 °C) bepalen of de temperatuur van het aangeleverde warme water hoog genoeg is om direct toe te passen voor ruimteverwarming en/of tapwater of dat het water een temperatuur boost nodig heeft (indirect).

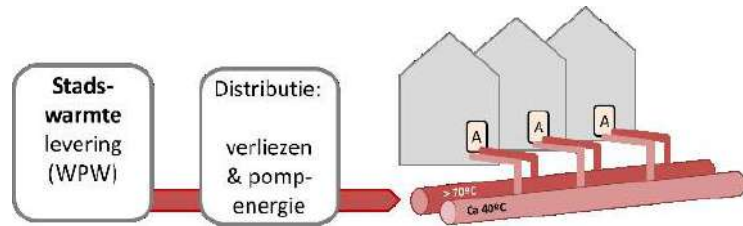
Dit leidt tot scenario's zoals weergegeven in Tabel 15. In Figuur 8 zijn de scenario's met bijbehorende onderdelen getekend. In Tabel 16 staat samengevat welke installaties per scenario in de woning vereist zijn en in Tabel 17 staat de in de berekeningen gehanteerde efficiëntie van de installaties.

Een aantal varianten op de gekozen warmtescenario's zijn overwogen, maar uiteindelijk afgefallen. In Bijlage A zijn alle overwogen scenario's weergegeven en toegelicht. De gekozen opties staan in tabel 15.

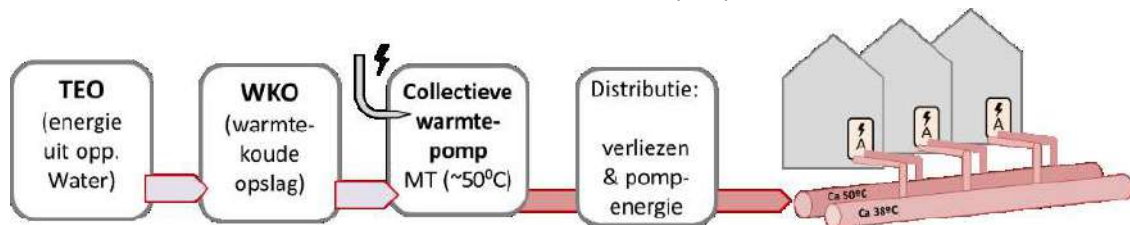
Tabel 15: Overzicht van de scenario's

Scenario	Omschrijving
A. Warmtenet - 70 °C	Warmte wordt door Westpoort Warmte naar de woningen getransporteerd en geleverd op 70°C. Deze temperatuur is hoog genoeg om direct ruimteverwarming én tapwater mee te produceren in de woning. Voor koeling is een airco nodig.
D. Warmtenet - 50 °C	Op wijkniveau wordt warmte van 50°C aan een wijk warmtenet geleverd. 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.
E. Warmtenet - 40 °C	Op wijkniveau wordt warmte aan een wijk warmtenet geleverd van 40°C in de winter en van 20°C in de zomer. Deze warmte wordt geproduceerd met grote collectieve warmtepompen, die als bron TEO gebruiken in combinatie met een WKO. De aan de woningen geleverde temperatuur van 40°C kan direct voor ruimteverwarming worden gebruikt. Voor tapwater is een booster warmtepomp nodig (elektrisch na-verwarmen zou tot een te hoog elektriciteitsgebruik leiden). Door de variërende aanvoertemperatuur in het net (40°C in de winter en 20°C in de zomer) kan koeling in de zomer vanuit de koele leiding van het net worden geleverd.
H. Warmtenet - 15 °C	Op wijkniveau wordt warmte aan een wijk warmtenet geleverd van ca 15°C. Dit is de temperatuur die direct vanuit de WKO en TEO geleverd kan worden; er is dus geen collectieve warmtepomp nodig. Met de aan de woningen geleverde temperatuur van 15°C kan met behulp van een combi-warmtepomp in de woning zowel ruimteverwarming als tapwater geproduceerd worden. 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.
J. 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. Met dezelfde warmtepomp kan in principe ook koeling worden geleverd, waarbij de warmte aan de buitenlucht wordt afgegeven.

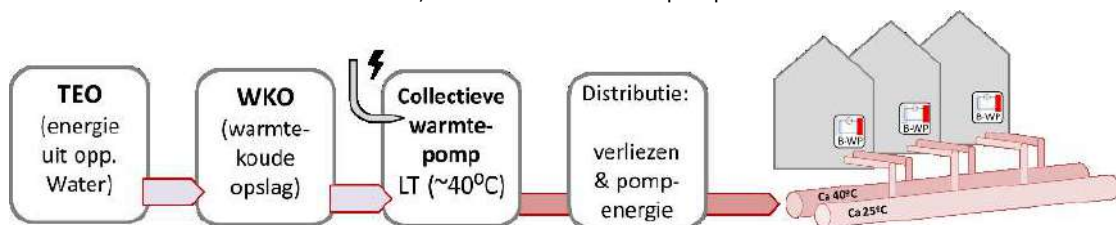
Scenario A: Hoog temperatuur stadswarmtenet (>70 °C) geleverd door Westpoort Warmte.



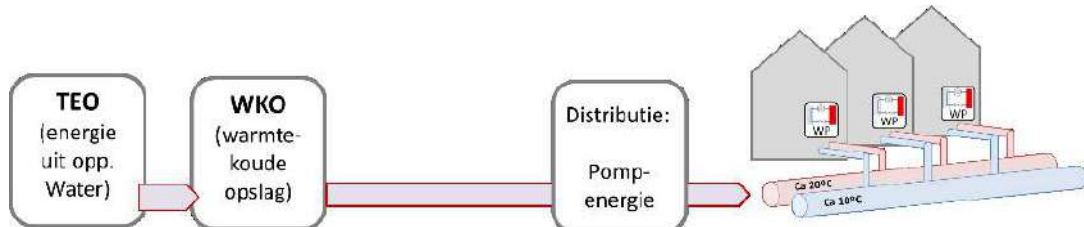
Scenario D: Warmtenet van 50°C met TEO, WKO en buurtwarmtepompen.



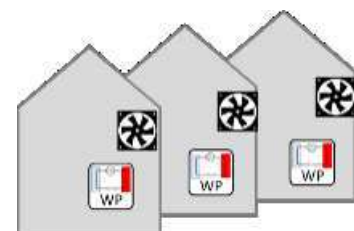
Scenario E: Warmtenet van 40°C met. TEO, WKO en buurtwarmtepompen.



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



Scenario J: Individuele optie met lucht/water warmtepomp



 Buitenunit Lucht/water warmtepomp

 Afleverset HT

 Afleverset MT met tapwater naverwarmer

 Booster Warmtepomp voor tapwater

 Warmtepomp voor ruimteverwarming & tapwater

Figuur 8: Overzicht van de gekozen warmtescenario's.

Tabel 16: Overzicht van de scenario's en de gebruikte technieken.

Scenario	Ventilatie	Ruimteverwarming	Tapwater	Koeling
A. Warmtenet - 70 °C	C	Afleverzet	Afleverzet	Airco
D. Warmtenet - 50 °C	C	Afleverzet	Afleverzet met elektrische boiler	Airco
E. Warmtenet - 40 °C	C	Afleverzet	Afleverzet met booster	Afleverzet
H. Warmtenet - 15 °C	C	Afleverzet met warmtepomp	Afleverzet met booster	Afleverzet
J. All-electric	C	Lucht/water warmtepomp	Lucht/water warmtepomp	Lucht/water warmtepomp

Tabel 17: Overzicht van de coëfficiënt of performance (COP) voor het opwaarderen van ruimteverwarming, tapwater en koeling per scenario. Soms hoeft er geen opwaardering plaats te vinden en kan de warmte of koude direct gebruikt worden.

Scenario	Ruimteverwarming	Tapwater	Koeling
A. Warmtenet - 70 °C	Directe levering	Directe levering	3
D. Warmtenet - 50 °C	Directe levering	1	3
E. Warmtenet - 40 °C	Directe levering	5,5	Directe levering
H. Warmtenet - 15 °C	6	4	Directe levering
J. All-electric	4,0	1,9	3

De overige energieprestaties op wijkniveau zijn te vinden in Bijlage C.

