WINST

WARMTE INFRASTRUCTUUR NEDERLAND MET VERLAAGDE SYSTEEM TEMPERATUUR

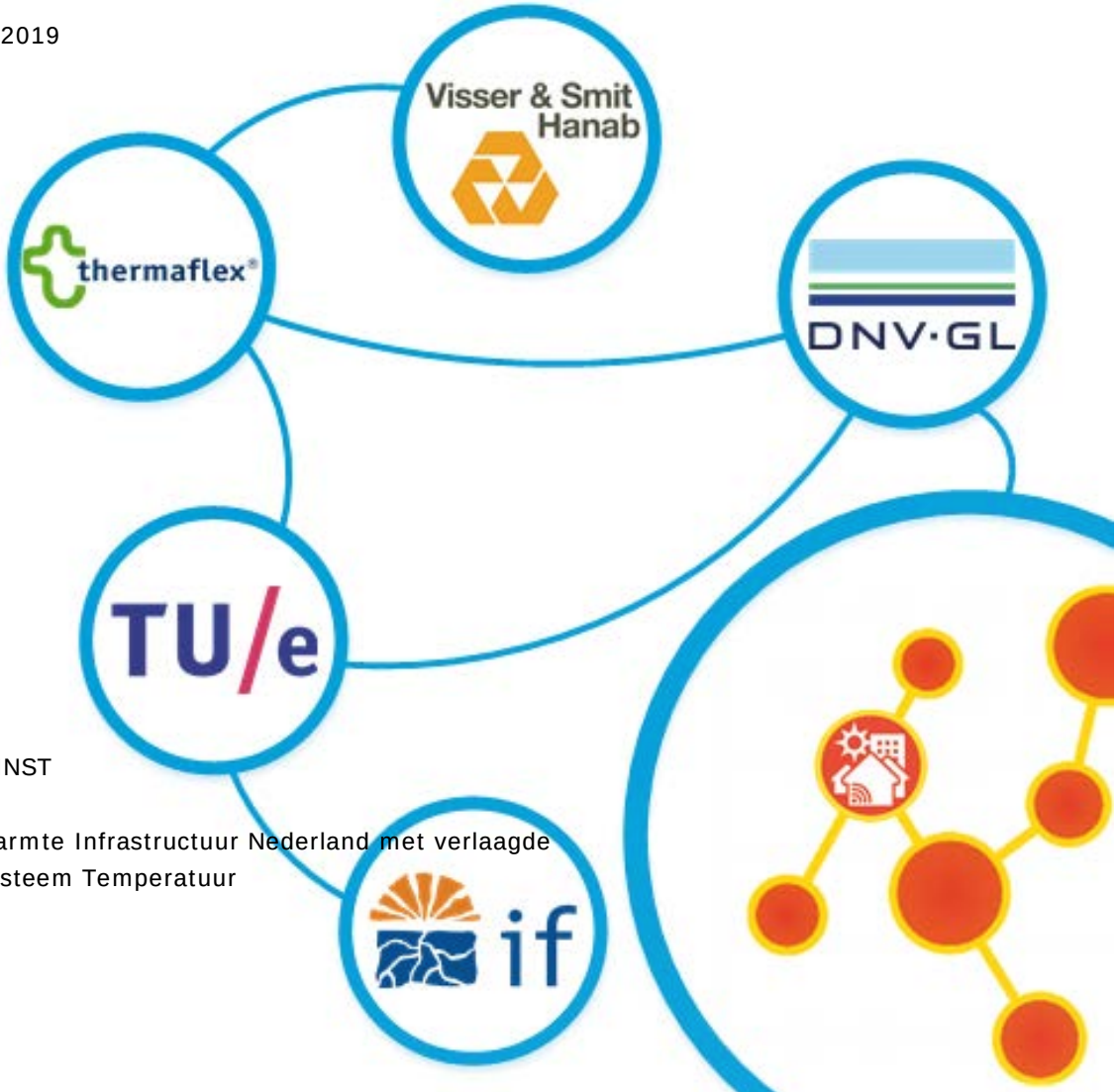
TKI Urban Energy

Openbaar eindrapport

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, subsidieregeling Top Sector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Deliverable: 5.1; 5.2; 5.3

Datum: 14 november 2019



Projectnaam: WINST

Warmte Infrastructuur Nederland met verlaagde Systeem Temperatuur

Rapport titel:	Winst met WINST
Klant:	TKI Urban Energy
Contactpersoon:	Lex Bosselaar
Referentienummer	10034040-EMTNL 19-1343
Datum:	14 november 2019

Geschreven door:	Beoordeeld door:	Goedgekeurd door:
	 	
N.A.M. Verhaegh	B.G. in 't Groen B. Römgens	M. Cremers

Versie	Datum	Reden voor uitgave	Auteur	Beoordeeld	Goedgekeurd
0	2019-11-14	Eerste uitgave	N. Verhaegh	B. in 't Groen/ B. Römgens	M. Cremers

Copyright © DNV GL 2019 All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV GL undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

Inhoud

MANAGEMENT SAMENVATTING 3

Inleiding en achtergrond 3

Voornaamste resultaten 4

Conclusies 9

Aanbevelingen 9

1 INLEIDING 10

2 STAPPENPLAN TECHNO-ECONOMISCHE ANALYSE 11

3 RESULTATEN DEMOWIJKEN 14

3.1 Inleiding 14

3.2 Wijk A 16

3.3 Wijk B 30

3.4 Wijk C 40

4 GENERIEKE CONCLUSIES DEMOWIJKEN 57

4.1 Overall conclusie voor de drie demowijken 61

5 POTENTIE LAGE TEMPERATUUR WARMTENETTEN VOOR DE GEBOUWDE OMGEVING 62

5.1 Potentie LT-netten in de gebouwde omgeving 62

5.2 Potentie LTA voor LT-warmtenetten 63

5.3 Potentie TEO voor LT-warmtenetten 63

5.4 Potentie industriële restwarmte voor LT-warmtenetten 64

5.5 Potentie bodem opslag voor LT-warmtenetten 66

5.6 Potentie kunststof prefab netwerk 68

5.7 Potentie TCM in LT-warmtenetten 69

5.8 Conclusie potentieel inschatting 70

6 EIND CONCLUSIE 72

7 AANBEVELINGEN VOOR NEDERLAND 73

8 REFERENTIES 77

BIJLAGE A. LIJST MET AFKORTINGEN 79

BIJLAGE B. UITGANGSPUNTEN DEMOWIJKEN 80
Centrale aannames 80
Kentallen alle demowijken 80
BIJLAGE C. KENTALLEN DEMOWIJK A 82
BIJLAGE D. KENTALLEN DEMOWIJK B 85
BIJLAGE E. KENTALLEN DEMOWIJK C 87
BIJLAGE F. KENTALLEN VAN CONCEPTEN UIT HOOFDSTUK 4 90

MANAGEMENT SAMENVATTING

Inleiding en achtergrond

Nederland zal de komende jaren een warmtetransitie ondergaan omdat Nederland 'van gas los' moet. Dat betekent voor de gebouwde omgeving dat moet worden geïnvesteerd in isolatie en alternatieve warmteconcepten, gebaseerd op elektriciteit, groen gas en/of warmtenetten, om te blijven voorzien in de warmtebehoefte.