5.3 Kosten

In Tabel 18 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. In dit overzicht zijn de kosten opgegeven door diverse leveranciers aangehouden.

Tabel 18: 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
Warmteafgifte	Vloerverwarming	€ 2.500,00	https://www.vloerenverwarming.nl/vloerverwarming-prijzen/
Warmtapwater	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
Ventilatiesysteem	CO ₂ -gestuurde ventilatie (type C)	€ 3.000,00	https://www.ventilatiesysteemabcd.nl/prijs-ventilatiesysteem
Kookinstallatie	Inductiekookplaat	€ 1.025,00	Samsung NZ64K5747BK (coolblue.nl) € 485 + aansluitkosten € 540 (werkspot)

6. Energie en CO₂ uitstoot

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.

6.1 Energiegebruik per gebouwtype

De inputgegevens voor de energieberekening zijn gepresenteerd in Bijlage A. Het gebruik van aardgas, elektriciteit en warmte voor een duplex tussengebouw met 2 woningen is voor de verschillende scenario's weergegeven in Tabel 19. Voor de overige 4 referentiegebouwen is de toekomstige energievraag ook bepaald en ingevoerd 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 berekende aardgasverbruik. Het elektriciteitsgebruik is in alle warmtescenario's hoger dan het elektriciteitsgebruik in de bestaande situatie. Dit is vanwege het toepassen van mechanische ventilatie (afzuiging), elektrisch koken en koeling.

Tabel 19: Finale energievraag (op de meter) van een duplex tussengebouw (let op: het gaat hier om het totaal van 2 wooneenheden) in de verschillende warmtescenario's.

Scenario Duplex gebouw (2 tussenwoningen)	Aardgas [m ³ /jaar]	Elektriciteit [kWh/jaar]	Warmte [GJ/jaar]
Bestaande situatie (open data)	2.316	3.500	
Bestaande situatie (berekend)	2.265	3.544	
A. Warmtenet - 70 °C		4.263	18,3
D. Warmtenet - 50 °C		5.183	16,8
E. Warmtenet - 40 °C		4.889	18,2
H. Warmtenet - 15 °C		6.925	15,7
J. All-electric		7.887	

Bovenstaande berekening is voor elk van de vijf woningtypen uitgevoerd. De resultaten zijn te vinden in het TCO model.

6.2 Totale energiegebruik gebouwen

De totale warmte- en elektriciteitsvraag van de 2.229 geselecteerde woningen in de wijk zijn bepaald. In Tabel 20 is de totale netto warmtevraag in GJ/jaar weergegeven per scenario en per woningtype. Dit is de hoeveelheid warmte die door een warmtenet geleverd moet worden. Scenario J. maakt gebruik van een individuele lucht/water warmtepomp en heeft geen aansluiting op een warmtenet nodig.

Tabel 20: Totale vraag van de woningen naar warmte uit een warmtenet in GJ/jaar, uitgesplitst naar woningtype en warmtescenario.

	Aantal	A.	D.	E.	H.	J.
Duplex tussenwoning	994	18.190	16.665	18.096	15.652	
Duplex hoekwoning	331	6.719	6.212	6.688	5.764	
Tussenwoning	162	3.143	2.894	3.127	2.699	
Hoekwoning	124	2.877	2.687	2.865	2.459	
Appartement	618	17.061	16.108	16.999	14.523	
Totaal	2.229	47.990	44.566	47.775	41.097	n.v.t.
Gemiddeld/woning		21,5	20,0	21,4	18,4	

De totale elektriciteitsvraag ten behoeve van de levering van warmte en koude is weergegeven in Tabel 21. Het elektriciteitsgebruik voor huishoudelijke apparatuur, verlichting en ventilatie is buiten beschouwing gelaten omdat ze geen deel uitmaken van de warmteketen. Dit elektriciteitsgebruik is ook gelijk in alle scenario's. In scenario A (stadwarmte) wordt louter elektriciteit gebruikt voor ruimtekoeling.

Tabel 21: Totale elektriciteitsvraag in kWh/jaar van de woningen ten behoeve van het leveren van de warmtevraag die het warmtenet moet leveren, uitgesplitst naar woningtype en warmtescenario.

	Aantal	A.	D.	E.	H.	J.
Duplex tussenwoning	994	62.125	663.062	535.659	1.227.076	2.068.654
Duplex hoekwoning	331	20.688	223.863	182.460	443.640	734.830
Tussenwoning	162	10.125	108.890	88.401	209.415	349.520
Hoekwoning	124	7.750	85.529	70.573	185.224	300.256
Appartement	618	38.625	440.382	369.630	1.067.735	1.687.270
Totaal	2.229	139.313	1.521.726	1.246.723	3.133.090	5.140.530
Gemiddeld per woning		63	683	559	1.406	2.306

6.3 Totale energievraag warmtescenario

Warmtenetten, of ze nu een hoge of lage temperatuur hebben, verliezen warmte omdat de (warme) pijpen in de grond 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 en het verhogen van de temperatuur (scenario D. en E.) met behulp van een warmtepomp.

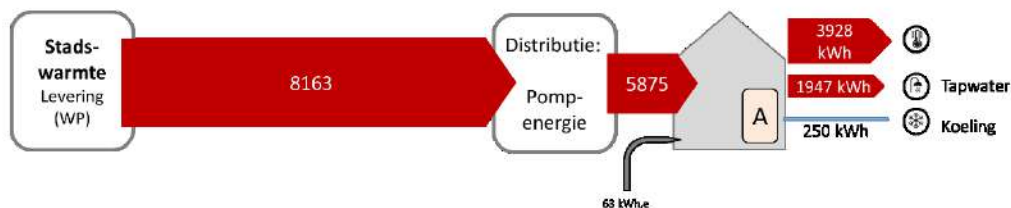
Tabel 22 geeft de totale benodigde warmte uit de bron en de totale elektriciteitsvraag weer voor de Van der Pekbuurt voor de verschillende warmtescenario's. De energiestromen zijn visueel weergegeven in Figuur 9.

Tabel 22: Benodigde energie per warmtescenario op wijkniveau, inclusief leidingverliezen.

Scenario	Elektriciteit Woningen [MWh/jaar]	Elektriciteit Wijksysteem [MWh/jaar]	Elektriciteit Totaal [MWh[/jaar]	Hoeveelheid warmte [GJ/jaar]
A. Warmtenet - 70 °C	139	0	139	61.427
D. Warmtenet - 50 °C	1.475	3.965	5.440	39.442
E. Warmtenet - 40 °C	1.247	2.740	3.987	43.156
H. Warmtenet - 15 °C	3.133	326	3.459	41.097
J. All-electric	5.141	0	5.141	0

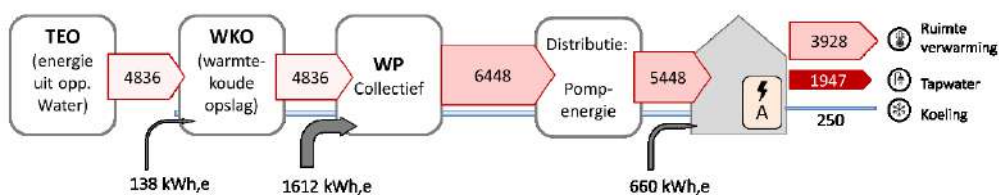
Scenario A 70°C WN

Energiestromen in kWh/jaar voor een gemiddelde woning



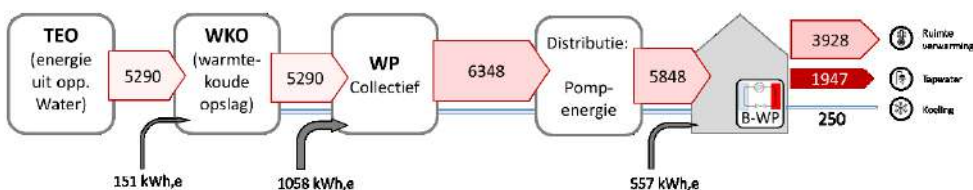
Scenario D | 50°C WN met e-element

Energiestromen in kWh/jaar voor een gemiddelde woning



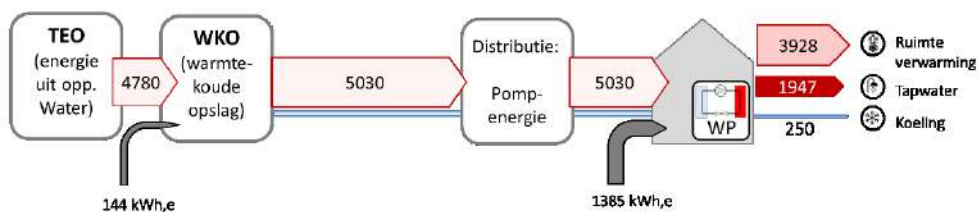
Scenario E | 40°C WN C Tapwater booster WP

Energiestromen in kWh/jaar voor een gemiddelde woning



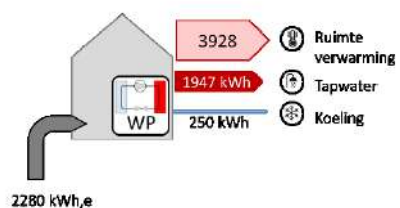
Scenario H 15°C WN C WP Tapw

Energiestromen in kWh/jaar voor een gemiddelde woning



Scenario J Individueel L/W warmtepomp

Energiestromen in kWh/jaar voor een gemiddelde woning



Figuur 9: Visueel overzicht van energiestromen per scenario.

6.4 CO₂ emissies

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

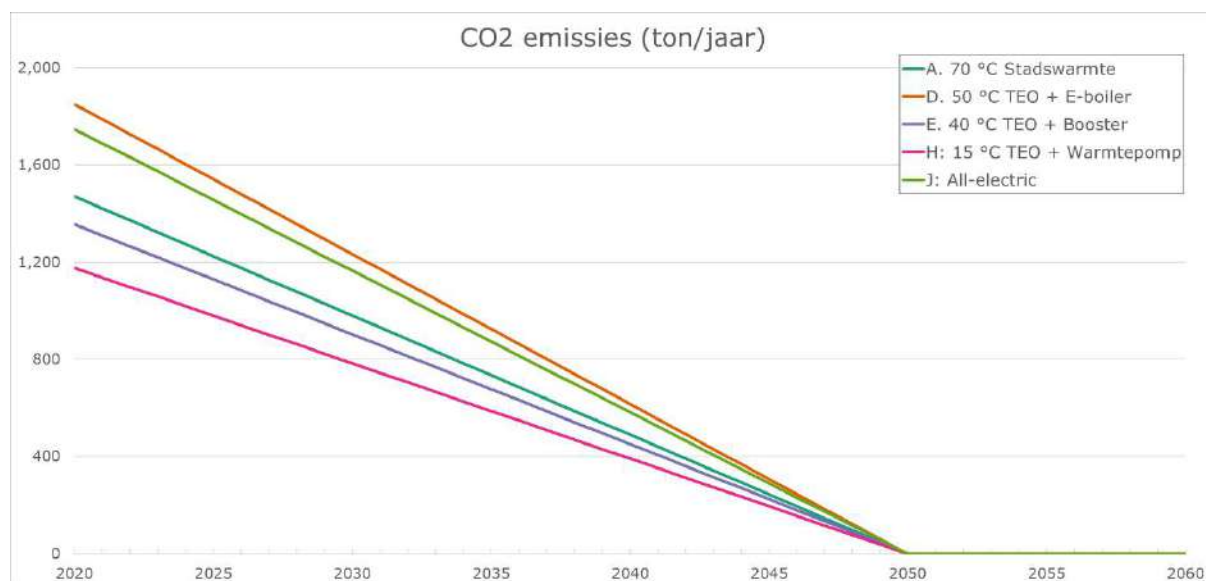
In alle andere scenario's draagt alleen het elektriciteitsgebruik, zowel op woning- als wijkniveau, bij aan de CO₂ uitstoot. De warmte is vrij van emissies omdat deze duurzaam gewonnen wordt uit oppervlaktewater. Tabel 23 geeft de totale CO₂ uitstoot weer voor het jaar 2020.

Tabel 23: Totale CO₂ uitstoot op wijkniveau per scenario (som van wijk en woning) voor het jaar 2020.

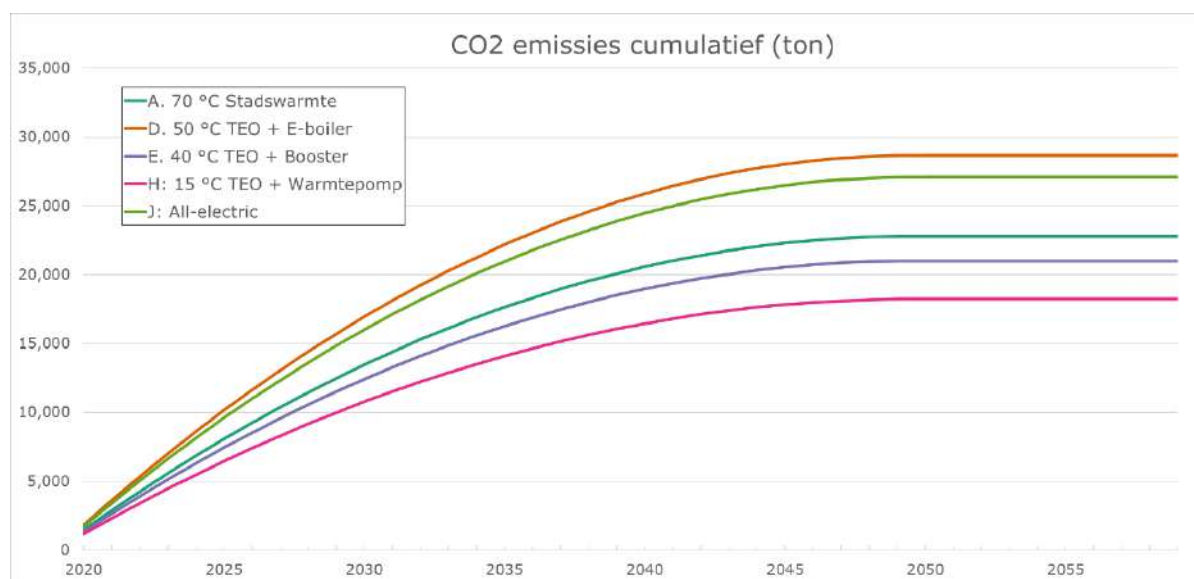
Scenario	Elektriciteit [ton CO ₂ /jaar]	Warmte [ton CO ₂ / jaar]	Totaal [ton CO ₂ / jaar]
A. Warmtenet - 70 °C	47	1.257	1.304
D. Warmtenet - 50 °C	1.849	-	1.849
E. Warmtenet - 40 °C	1.356	-	1.356
H. Warmtenet - 15 °C	1.176	-	1.176
J. All-electric	1.748	-	1.748

Scenario H. heeft de laagste CO₂ uitstoot, gevolgd door scenario A. De huidige CO₂ uitstoot van de wijk veroorzaakt door de aardgasgestookte cv-ketels ligt op ruim 5.000 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 zijn zowel stadswarmte als elektriciteit vrij van CO₂. De jaarlijkse CO₂-uitstoot op wijkniveau tussen 2020 en 2060 is weergegeven in Figuur 10 en de cumulatieve CO₂-uitstoot in Figuur 11.



Figuur 10: Jaarlijkse CO₂-emissies van 2020 tot 2060.



Figuur 11: Cumulatieve CO₂-emissies van 2020 tot 2060.

De jaarlijkse en de cumulatieve CO₂ uitstoot van scenario D en J zijn significant hoger dan de uitstoot van de scenario's A, E en H. Deze laatste drie scenario's liggen dicht bij elkaar, waarbij scenario H 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 Van der Pek hier zelf aan bijdragen. In Tabel 24 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 24: Elektriciteitsbehoefte per warmtescenario.