Om beter zicht te krijgen in de technisch-economische potentie van warmtenetten met een aanvoertemperatuur van 70ºC of lager, is onder de vlag van TKI Urban Energy het WINST (Warmte Infrastructuur Nederland met verlaagde Systeem Temperatuur) project uitgevoerd. Het WINST-consortium bestaat uit DNV GL, Thermaflex, TU Eindhoven, Visser & Smit Hanab en IF Technology. Het consortium heeft 'lage temperatuur' warmtenetten, met de temperatuurregimes 70/40, 40/25 en 20/10 onderzocht. Hierbij geeft het eerste getal de aanvoer- en het tweede de retourtemperatuur in graden Celsius.

Voor drie typische woonwijken zijn verschillende warmtenetten doorgerekend. Deze resultaten zijn vergeleken met het huidige gasverwarmingsscenario en een all-electric warmteconcept met een lucht-water warmtepomp. Zie Tabel 1 voor een aantal kenmerken van de demowijken.

Tabel 1: Beknopt overzicht van de drie WINST-demowijken

		Wijk A	Wijk B	Wijk C
Bouwjaar	-	1960	1960	1930
Woondichtheid	adressen/km^2	2.192	2.126	2.823
Aantal woningequivalenten	WEQ	1.650	445	2.378
Appartement : grondgebonden	-	3:2	1:3	1:9
Huidig energielabel	-	C-D	C-D	F-G
Warmtevraag vóór isolatie	GJ/woning/jaar	36	46	71
Warmtevraag na isolatie tot energielabel B	GJ/woning/jaar	30	38	49
Warmtevraag na isolatie tot energielabel A	GJ/woning/jaar	26	32	45

Voor elke woonwijk is de huidige en verwachte warmtevraag geanalyseerd, zijn de beschikbare warmtebronnen geanalyseerd en is een aantal warmteconcepten opgesteld met verschillende configuraties van huisaanpassingen en lokaal beschikbare warmtebronnen.

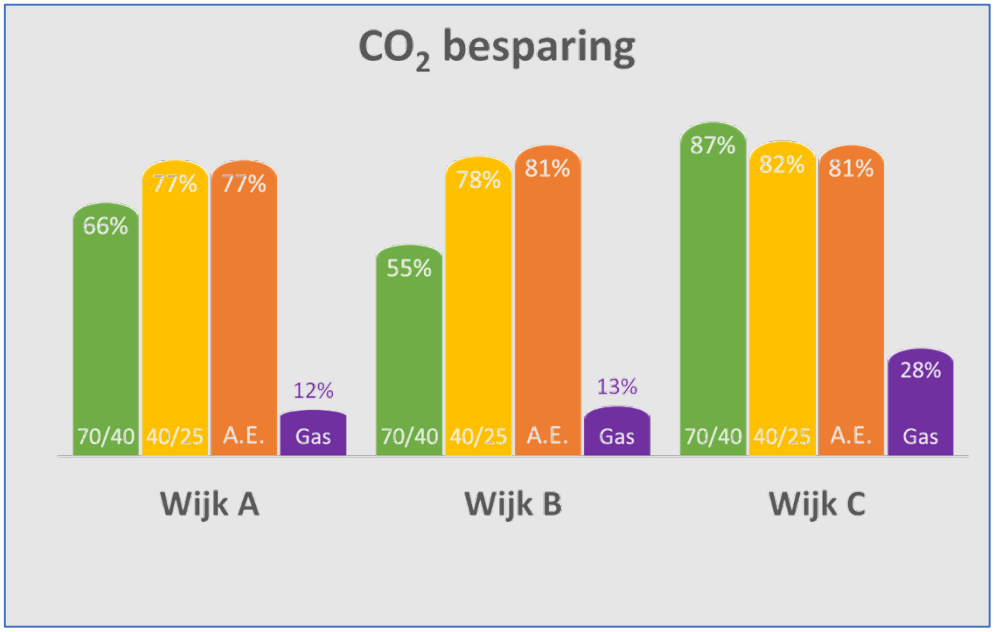
De verschillende warmteconcepten zijn doorgerekend met een warmtemodel van DNV GL. Dit rekenmodel levert de behaalde CO_2-reductie en de jaarlijkse kosten per warmteconcept en de jaarlijkse kosten in 2030 per woningequivalent (WEQ). Deze jaarlijkse kosten bestaan uit de afschrijving op de investering voor het warmtenet, de warmtebronnen en huisaanpassingen en de operationele kosten voor onderhoud en energie.

Financieringslasten, grondverwervingskosten en bouw- en sloopwerkzaamheden achter de meter zijn niet meegenomen, omdat deze erg project specifiek zijn.

Voornaamste resultaten

Met de warmteconcepten is een CO_2-reductie mogelijk van 50 tot 85%
Voor alle demowijken blijkt dat de warmtenetten een significante CO_2-reductie hebben van 50 tot 85%. Ter vergelijk, een woning isoleren naar energielabel B in combinatie met een state-of-the-art gasketel heeft een CO_2-reductie van 10 tot 25%.

De CO_2-reductie voor de 70/40 warmtenetten ligt voor de meeste warmtebronnen tussen 50 en 65%. Zie hiervoor ook figuur 1, waarin de resultaten van de financieel meest voordelige concepten per wijk worden weergegeven. De 40/25 warmtenetten behalen een CO_2-reductie van tussen de 70 en 85%, wat vergelijkbaar is met de reductie van de all-electric oplossingen met individuele lucht-water warmtepomp. De CO_2-reductiepercentages liggen bij 70/40 netten lager dan bij de 40/25 netten omdat meer elektriciteit nodig is voor warmtepompen bij de centrale warmtebronnen, die de temperatuur van het water ophogen. Het 70/40 concept met geothermische warmte in wijk C heeft echter een CO_2-reductie van boven de 80% dankzij de hoge temperatuur van deze geothermie bron.