Scenario	Benodigde input	Benodigde opwek (buiten de wijk)
A. Warmtenet - 70 °C	n.v.t.	Westpoort Warmte levert de benodigde energie
D. Warmtenet - 50 °C	5.440 MWh elektriciteit	- Of 21.766 zonnepanelen - Of 0,82 windturbines van 3 MW
E. Warmtenet - 40 °C	3.987 MWh elektriciteit	- Of 15.948 zonnepanelen - Of 0,60 windturbines van 3 MW
H. Warmtenet - 15 °C	3.459 MWh elektriciteit	- Of 13.836 zonnepanelen - Of 0,52 windturbines van 3 MW
J. All-electric	5.141 MWh elektriciteit	- Of 20.564 zonnepanelen - Of 0,78 windturbines van 3 MW

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 toont de hoofdlijnen van de uitkomsten van het model.

7.1 TCO-model

De (meer)kosten voor elk warmtescenario zijn 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 is buiten beschouwing gelaten.

De meerkosten voor de lokale warmteketens (TEO en WKO) betreffen de investeringen en beheerkosten voor de TEO- 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 de scenario's 40 °C en 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 aan het warmtetransportnetwerk van Vattenfall.

De totale meerkosten voor 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 kosten-baten 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 verspreid over 10 jaar worden gedaan (volloop), doordat er jaarlijks (ongeveer) 220 woningen op het warmtescenario over gaan.

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 zijn 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 hoe de netto contante waarde per jaar wordt bepaald. De gemaakte investering is met een lening gefinancierd, waarvoor jaarlijks een aflossing en rentebedrag verschuldigd zijn. In jaar 1 zijn slechts een deel van alle investeringen uitgevoerd. De totale netto contante waarde komt uit op € 14.970. Stel dat het hier 10 woningen betreft, dan is de netto contante waarde per woning per jaar ($\text{€ } 14.970 / 10 \text{ woningen} / 5 \text{ jaar}$) = € 299.

	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4	Jaar 5	NCW
Aflossing & rente	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
Operationele kosten	500	1.050	1.100	1.150	1.200	
Energiekosten	300	400	500	600	700	
Totaal	1.800	3.450	3.600	3.750	3.900	
NCW	1.740	3.250	3.290	3.330	3.360	14.970

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 energiebron (TEO) bepaald, samen met de bijbehorende operationele- en energiekosten.

De scenario's D, E en H hebben een lokaal warmtenet, waarbij bron, distributie en aflevering binnen de systeemgrenzen van het TCO model valt. Voor scenario J geldt dat hier geen wijkaanpak plaats vindt en dat alle investeringen ook binnen de systeemgrens vallen.

Scenario A 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 A zo realistisch mogelijk te kunnen vergelijken met de scenario's D, E en H is ervoor gekozen om te pretenderen 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 de inkoop van elektriciteit in de scenario's D, E en H ten behoeve van de pomp voor TEO en de warmtepompen in de onderstations.

Vattenfall heeft, in overleg met de gemeente Amsterdam de prijzen bepaald voor een wijkaansluiting. De prijzen zijn door EnergyGO geverifieerd en als realistisch geacht. Het betreft een eenmalige aansluitbijdrage van 2,4 miljoen euro, een jaarlijks vastrecht van 187.000 euro en een prijs voor levering van warmte van 8,72 euro/GJ.

7.3 Totale kosten per scenario

In Figuur 12 is de netto contante waarde per woning per jaar per scenario gepresenteerd. Hoe lager het getal, hoe lager de maatschappelijke kosten zijn. Scenario J komt duidelijk het laagst uit de bus, gevolgd door de scenario's A en H. Scenario E is duidelijk de variant met de hoogste NCW.

Belangrijk om hierbij op te merken is dat voor scenario J een verzwaring van het elektriciteitsnet noodzakelijk is. De verzwaring van een all electric woning is € 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 12: 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

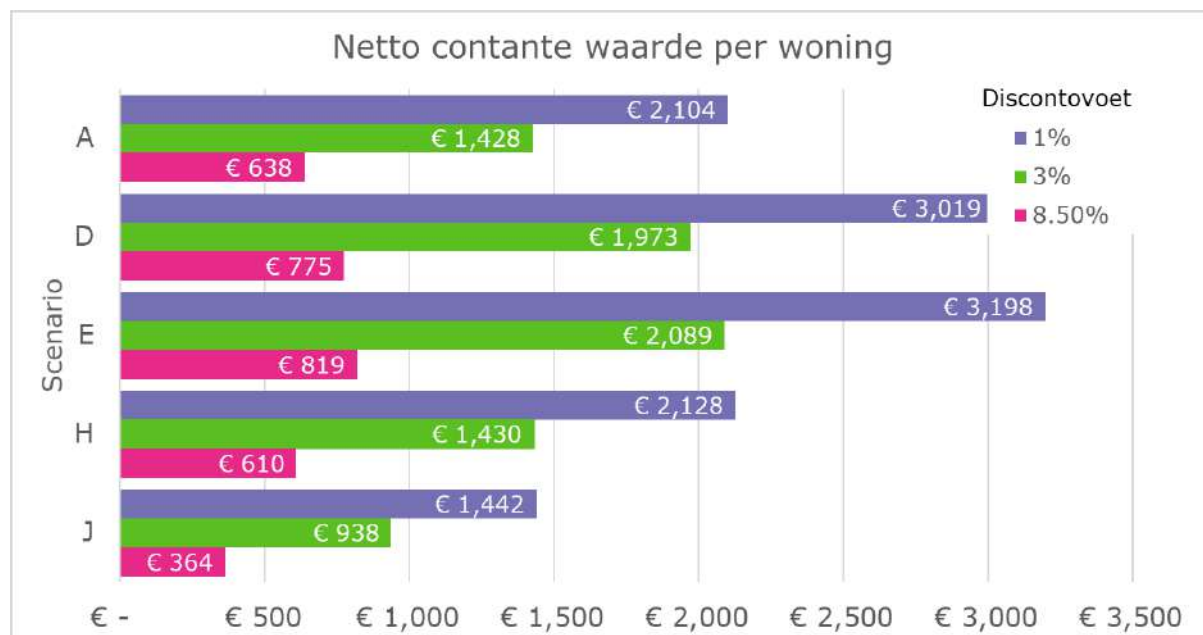
De discontovoet is het jaarpercentage waarmee toekomstige inkomsten en uitgaven worden teruggerekend naar de waarde van vandaag. € 1.000 vandaag is immers meer waard dan € 1.000 euro over tien jaar.

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 voor 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 [33].

In Figuur 13 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.

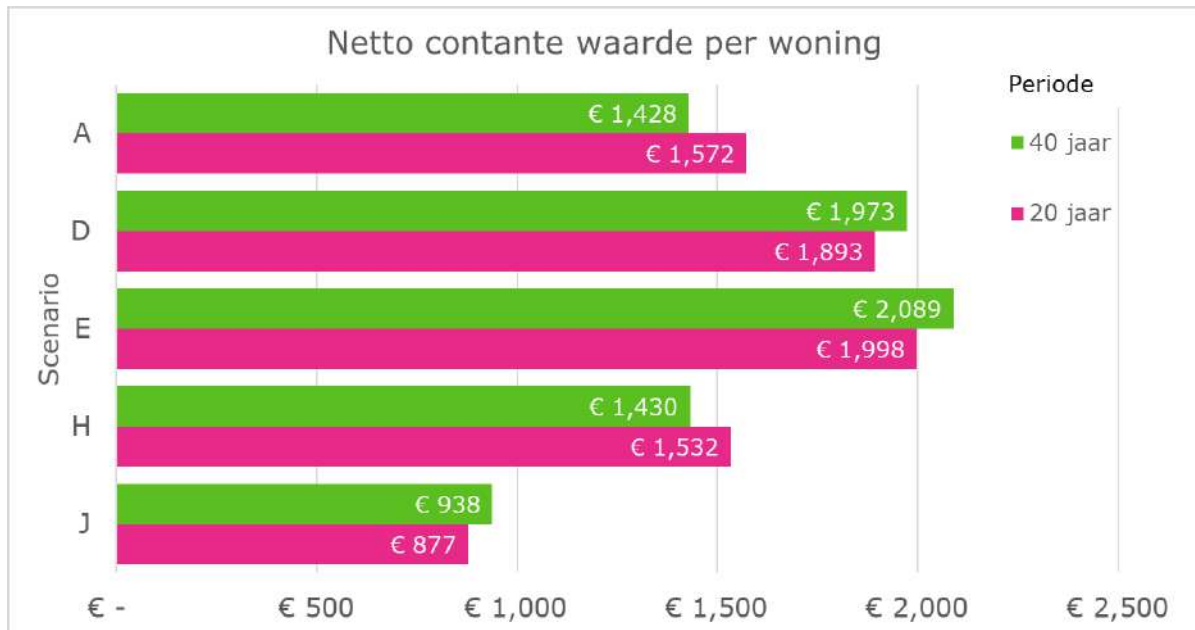
Hoewel de netto contante waarde in absolute zin verandert met de disconteringsvoet, zijn de netto contante waarden per scenario relatief gelijk gebleven.



Figuur 13: Netto contante waarde voor verschillende percentages van de discontovoet.

7.4.2 Evaluatieperiode

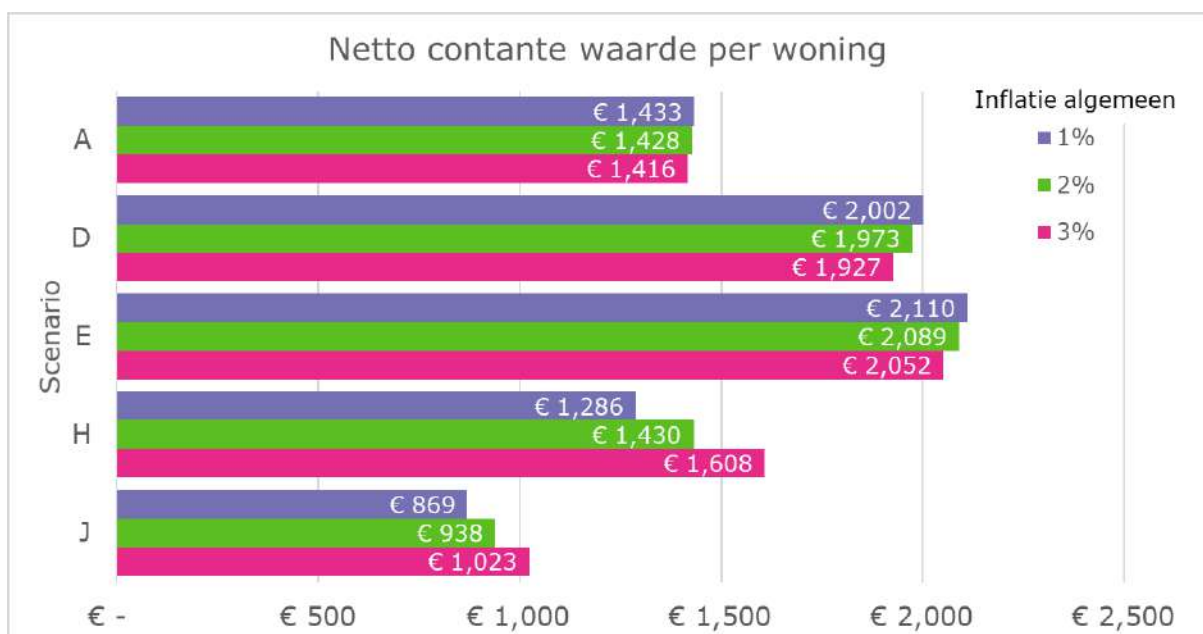
In het onderzoek is uitgegaan van een periode van 40 jaar. Hiervoor is gekozen omdat het in de praktijk ook zal gaan om grote investeringen met een lange technische en economische afschrijvingsduur. Om een zo reëel mogelijk beeld te krijgen van de kosten is het daarom betrouwbaarder om van een langere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



Figuur 14: Netto contante waarde voor een periode van 20 jaar en 40 jaar.

7.4.3 Inflatie

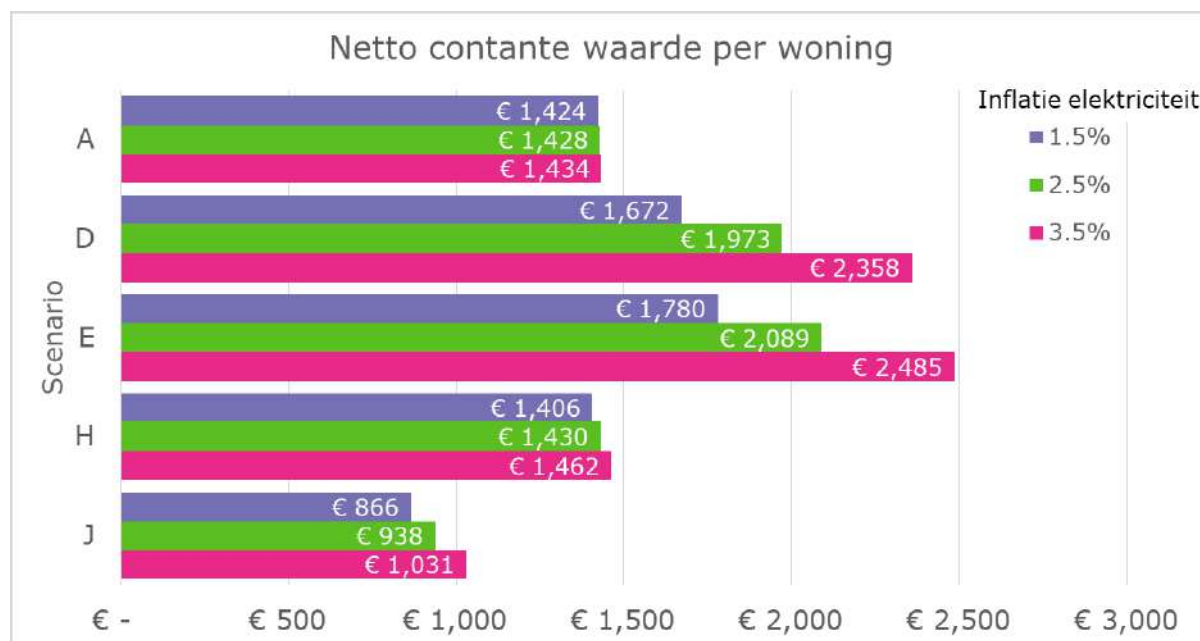
In het onderzoek is uitgegaan van een algemeen inflatiepercentage van 2%. In Figuur 15 is de gevoeligheid van de netto contante waarde voor het inflatiepercentage weergegeven.



Figuur 15: 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 16. Scenario's met een hoog elektriciteitsgebruik (D, E) zijn hier vanzelfsprekend veel gevoeliger dan scenario's met een laag elektriciteitsgebruik.

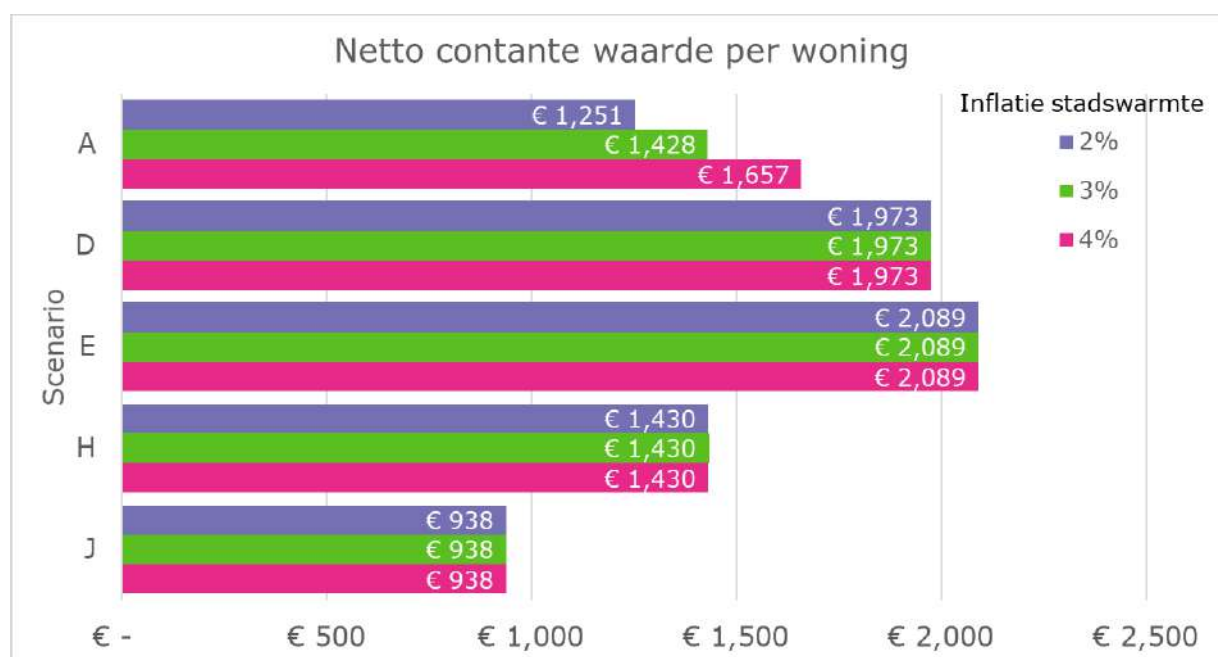


Figuur 16: Netto contante waarde voor verschillende percentages van het inflatiecijfer voor de elektriciteitsprijs.