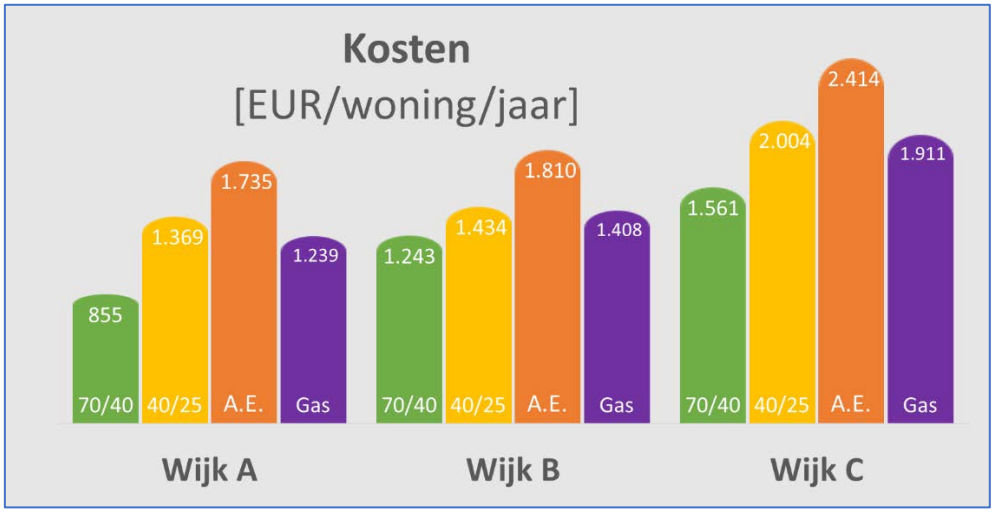
Figuur 1: Vergelijking CO_2-reductie voor de financieel meest voordelige warmtenetten vergeleken met een all-electric concept met een individuele lucht-water warmtepomp (A.E.), en een warmteconcept met een gasketel, waarbij wordt geïsoleerd tot energielabel B (Gas)

De resterende CO_2-uitstoot bij de warmtenet concepten komt van gasgestookte piekvoorzieningen, dat wil zeggen de centrale gasketels die warmte leveren tijdens de piekvraag momenten. De CO_2-reductie van 50% komt overeen met de doelstellingen voor 2030 beschreven in het Klimaatakkoord [1]. Om de doelstelling van 2050 te halen moeten nog extra stappen gezet worden. De CO_2-uitstoot kan verder nog gereduceerd worden door het verduurzamen van elektriciteit, door een alternatief voor de piekvraag warmtevoorziening (in meeste gevallen een gasketel), of door verdere reductie in warmtevraag door betere en meer isolatiemaatregelen. Bij betere isolatiemaatregelen migreert het 70/40 warmtenet naar een 40/25 net tegen vergelijkbare kosten en CO_2-reductie. Het vergroenen van de piekvoorziening heeft vooral bij 70/40 netten een grote impact op de CO_2-reductie.

De collectieve warmtenetten zijn goedkoper dan individuele all-electric oplossingen
Figuur 2 laat de jaarlijkse kosten per woning zien voor de financieel meest voordelige warmteconcepten per wijk. In alle drie de demowijken zijn de collectieve warmtenetten goedkoper gebleken dan de individuele all-electric oplossingen. De jaarlijkse kosten per woning voor de 70/40 warmtenetten zijn zo'n 50 tot 70% van die voor de all-electric oplossingen. Voor de 40/25 warmtenetten zijn deze jaarlijkse kosten zo'n 75 tot 85% van die voor de all-electric oplossingen.

Alle drie de wijken zijn volgens de CBS-gegevens zeer sterk verstedelijkt met meer dan 2000 adressen per km^2. Voor de onderzochte wijktypen vormen warmtenetten een voordeliger alternatief dan individuele all-electric oplossingen.

Zoals eerder gemeld heeft het vergroenen van de piekvoorziening vooral bij 70/40 netten een grote impact op de CO_2-reductie. Het is echter twijfelachtig of met een vergroende piekvoorziening 70/40 nog steeds goedkoper is dan 40/25. Richting 2050 hebben 40/25 warmteconcepten daarom een hogere potentie.

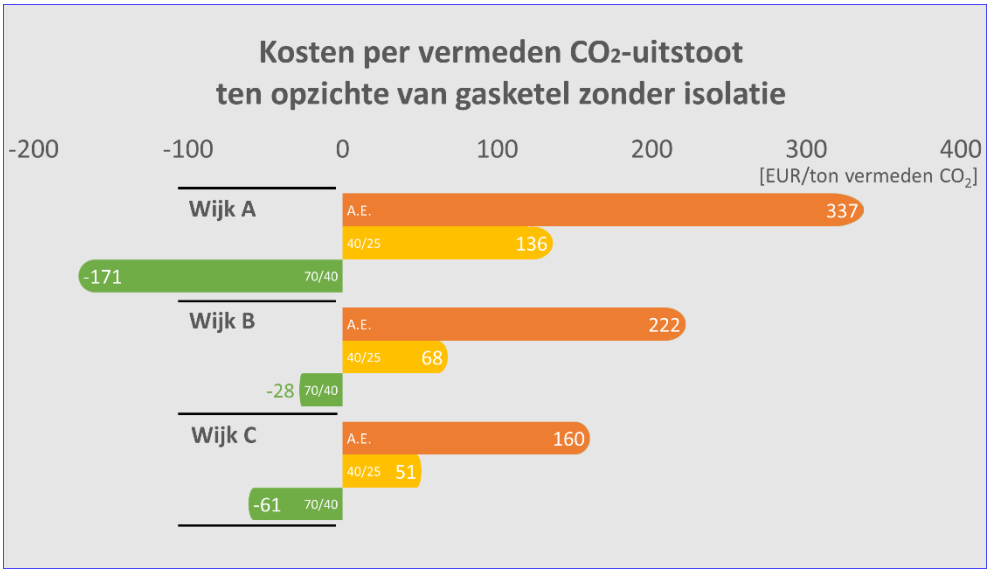


Figuur 2: Kosten per woning per jaar voor de financieel meest voordelige warmtenetten vergeleken met een all-electric concept met een individuele lucht-water warmtepomp (A.E.), en een warmteconcept met een gasketel, waarbij wordt geïsoleerd tot energielabel B (Gas)

CO_2-besparing met een warmtenet is goedkoper dan met all-electric oplossing

De kosten die gemaakt moeten worden om CO_2 te besparen, verschillen sterk (zie figuur 3). Om te bepalen hoeveel de CO_2-reductie kost, zijn de jaarlijkse kosten voor een warmteconcept verminderd met de jaarlijkse kosten van een gasketel zonder isolatie. Het totaal is gedeeld door de vermeden CO_2-uitstoot van het concept. De kosten per vermeden ton CO_2-uitstoot zijn bij de 70/40 warmteconcepten negatief omdat deze warmteconcepten goedkoper zijn dan de gasketel zonder isolatie.