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 17.

Het ligt voor de hand dat alleen scenario A, het 70 °C stadswarmtenet, gevoelig is voor het inflatiepercentage warmte. In dit scenario immers wordt 100% van de warmte nog altijd van buiten de wijk ingekocht. Er zijn geen andere kosten van invloed op de netto contante waarde van dit scenario.



Figuur 17: Netto contante waarde voor verschillende percentages van het inflatiecijfer voor stadswarmte.

8. Eigendom en governance

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke eigendom 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 Eigendom

De eigendom van (onderdelen van) een warmtenet heeft 2 aspecten:

- Juridische eigendom: zeggenschap
- Economische eigendom: op geld waardeerbare rechten en plichten, financiering.

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 25 is weergegeven.

Tabel 25: Eigendom warmtenet per onderdeel

	Onderdeel	Eigendom
1	Bron	Producent
2	Distributienetwerk	Netbeheerder
3	Afleverset	Leverancier
4	Voorzieningen in huis	Gebouweigenaar, verhuurder
5	WKO	Beheerder/producent

- 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 gebruiker is een persoon die warmte afneemt van een warmtenet en een aansluiting heeft van maximaal 100 kilowatt.

Let wel, er kan, in de praktijk, meer dan één producent of beheerder (van onderdelen van het net) zijn. In Tabel 26 zijn de onderdelen van het warmtenet en hun mogelijke eigenaren gepresenteerd.

Tabel 26: Mogelijke eigendomsvormen voor onderdelen warmtenet

	Huurder	Gebouw-eigenaar	Eigenaar-bewoner	Woning corporatie	Coöperatie/ Derde partij
Bron(nen)	Indirect	Ja	Indirect	Nee	Ja
Distributie	Indirect	Ja	Indirect	Nee	Ja
Levering	Indirect	Ja	Indirect	Nee	Ja
Inpandige installatie	Indirect	Ja	Ja	Ja	Ja

Met indirecte eigendom wordt bedoeld eigendom door deelname in een coöperatie die eigenaar is. Voor woningcorporaties in de hoedanigheid van gebouweigenaar geldt dat zij zich aan wettelijke beperkingen van hun taak moeten houden. Bezit van (sommige delen van) een warmtenet zal daarmee vaak in strijd worden geacht. De toepasselijkheid van de Warmtewet geldt niet voor iedere soort eigenaar. De partij, die het net in eigendom heeft is niet gehouden aan diverse bepalingen in de Warmtewet, indien zij een Vereniging van Eigenaren is. Met een VVE wordt een coöperatie gelijkgesteld. De reden daarvoor is dat de gebruikers indirect zelf eigenaar zijn en, simpel gezegd, geacht worden goed voor hun eigen belangen te zorgen. Dit is een voordeel van de coöperatieve eigendom van een warmtenet. Daar staat tegenover dat de gebruikers een goede storingsdienst gewenst wordt, een begrijpelijke jaarlijkse afrekening en een professionele backoffice. Allemaal zaken die in de Warmtewet geëist worden van de eigenaar van het net.

Er zijn in Nederland nog vrijwel geen werkende warmte coöperaties. De mogelijkheid wordt wel op vele plaatsen onderzocht door gedreven en vaak behoorlijk deskundige bewoners. Die hebben dan meestal twee doelen: zeggenschap over het net en economisch voordeel.

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. Tegelijk moet deze wel zo zijn dat de kosten van het net binnen een redelijke termijn worden terugverdiend. De coöperatieve eigenaren hebben natuurlijk wel 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 moeilijk in het algemeen te zeggen. In een net dat door een commerciële eigenaar of een nutsbedrijf in bezit is en beheerd wordt, wordt natuurlijk ook werk verricht voor het geld dat aan de eindgebruiker wordt berekend. De coöperatie zal dat werk zelf moeten doen of uitbesteden. Het laatste zal vaak het geval zijn omdat de kennis en kunde zullen 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.

De kosten van aanleg en onderhoud van een warmtenet zijn groot, aanzienlijk groter dan die van de investering in een coöperatieve windmolen of een zonnepark. 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 doorgaans onvoldoende vermogen hebben om dit zelf te financieren. Dat betekent dat een beroep moet worden gedaan op banken, beleggers, subsidies of crowdfunding. Op dit moment zijn deze bronnen van financiering nog niet praktisch ontwikkeld 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. Dat moet bijdragen aan de financierbaarheid van warmtenetten. Het zal nog zeker een jaar duren voor hier meer perspectief op financiering ontstaat.

Het plan om een warmtenet in de Van der Pekbuurt in een coöperatieve vorm op te zetten moet rekening houden met de volgende investeringskosten, afhankelijk van het type net.

Tabel 27: Totale kapitaalsinvestering per functie per scenario in miljoen €.

Partner	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Warmte producent	n.v.t.	81	81	18	n.v.t.
Warmtenetbeheerder	n.v.t.	37	37	37	n.v.t.
Warmteleverancier	n.v.t.	6	6	6	n.v.t.
Woning eigenaar	41	51	68	75	80
Totaal	n.v.t.	175	192	136	80

Een alternatief voor coöperatief bezit van het gehele net, is de eigendom van een deel ervan. De eigendom van de TEO ligt niet voor de hand, net zomin als de installaties in de woningen. Gedacht kan wel worden aan de WKO-installaties. De kosten per WKO zijn geraamd op € 925.000, er zijn er 8 nodig.

Ook een optie is de rol van leverancier coöperatief te organiseren. De leverancier neemt een strategische positie in. Hij gaat, binnen het wettelijke kader, over de beprijzing. Ook heeft de leverancier een belangrijke stem in de keuze van producent(en) en distributeur. Dit vergt een relatief (in vergelijking met de totale kosten van het gehele systeem) bescheiden kapitaalsinvestering in afleversets in de woningen van bijna € 2,9 miljoen. Daarnaast zal op grond van de Warmtewet een vergunning nodig zijn gelet op de schaal van de warmtelevering. Het zelfstandig vervullen van de rol van leverancier vooronderstelt verder dat de andere functies in het netwerk zoals die van producent en distributeur, worden vervuld door een of meer partijen die bereid zijn de functie van leverancier aan een derde, de coöperatie in dit geval, over te laten. Tot nu toe is er in Nederland geen voorbeeld van een dergelijke rolverdeling.

Voor een coöperatieve vereniging die een enkel warmtenet in eigendom heeft en beheert en onderhoudt, zijn de risico's al snel hoger dan voor een partij die er meerdere bezit. 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.

8.2 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 inpandige 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. Voor de woningcorporaties geldt dat zij hierin wettelijk beperkt zijn.
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.

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 klankbordgroep, de gemeente en de woningbouwcorporaties om tot een uiteindelijke keuze te komen van het definitieve warmtescenario.

9.1 Economische prestaties

In de vorige hoofdstukken zijn de boven- en ondergrondse economische aspecten van de warmtescenario's bepaald. In Tabel 28 zijn de economische prestatie per warmtescenario en per stakeholder weer gegeven. De economische prestatie scores zijn weergegeven van de beste (groen - 1) tot de slechtste (rood - 5). De maatschappelijke kosten voor het elektriciteitsnetwerk zijn het hoogst in scenario J. 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 grijze gietijzeren leidingen worden vervangen of het gasnet verwijderd wordt.