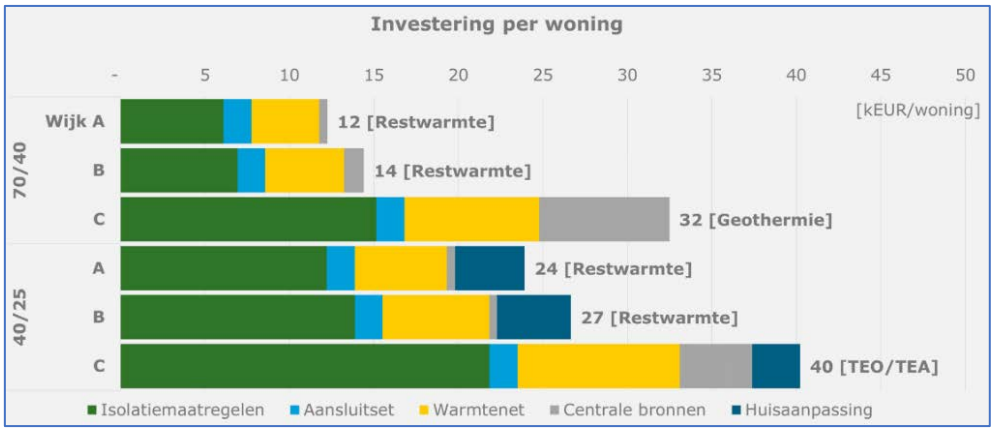
Uit de berekeningen blijkt dat 40/25 warmteconcepten ongeveer een gelijke CO_2-reductie behalen als individuele all-electric oplossingen (figuur 1). De kosten per ton vermeden CO_2-uitstoot zijn voor de 40/25 warmtenetten echter aanzienlijk lager. Als beide criteria, van hoogste CO_2-reductie én laagste kosten per vermeden CO_2-uitstoot, even zwaar wegen, zullen beslissers in deze wijken, naar verwachting, een sterke voorkeur hebben voor de 40/25 oplossingen boven de all-electric varianten.



Figuur 3: Vergelijking kosten per vermeden CO_2-uitstoot ten opzichte van een gasketel zonder isolatie voor de meest voordelige warmtenetten vergeleken en een all-electric concept met een individuele lucht-water warmtepomp (A.E.)

Investeringen in collectieve 70/40 warmtenetten zijn lager dan in 40/25 warmtenetten

Figuur 4 laat zien dat de investeringen per woning voor 40/25 warmtenetten hoger zijn dan voor 70/40 netten. Dit komt vooral door de extra huis-gebonden maatregelen die nodig zijn om aan te sluiten op een 40/25 net, zoals isoleren tot energielabel A in plaats van energielabel B, lage temperatuur radiatoren en voorzieningen voor tapwater.



Figuur 4: Kostenverdeling warmtenetten voor drie demowijken. Eventuele tapwatervoorzieningen lage temperatuur radiatoren vallen onder huisaanpassingen.

Voor de drie demowijken vormen de kosten voor isolatie tot energielabel B (voor aansluiting op een 70/40 warmtenet) tussen de 45 en 50% van de totale investeringen, zoals te zien is in Figuur 4. De kosten voor isolatie tot energielabel A (voor aansluiting op een 40/25 warmtenet) bedragen tussen de 50 en 55% van de totale investeringen. Wijk C heeft in beide temperatuurregimes de hoogste investering per woning. Dit komt doordat wijk C veel grote en oude woningen heeft (met een grotere relatieve warmtevraag) in vergelijking met wijk A en B.

De investeringskosten voor de warmtenet beheerder worden met name bepaald door woondichtheid, de ondergrond, de totale capaciteit en het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur. Voor alle drie de onderzochte woonwijken bedragen de kosten voor de warmtenet beheerder 25 tot 35% van de totale investeringen (zie Figuur 4).

De investeringskosten van de warmteconcepten gebaseerd op centrale warmtebronnen worden sterk bepaald door locatie-specifieke kenmerken. Over het algemeen geldt dat de investering afhangt van de temperatuur van de warmtebron, de afstand tot het warmtenet en specifiek voor geothermie en lage temperatuur aardwarmte, de geologie van de ondergrond en de hiermee samenhangende verwachte debieten en bronvermogens.

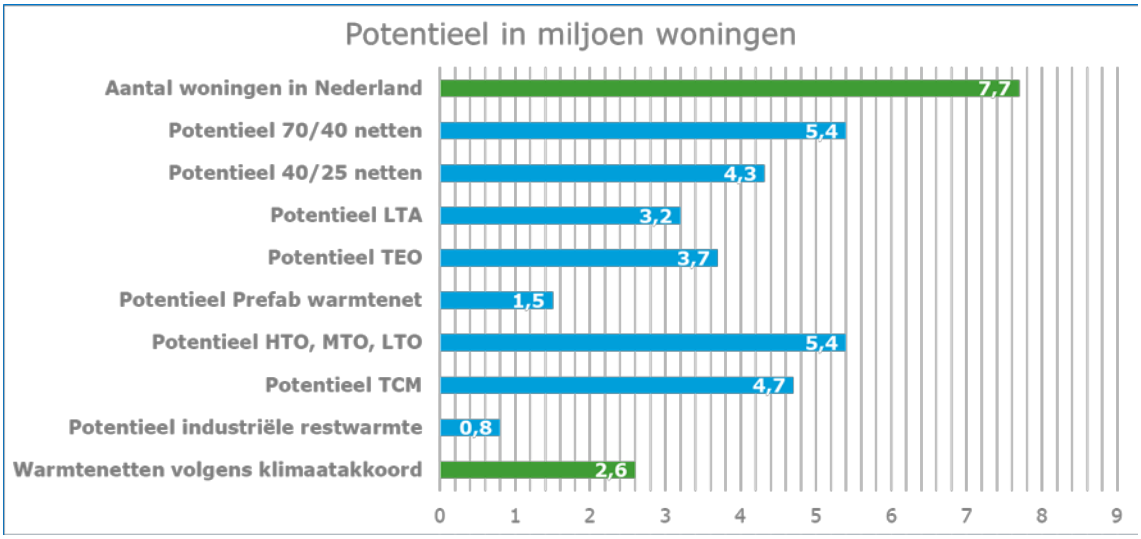
Afstemming tussen lage temperatuurbronnen en wijkgrootte is essentieel