Tabel 28: Economische prestatie scores per scenario per stakeholder

Eigenaar		A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Netto Contante Waarde per woning		€ 1.428	€ 1.973	€ 2.089	€ 1.430	€ 938
Huurder	Energierkening	2	4	5	3	1
Particulier	Energierkening Investering	2	4	5	3	1
Corporatie	Investering	2	4	5	3	1
Warmteketen	Investering	2	4	5	3	1
Elektriciteitsnet	Maatschappelijke kosten	1	3	3	3	5

Uit de tabel hierboven is kort samengevat gebleken welk scenario het goedkoopst en welk het duurst is voor huurders, woningeigenaren en de eigenaar van het energiesysteem. Er zijn 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

vermogen 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 29: Totale capex per investeerder per scenario in miljoen €.

Partner	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Warmte producent	n.v.t.	81	81	18	0
Warmtenetbeheerder	n.v.t.	37	37	37	0
Warmteleverancier	n.v.t.	6	6	6	0
Woning eigenaar	41	51	68	75	80
Totaal	n.v.t.	175	192	136	80

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 30.

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. Scenario's D, E, H en J zijn makkelijk vergelijkbaar, omdat ze alleen elektriciteit input nodig hebben. De benodigde elektriciteitsinput voor scenario A is onbekend.

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 30: duurzaamheidsprestatie per warmtescenario

	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Energiebesparing woning	2	2	2	2	2
Benodigde elektriciteitsinput	Onbekend	5.442 MWh	3.887 MWh	3.459 MWh	5.141 MWh
Vermindering CO ₂ uitstoot	2	5	3	1	4

9.3 Bijkomende aspecten

De prestatie van de bijkomende aspecten is in Tabel 31 gepresenteerd. De prestatie scores zijn weergegeven van goed (groen 1) tot slecht (rood 5). Onder de tabel is de toelichting per bijkomend aspect beschreven.

Tabel 31 a: prestatiescore koeling, techniek, ruimtebeslag en overlast per warmtescenario

	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Koude levering	Airco	Airco	Warmtenet	Warmtenet	Warmtepomp
Techniek	1	1	1	1	1
Ruimte woning	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	Afleverzet in meterkast	n.v.t.
	N.v.t	n.v.t.	Kleine warmtepomp	Rel. grote warmtepomp	Grote warmtepomp
	Airco vergt ruimte	Airco vergt ruimte	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
		Buffervat	Buffervat	Buffervat	Buffervat
Overlast tijdens bouw	1	1	1	1	1

Toelichting:

Koudelevering: de wijze waarop, met welke installatie, in de koelvraag kan worden voorzien.

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.

Ruimte in de 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 boilervat) die nodig zijn in scenario D, E, H en J met een individuele voorziening per woning. In scenario J kan gekozen worden tussen een buitenunit of een binnen unit. Een binnen unit neemt veel ruimte in beslag in de woning. Een buitenunit neemt buiten ruimte in.

Overlast. De overlast voor bewoners is in alle scenario's gering te noemen omdat de werkzaamheden ten behoeve van een nieuwe warmtevoorziening plaats zullen vinden tijdens hun afwezigheid gelijktijdig met de renovatieperiode. Extra overlast tijdens de bouw is niet waarschijnlijk omdat ook andere werkzaamheden gepland zijn waarvoor de straat open moet.

Tabel 30 b: prestatiescore faseerbaarheid, impact wijk, openheid en welstand per warmtescenario

	A (70)	D (50)	E (40)	H (15)	J (L/W)
Faseerbaarheid	1	2	2	2	1
Impact wijk	WOS in de wijk	TEO installatie onderstations met WKO en WP	TEO installatie onderstations met WKO en WP	TEO installatie onderstations met WKO	Buitenunits in zicht (kan ook binnen)
Openheid	Alleen bij uitzondering	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	n.v.t.
Welstand	Airco's	Airco's Net: afhankelijk van ontwerp	Net: Afhankelijk van ontwerp	Net: Afhankelijk van ontwerp	Buitenunits in zicht

Toelichting:

Faseerbaarheid. Het zal geen verbazing wekken dat de faseerbaarheid van het individuele scenario het grootst is. Dat kan van woning tot woning worden aangesloten. De collectieve scenario's scoren anders. Het 70°C warmtenet heeft in deze het voordeel dat het deels al gerealiseerd is of zal worden in de Gentiaanbuurt. Daardoor kan worden aangesloten op een bestaand net dat niet meer gepland behoeft te worden. De andere drie scenario's vergen planning van een compleet nieuw net. De nadelen daarvan zijn echter beperkt om verschillende redenen: de buurt zal vrijwel in haar geheel gerenoveerd worden dus er is een planbaar vollooprisico. De straten zullen toch open moeten, ook voor scenario A.

Impact wijk. In de wijk vergen de scenario's A, D, E en H graafwerkzaamheden. Afhankelijk van het ontwerp kunnen warmteoverdrachtstations (WOS) of onderstations met warmtepompen boven- of ondergronds worden geïnstalleerd.

Openheid. In theorie kan elk warmtenet open zijn voor andere producenten. Het warmtenet van Vattenfall staat alleen bij uitzondering, op kleine schaal andere warmteproducenten toe dan Vattenfall zelf en AEB. Netten met een hoge temperatuur zijn per definitie minder geschikt voor invoeding uit andere bronnen (met een doorgaans lagere temperatuur).

Welstand. De Van der Pekbuurt en de Gentiaanbuurt zijn een Rijks beschermd stads- en dorpsgezicht. Op grond van de Welstandsnota (2016) betekent dit dat bijzondere en strenge eisen worden gesteld aan o.m. het installeren van zonnepanelen, het type panelen en de plaatsen waarop dit is toegestaan. Kort gezegd wordt dit alleen vergund als de panelen niet vanaf de openbare weg zichtbaar zijn. Daarnaast zijn er andere beperkende voorwaarden. Een poging tot overleg met de Commissie Ruimtelijke Kwaliteit heeft tijdens het onderzoek geen nieuwe inzichten opgeleverd, ook niet over de mogelijkheden in de openbare ruimte bijvoorbeeld met zonnepanelen overdekte parkeer- of marktplaatsen te creëren.

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-energiedragers-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 de Van der Pekbuurt.
- [6] Energieyes, <https://www.energieyes.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). Investeringsubsidie duurzame energie ISDE. Opgehaald van rvo: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/investeringsubsidie-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] Warmtepompenadvies. (2019, maart 5). warmtepomp prijzen. Opgehaald van warmtepompenadvies: <https://warmtepompenadvies.nl/warmtepomp-prijzen/>
- [28] Warmtepomp-info. (2019, maart 5). kosten warmtepomp. Opgehaald van warmtepomp-info: <https://www.warmtepomp-info.nl/kosten-warmtepomp/>
- [29] Warmtepompplein. (2019, maart 5). warmtepomp prijs, kosten en opbrengsten. Opgehaald van warmtepompplein: <https://warmtepompplein.nl/warmtepomp-prijs/>
- [30] Warmtepompweetjes. (2019, maart 7). Brine/Water warmtepomp. Opgehaald van warmtepomp-weetjes: <https://warmtepomp-weetjes.nl/soorten/brine-water-warmtepomp/>
- [31] Warmtepomp-weetjes. (2019, maart 5). warmtepomp prijzen. Opgehaald van Warmtepomp-weetjes: <https://warmtepomp-weetjes.nl/extra/warmtepomp-prijs/>
- [32] Wasco. (2019, maart 6). warmtebronnen. Opgehaald van wasco:
<https://www.wasco.nl/categorie/verwarming/warmtebronnen>
- [33] Werkgroep discontovoet:
<https://www.rwseconomie.nl/documenten/rapporten/2016/augustus/augustus/advies-werkgroep-discontovoet>