Warmtebronnen zoals aardwarmte en grote industriële restwarmtebronnen zijn pas rendabel bij een voldoende grote warmtevraag. Bij wijk B bleek dat Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA) warmte kan leveren voor wel 6 keer het aantal woningen in de wijk. De investering per woning wordt voor deze wijk dan vergelijkbaar met de goedkoopste oplossing op basis van restwarmte. Om te voorkomen dat deze in prijs aantrekkelijke oplossingen uitgesloten worden, is het van belang om in lijn met het Klimaatakkoord warmteplannen minimaal op gemeentelijk niveau te maken. Met plannen op gemeentelijk niveau kan ook voorkomen worden dat verschillende wijken zonder overleg gaan rekenen op dezelfde lokale warmtebronnen. Dit zou tot onaangename verrassingen in de realisatiefase kunnen leiden.

70/40 warmtenetten de voordeligste keus voor 55 tot 70% van de woningen

Bij het inschatten van het potentieel van 70/40 warmtenetten, nemen we aan dat warmtenetten gerealiseerd worden in buurten met een stedelijkheidsgraad 3 of lager volgens de categorisatie van het CBS. Het gaat dan om maximaal 70% van de 7,7 miljoen woningen (= 5,4 miljoen woningen) in ongeveer 1200 dichtbebouwde wijken. We verwachten dat de 20% woningen die voor de oorlog gebouwd zijn, niet te isoleren zijn tot het niveau dat noodzakelijk is voor 40ºC aanvoer (technisch erg lastig en zeer duur). Uit de resultaten voor demowijk C blijkt dat die woningen van voor 1945 wel te isoleren zijn tot energielabel B en daarmee geschikt zijn voor 70/40 warmtenetten. Voor 40/25 warmtenetten gaat het daarmee om een potentieel van 55% van alle woningen (= 4,3 miljoen woningen). Als we ons beperken tot stedelijkheidsklasse 1 en 2 dan is het potentieel voor 70/40 warmtenetten 50% van alle woningen en voor 40/25 warmtenetten 40% van de woningen. Overigens kunnen volgens het Klimaatakkoord [1] maximaal 2,6 miljoen woningen aangesloten worden op een warmtenet tot 2050, door onzekerheden, beschikbare capaciteit en/of nog niet bekende technieken. Dit gaat om 70 tot 100 duizend aansluitingen op een warmtenet per jaar vanaf 2025.

Het consortium heeft op basis van literatuuronderzoek en eigen inschatting ook het potentieel voor diverse onderzochte bronnen en innovatieve technieken geschat. We bouwen hierbij voort op de schattingen en denklijnen van het potentieel van de 70/40 warmtenetten. De schattingen zijn opgenomen in Figuur 5.



Figuur 5: Potentieel inschatting warmtenetten en innovatieve technieken

CO_2-reductie 70/40 netten loopt op van 140 tot 3600 kton/jaar richting 2050

Het Klimaatakkoord verwacht dat vanaf 2025 tot maximaal 100 duizend woningen per jaar op een warmtenet worden aangesloten. Bij aansluiting op een 70/40 warmtenet met een gemiddelde CO_2-besparing van 55% wordt dan per jaar bijna 140 kton minder CO_2 uitgestoten. Dit loopt bij 2,6 miljoen aangesloten woningen in 2050 op tot 3600 kton vermeden CO_2 per jaar. Bij aansluiting op 40/25 netten met een gemiddelde CO_2-besparing van 75% loopt dit op tot 4900 kton per jaar in 2050.

Conclusies

Warmteconcepten gebaseerd op lage temperatuur warmtenetten hebben een significante potentie voor de Nederlandse gebouwde omgeving. Bij voldoende woondichtheid en aanwezige warmtebronnen, zijn de jaarlijkse kosten per woning voor 70/40 warmtenetten 30 tot 50% lager dan individuele all-electric concepten. De bijbehorende CO_2-besparing ligt boven de 50%. Bij 40/25 warmtenetten liggen de CO_2-besparingen boven de 70%. Dit is vergelijkbaar met individuele all-electric concepten. De kosten van de 40/25 netten liggen zo'n 15 tot 25% lager dan individuele all-electric concepten. De CO_2-reductie loopt richting 2050 op tot 3600 kton per jaar, als de volgens het Klimaatakkoord verwachte 2,6 miljoen woningen zijn aangesloten op 70/40 warmtenetten [1]. Bij 40/25 netten loopt dit op tot 4900 kton vermeden CO_2-uitstoot per jaar in 2050.

Deze conclusies zijn getrokken op basis van de doorrekeningen van de drie WINST-demowijken. Hoewel dit typische Nederlandse bestaande woonwijken zijn, is het moeilijk te voorspellen hoe representatief ze zijn voor Nederland. In deze studie is geen rekening gehouden met factoren zoals gebiedsinrichtingsplannen, samenstelling van de wijkbevolking, die wel invloed zullen hebben op investeringsbeslissingen. Tot slot merken we op dat deze studie zich beperkt heeft tot het vergroenen van bronnen voor de basislast en dat we uitgaan van 63% duurzame elektriciteit richting 2030. Verbetering van de CO_2-reductie is mogelijk door ook de pieklast, te weten de warmtelevering tijdens piekvraagmomenten, te vergroenen én doordat elektriciteit richting 205 bijna 100% duurzaam wordt.

Aanbevelingen

Het WINST-consortium heeft aangetoond dat warmtenetten met een verlaagde systeemtemperatuur haalbaar zijn en bijdragen aan het realiseren van de klimaatdoelstellingen voor 2030 [1]. Tot slot komt het consortium tot de volgende aanbevelingen:

- Begin met isoleren. Dit is een no-regret maatregel ongeacht het warmteconcept dat gekozen wordt. Per huis verschilt het welke mate van isolatie haalbaar is tegen welke acceptabele kosten. Het blijkt dat een deel van de jaren dertig woningen comfortabel met energielabel C uit kunnen.
- Formuleer zo snel mogelijk concrete warmteplannen. De gemeentes moeten hier hun regierol pakken, voor zover ze dit nog niet gedaan hebben. Bewoners en andere stakeholders willen weten waar ze aan toe zijn. Maak duidelijke keuzes, die verwoord staan in een warmteplan. Laat de gekozen concepten het grootste deel van de wijk afdekken. Voor de laatste 20 tot 30% is altijd maatwerk nodig bijvoorbeeld omdat men niet mee wil doen maar eigen keuzes wil maken.
- Kijk bij het opstellen van warmteplannen meteen naar de beschikbaarheid van lokale warmtebronnen. In veel wijken valt er iets of zelfs veel te kiezen. Kijk ook over wijkgrenzen heen om sub optimalisatie te voorkomen. Als er geen geschikte warmtebronnen zijn, worden alternatieve warmteconcepten zoals all-electric of groen gas pas interessant.
- Betrek en benut een (actieve) wijkvereniging maximaal bij het opstellen van warmteplannen, dat maakt het verschil!
- Pas op met het gebruik van kentallen. In de praktijk blijkt dat kosten vaak hoger uitvallen en dat energiebesparing veelal lager uitpakt.

1 INLEIDING

Omdat Nederland moet verduurzamen zal de gebouwde omgeving afgekoppeld moeten worden van aardgas. Dat vraagt om een alternatieve invulling van de warmtevoorziening. Het TKI-project WINST heeft innovatieve lage temperatuur warmte-infrastructuur concepten bestudeerd als alternatief. Daarvoor is gekeken naar de potentie van lage temperatuur warmtebronnen, bodem opslag, thermochemische materialen voor opslag of warmtepomp op huisniveau en flexibele, kunststof prefab leidingen. Voor drie bestaande woonwijken zijn warmteconcepten opgesteld bestaande uit een combinatie van warmtevraag, huisaanpassingen, warmtebronnen, opslagsystemen en netwerkconfiguratie. Deze warmteconcepten zijn doorgerekend met als doel om de techno-economische haalbaarheid inzichtelijk maken van innovatieve Lage Temperatuur Warmtenetten.

Het onderhavige rapport is het eindrapport van TKI WINST. Het rapport beschrijft de resultaten van de haalbaarheidsstudies van drie demowijken. Hoofdstuk 2 beschrijft het stappenplan van de techno-economische analyses. Hoofdstuk 3 beschrijft de karakteristieken van drie demowijken, de mogelijke warmteconcepten en de resultaten van de techno-economische analyse. In hoofdstuk 4 bespreken we de conclusies voor de drie demowijken en in hoofdstuk 5 de potentie voor lage temperatuur warmtenetten voor bestaande bouw in Nederland. Hoofdstuk 6 geeft de eindconclusie van het TKI-project WINST en hoofdstuk 7 tenslotte aanbevelingen voor de BV Nederland.

Dit rapport dekt de volgende deliverables:

Tabel 2: Overzicht van deliverables die afgedekt worden door het onderhavige rapport

Deliverable	Titel
D5.1	Potentie, impact en beperkingen van LT-warmte-infrastructuur
D5.2	Business case LT warmte-infrastructuur
D5.3	Aanbevelingen LT warmte-infrastructuur

2 STAPPENPLAN TECHNO-ECONOMISCHE ANALYSE

Binnen WINST zijn techno-economische doorrekeningen gemaakt van verschillende warmteconcepten voor drie bestaande wijken. Deze concepten zijn met elkaar vergeleken op basis van kosten en CO_2-besparing om de haalbaarheid van lage-temperatuur warmtenetten voor verschillende wijken te bepalen. Onderstaand is het stappenplan van de techno-economische doorrekeningen beschreven.

1. Bepalen jaarlijkse warmtevraagprofielen

Een warmtevraagprofiel wordt opgesteld op uurbasis uitgaande van meetdata van de huidige warmtevraag of van het jaarlijks gasverbruik. In het geval van gemeten data wordt het uiteindelijke warmtevraagprofiel bepaald rekening houdend met distributie- en transportverliezen. In het geval van een jaarlijkse totaal gasverbruik is gecorrigeerd voor kookgas. Het resterende gasverbruik voor warmte is geschaald op basis van een bestaand warmtevraagprofiel van een vergelijkbare wijk. Voor het resterende warmtevraagprofiel is een uitsplitsing gemaakt van tapwater en ruimteverwarming, uitgaande van een gemiddelde tapwatervraag per woning en een gelijktijdig profiel. Afsluitend is er een inschatting gemaakt van de warmtevraagbesparing van verschillende isolatiemaatregelen. Deze isolatiemaatregelen zijn vervolgens meegenomen in de verschillende warmteconcepten.

2. Verzamelen omgevingsvariabelen

Omgevingsvariabelen, zoals brandstofprijzen en belastingtarieven, worden bepaald.

3. In kaart brengen van beschikbare warmtebronnen en warmtenetten

Op basis van locatiespecifieke kenmerken en samenstelling ondergrond is de beschikbaarheid van verschillende warmtebronnen door de partners bepaald. Voor iedere beschikbare warmtebron en warmtenet zijn vervolgens locatie-specifieke kentallen bepaald. Deze kentallen houden rekening met lokale omstandigheden. Voor bronnen zijn dit o.a. temperaturen, bodemlagen en afstanden tot de wijk. Voor warmtenetten is dit o.a. de woondichtheid.

4. Opstellen warmteconcepten

Op basis van de beschikbare warmtebronnen per wijk zijn verschillende warmteconcepten opgesteld. Deze concepten bestaan uit (1) huisaanpassingen, zoals isolatie, lage temperatuur (LT)-radiatoren en opwaardeervoorzieningen voor tapwater; (2) warmtenet, zoals 70/40, 40/25, 20/10 of geen net; (3) warmtebronnen, zoals Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA), Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO), geothermie (GEO), industriële restwarmte en Hulp Warmte Centrale (HWC); (4) individuele bronnen zoals lucht-water warmtepompen, booster[1] warmtepompen, doorstroomverwarmers[2] of CV-ketels, en opslag (5), zoals thermochemische materialen opslag (TCM), warmte/koudeopslag (WKO, middentemperatuuropslag (MTO) of hogetemperatuuropslag (HTO).