Bijlage A : Warmtescenario's

De lokale warmtescenario's zijn gebaseerd op een aanvoertemperatuur aan de woning. Het warmteafgifte systeem (40 °C) in de woning en de benodigde temperatuur voor legionella preventie (58 °C) bepalen of het aangeleverde warme water hoog genoeg is om direct toe te passen voor ruimteverwarming en/of tapwater of dat het water een 'boost' nodig heeft (indirect). Voor de verschillende aanvoertemperaturen van het warmtenet zijn verschillende oplossingen in de woning mogelijk. De volgende varianten zijn kort vergeleken; de uiteindelijk gekozen varianten zijn samengevat in paragraaf 5.2

- Verschillende aanvoertemperaturen aan de woningen (70 °C, 55 °C, 50 °C, 40 °C en 15 °C).
- Verschillende opweksystemen voor ruimteverwarming en warm-tapwater (warmtenet, ketel, warmtepomp, elektrisch verwarmingselement)
- Wel of geen boilervat hebben voor warm-tapwater
- Wel of niet elektrisch koken (Alleen Groengas optie kookt niet elektrisch)
- De keuze voor roosters en afzuigventilatie (type C) of balansventilatie met warmteterugwinning (type D)

Scenario	Ventilatie	Ruimteverwarming	Tapwater	Koeling
A. Warmtenet – 70 °C	C	Afleverzet	Afleverzet	Airco
B. Groengas	C	Gasketel	Gasketel	Airco
C. Warmtenet – 55 °C	C	Afleverzet	Afleverzet met doorstroomapparaat	Airco
D0. Warmtenet – 50 °C	C	Afleverzet	Afleverzet met doorstroomapparaat	Airco
D. Warmtenet – 50 °C	C	Afleverzet	Afleverzet met elektrische boiler	Airco
E. Warmtenet – 40 °C	C	Afleverzet	Afleverzet met booster	Afleverzet
F. Warmtenet – 40 °C	D	Afleverzet	Afleverzet met booster	Afleverzet
G. Warmtenet – 40 °C	D	Afleverzet	Afleverzet met booster	Afleverzet
H. Warmtenet – 15 °C	C	Afleverzet met warmtepomp	Afleverzet met warmtepomp	Afleverzet
I. Warmtenet – 15 °C	D	Afleverzet met warmtepomp	Afleverzet met warmtepomp	Afleverzet
J. All-electric	C	Lucht/water warmtepomp	Lucht/water warmtepomp	Lucht/water warmtepomp
K. Warmtenet – 15 °C	D	Afleverzet en warmtepomp	Afleverzet met warmtepomp en douche-WTW	Afleverzet

Scenario B is afgefallen omdat groen gas nog niet beschikbaar is voor kleingebruikers. Scenario C en D0 zijn afgefallen omdat een doorstroomapparaat een te hoog elektrisch vermogen vraagt voor de bestaande groepenkasten en elektrische infrastructuur, tegenover een hogere energierekening en weinig energiebesparing. Scenario's G, I en K zijn afgefallen omdat door ruimtegebrek in de woningen een ventilatiesysteem type D als niet haalbaar wordt geacht.

Bijlage B : Input gebouwberkeningen

DUPLEX TUSSEN WONING												
	0 DTW bestaand		A 70°C		D 50°C		E 40°C		H 15°C		J LW-WP	
Volume (m3)	145,2		145,2		145,2		145,2		145,2		145,2	
#bewoners	2		2		2		2		2		2	
Aanwezigheid	70		70		70		70		70		70	
T aanwezig	20		20		20		20		20		20	
T afwezig	16		17		17		17		17		17	
%verwamd	80		80		80		80		80		80	
Gebouwschil		RC										
vloer (m2)	52,2	1,20	52,2	2,37	52,2	2,37	52,2	2,37	52,2	2,37	52,2	2,37
gevels dicht	34,74	0,50	34,74	3,47	34,74	3,47	34,74	3,47	34,74	3,47	34,74	3,47
dak	69,6	1,20	69,6	2,44	69,6	2,44	69,6	2,44	69,6	2,44	69,6	2,44
ramen (U)	23,89	3,00	23,89	1,80	23,89	1,80	23,89	1,80	23,89	1,80	23,89	1,80
	2,44	7,04	3,20	7,04	3,20	7,04	3,20	7,04	3,20	7,04	3,20	7,04
Infiltratie	4		0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	
ventilatie	geen		Type C, roosters en afzuiging		Type C, roosters en afzuiging		Type C, roosters en afzuiging		Type C, afzuiging met roosters		Type C, afzuiging met roosters	
ventilatievoud	0		0,5		0,5		0,5		0,5		0,5	
rendement wTw (%)	0		0		0		0		0		0	
Tapwater												
Taanvoer (°C)	10		10		10		10		10		10	
#weken afwezig	4		4		4		4		4		4	
Douche												
T douch	39		39		39		39		39		39	
#douchebeurten/week	10		10		10		10		10		10	
duur douche (min)	8		8		8		8		8		8	
debiet (l/min)	9		9		9		9		9		9	
Douche wTw (%)	0		0		0		0		0		0	
Bad												
T bad	0		0		0		0		0		0	
#badbeurten/week	0		0		0		0		0		0	
#liter per bad	0		0		0		0		0		0	
Tappunten												
Taanvoer (°C)	55		55		55		55		55		55	
debiet (l/min)	9		9		9		9		9		9	
#min/dag	5		5		5		5		5		5	
Zonneboiler (GJ/jaar)	0		0		0		0		0		0	

DUPLEX TUSSEN WONING											
	0 DTW bestaand		A 70 °C		D 50 °C		E 40 °C		H 15 °C		J LW-WP
Zoninstraling	ZTA										
Zuid (m2)											
Noord (m2)											
Oost (m2)	11,29	0,7	11,29	0,5	11,29	0,5	11,29	0,5	11,29	0,5	11,29
West (m2)	12,6	0,7	12,6	0,5	12,6	0,5	12,6	0,5	12,6	0,5	12,6
Koken											
Intensiteit	gem		gem		gem		gem		gem		gem
Energiebron	gas		elektrisch		elektrisch		elektrisch		elektrisch		elektrisch
Witgoed											
# wasmach/week	2		2		2		2		2		2
# vaatwas/week	5		5		5		5		5		5
# droger/week	2		2		2		2		2		2
Electrische apparaten											
Eigen gebruik	1000		1000		1000		1000		1000		1000
Eigen opwekking	0		0	0	0		0		0		0
# panelen											
Wp/paneel											
orientatie (graden)											
dakhoek											
schaduw (%)											

Bijlage C : Wijk-Distributieverliezen warmtenetten en pompenergie

Opties A, D, E en H gaan uit van lokale warmtenetten op lagere temperaturen. Voor scenario's D, E en H hangt de CO₂ uitstoot van de aan de woningen geleverde warmte alleen af van de elektriciteit die in de keten wordt gebruikt (pompenergie en collectieve warmtepompen). Voor scenario A hangt deze ook nog af van de CO₂ uitstoot van de ingekochte warmte vanuit het warmtetransportnet.

De pompenergie is voor deze scenario's ingeschat volgens de formule $E \text{ (kWh}_e\text{)} = 0,2 \cdot \text{debiet (m}^3\text{)}$. Omdat de temperatuurverschillen tussen aanvoer en retour in te netten verschillen, zijn ook de pompenergie getallen per scenario verschillend. Dit is weergegeven in tabel xx. De warmteverliezen zijn bepaald op basis van een ingeschatte leidinglengte, de aanvoer- en retourtemperatuur in de leidingen en een temperatuur van de ondergrond van 12 °C, vergelijkbaar met de methode gehanteerd in ISSO 7 (ISSO-publicatie 7. Grondleidingen voor warmte- en koude transport). De resulterende verliezen die zijn meegenomen in de vergelijking zijn eveneens weergegeven in onderstaande tabel.

Scenario	Pompenergie WKO	Pompenergie distributie	Warmteverliezen	
	kWh(e)/ kWh(th)	kWh(e)/ kWh(th)	Per wooneenheid [GJ/eenheid*jaar]	% van de geproduceerde warmte
A 70 °C	n.v.t.	0,04	6,7	28%
D 50 °C	0,03	0,03	3,7	15%
E 40 °C	0,03	0,02	1,9	8%
H 15 °C	0,03	0,015	0	0