Voor ieder van deze concepten is aangenomen dat alle sub componenten gezamenlijk iedere woning ten alle tijden comfortabel kunnen verwarmen. Het systeem is gedimensioneerd op de piekvraag en een

[1] Een booster warmtepomp is een warmtepomp die warm tapwater bereidt. In tegenstelling tot de standaard warmtepomp is deze ontworpen voor een relatief hoge invoer temperatuur van ca 30°C dat verwarmd wordt tot 60°C.

[2] Een doorstroom verwarmer is een soort individuele elektrische boiler die 40°C warmte pakt en dat verwarmt tot 100°C. Een standaard elektrische boiler pakt koud water en verwarmt dat tot 100°C.

back-up (n-1) voorziening die leveringszekerheid garandeert, dat wil zeggen dat in geval van uitval van de primaire bronnen, er een back up voorziening is.

Alle concepten worden aangeduid met een letter en een volgnummer. De letter **H** is gereserveerd voor 70/40 warmtenetten, **M** voor 40/25 netten, **L** voor 20/10 netten en **R** voor referentieconcepten. Voor elke wijk hebben we één of meer van de volgende referentieconcepten doorgerekend:

- Isoleren tot energielabel A, lage temperatuur radiatoren en een bodemwater-warmtepomp
- Isoleren tot energielabel A, lage temperatuur radiatoren en een lucht-water warmtepomp
- Niet isoleren en verwarmen met een CV-ketel
- Isoleren tot energielabel A en/of B en verwarmen met een CV-ketel.

5. Doorrekening warmteconcepten

Ieder concept wordt doorgerekend met behulp van een uurlijks dispatchmodel: dit model bepaalt voor ieder uur van het jaar wat de marginaal meest goedkope bronnencombinatie is die de op dat moment gevraagde warmtevraag kan leveren. Met marginaal wordt bedoeld dat er alleen gekeken wordt naar variabele kosten, zoals brandstofkosten, CO_2-kosten en variabele Operation & Maintenance (O&M) kosten. Voor opslagsystemen wordt er een laad- en ontlaadprofiel berekend op basis van het warmtevraagprofiel en de beschikbaarheid van overtollige warmte bij de warmtebronnen.

De doorrekening levert de volgende gegevens op:

a. **Jaarlijkse kosten per jaar per woning** [EUR/woning/jaar]. Bij deze kosten zijn de investeringen in huisaanpassingen (tot en met de afleverset) en bronnen omgerekend naar jaarlijkse afschrijvingen. Daarnaast zijn jaarlijks kosten voor onderhoud en de energiekosten meegenomen. Voor de energiekosten hanteren we de verwachte prijzen in 2030 volgens de Nationale Energieverkenner 2017 van PBL [2]. De volgende kosten zijn in deze studie niet meegenomen:

   - Financieringslasten
   - BTW
   - Kosten grondverwerving
   - Marktontwikkeling/kosten voor planvorming en stakeholder management
   - Stichtingskosten van een nieuw warmtebedrijf en administratie/facturering
   - Kosten voor het in huis trekken van leidingen en ander installatiewerk behalve het plaatsen van boilers en warmtepompen.

   In paragraaf 3.4.8 wordt ingegaan op de impact van het niet meenemen van deze financieringslasten.

b. **Procentuele CO_2-besparing** [%]. Dit is ten opzichte van de huidige situatie in de wijk. Voor de wijken B en C is dat op basis van het gemeten gasverbruik minus een correctie voor kookgas. De CO_2-uitstoot wordt veroorzaakt door gasverbruik van centrale hulpwarmteketels en door fossiel opgewekte elektriciteit. Omdat het grootschalig elektrificeren van de warmtevoorziening vooral voor de piek een grote uitdaging is, is bij het doorrekenen aangenomen dat slechts 63% van de elektriciteit duurzaam is en dat de piekvraag nog met gas opgewekt wordt.

c. **Vermeden CO_2-uitstoot** [ton/woning/jaar]. Dit is het verschil tussen de CO_2-uitstoot van een warmteconcept en dat van de huidige situatie.

d. **Kosten per ton vermeden CO_2-uitstoot** [EUR/ton vermeden CO_2].

e. **Integrale warmtekosten** [EUR/GJ]. Dit zijn de totale kosten gedeeld door de warmtevraag.

6. Vergelijking resultaten

De verschillende concepten per wijk worden vergeleken op het gebied van jaarlijkse kosten per woning en CO_2-besparing. Voor de kosten is onderscheid gemaakt tussen operationele- en investeringskosten. Daarnaast is in kaart gebracht bij welke stakeholders welke investeringen terecht komen.

Alle kostenberekeningen hebben een onzekerheidsmarge in de orde van ±10% gezien de aard van de studie. Hierbij valt te denken aan de onzekerheid over de ondergrond en toekomstige kostenontwikkelingen voor de technologieën.

3 RESULTATEN DEMOWIJKEN

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de door het project WINST uitgevoerde haalbaarheidsstudie voor lage temperatuur warmtenetten in drie verschillende demowijken. Deze typische Nederlandse wijken verschillen onder andere in wijkgrootte, woondichtheid, type woning, bouwjaar, verhouding grond-gebonden en appartement, en beschikbaarheid van lokale lage temperatuurbronnen.

Tabel 3 geeft een algemene vergelijking van de drie demowijken. Voor de volledige lijst met kentallen van de drie demowijken wordt verwezen naar de bijlagen: de gemeenschappelijke aannames en kentallen staan in Bijlage B; de specifieke kentallen voor demowijk A staan in Bijlage C; voor demowijk B in Bijlage D; en voor demowijk C in Bijlage E.

Tabel 3: Overzicht demowijken

		Wijk A	Wijk B	Wijk C
Bouwjaar	-	1960	1960	1930
Aantal woningequivalenten	WEQ	1.650	445	2.378
Woondichtheid	adressen/km^2	2.192	2.126	2.823
Appartement : Grondgebonden	-	3:2	1:3	1:9
Huidig energielabel	-	C-D	C-D	F-G
Huidige warmtevoorziening	-	HT-warmtenet	Individueel gas	Individueel gas
Warmtevraag per woningequivalent (WEQ) vóór isolatie (zowel voor ruimteverwarming als voor tapwater)	GJ/jr	36	46	71
	[m^3] aardgas equivalent	1.140	1.450	2.240
Warmtevraag per WEQ na isolatie tot energielabel B (zowel voor ruimteverwarming als voor tapwater)	GJ/jr	30	38	49
	[m^3 gas equivalent]	950	1.200	1.550
Isolatie naar energielabel	-	A of B	A of B	A of B
Appartement : Grondgebonden	-	3:2	1:3	1:9
Netwerkkosten 70/40 warmtenet (energielabel B)	MEUR	6,6	2,1	18,8
Netwerkkosten per woning (voor 70/40 net)	kEUR/woning	3,9	4,4	8,1
Netwerkkosten 40/25 warmtenet (energielabel A)	MEUR	9,0	2,9	22,5
Netwerkkosten per woning (voor 40/25 net)	kEUR/woning	5,5	6,4	9,6
Lokale bronnen[3] **LTA=Lage Temperatuur Aardwarmte** **GEO=Geothermie** **TEO=Thermische Energie uit Oppervlaktewater** **TEA=Thermische Energie uit Afvalwater** **TED=Thermische Energie uit Drinkwater**		LTA TEO Restwarmte	LTA TEO Restwarmte	GEO TEO/TEA/TED
Bodemopslag		WKO	WKO	WKO

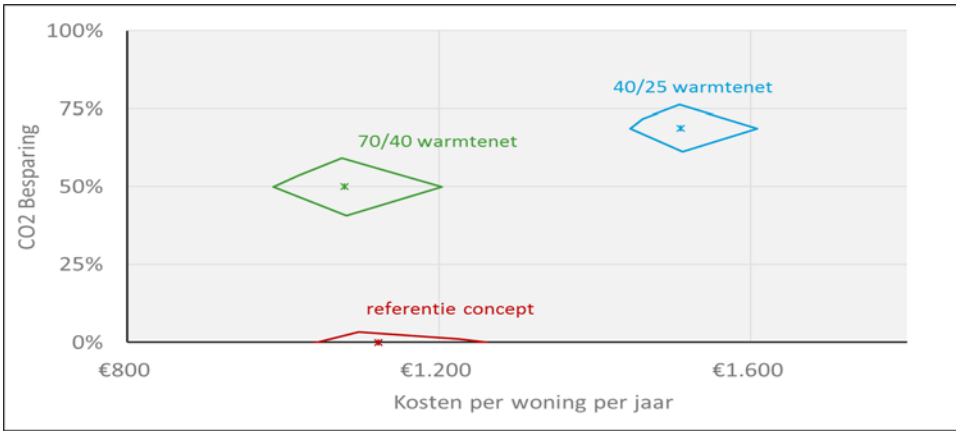
[3] Dit zijn de belangrijkste lage temperatuurbronnen voor de wijken. Per wijk zijn daarnaast ook andere bronnen beschouwd.

WKO=Warmte Koude Opslag in combinatie met TEO **MTO=Midden Temperatuur Opslag**		MTO		
Aansluiten op retourleiding (cascadering)		ja	nee	ja

In de onderstaande paragrafen worden de resultaten gepresenteerd voor de drie demowijken. De paragrafen hebben dezelfde opbouw. Na een algemene introductie van de wijk en een overzicht van de ontwikkelde warmteconcepten worden de resultaten gepresenteerd van enkele warmteconcepten, die het beste uit de analyse komen. Daarna volgen de vergelijkingen van de 70/40, de 40/25, de 20/10 en de referentie warmteconcepten. We sluiten elke paragraaf af met een totaal vergelijking van de concepten op totale kosten, de verdeling van de investeringslasten over de verschillende stakeholders (huiseigenaar, warmteleverancier, beheerder warmtenet en beheerder elektriciteitsnet), integrale warmtekosten (kosten per GJ warmte) en kosten per ton vermeden CO_2-uitstoot.

In de doorrekening van de warmteconcepten staan twee figuren centraal. De opbouw van beide figuren wordt hieronder toegelicht.

Figuur 6 geeft de resultaten van de doorrekening van een aantal warmteconcepten op basis van jaarlijkse kosten en CO_2-besparing.



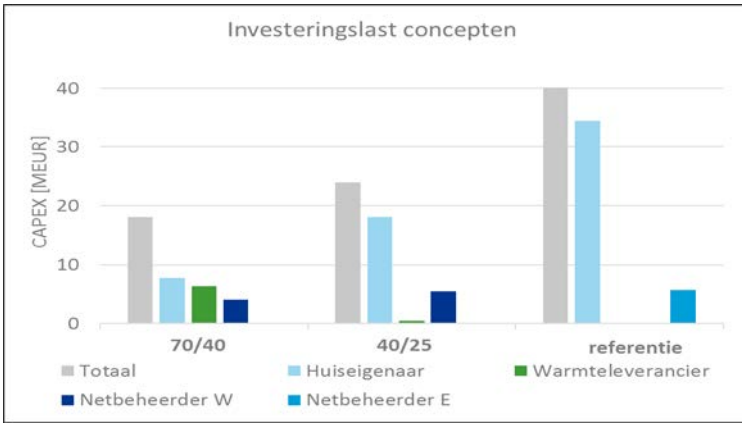
Figuur 6: Voorbeeld van kosten per woning per jaar en CO_2-besparing voor diverse warmteconcepten

De horizontale as geeft de jaarlijkse kosten per woning. Bij deze kosten zijn de investeringen in huisaanpassingen (tot en met de afleverset) en bronnen omgerekend naar jaarlijkse afschrijvingen. Daarnaast zijn jaarlijkse kosten voor onderhoud en energiekosten meegenomen. Zoals vermeld in hoofdstuk 2 worden de financieringslasten in deze studie niet meegenomen. In paragraaf 3.4.8 wordt ingegaan op de impact van het niet meenemen van deze financieringslasten voor enkele warmteconcepten van demowijk C.

De verticale as geeft de procentuele CO_2-besparing ten opzichte van de huidige situatie in de wijk.

De wybertjes rond de concepten geven de onzekerheid in de kosten en CO_2-besparing in diverse scenario's. De onzekerheid in kosten hangt af van onzekerheid in investeringskosten en energieprijzen. De onzekerheid in CO_2-besparing hangt van onzekerheid in de snelheid van vergroening van het elektriciteitsnet.

Figuur 7 toont hoe de investeringslasten verdeeld zijn over de verschillende stakeholders. Hierbij zijn alle huisaanpassingen op het conto van de huiseigenaar geschreven.



Figuur 7: Voorbeeld van verdeling investeringslasten over stakeholders voor diverse warmteconcepten

3.2 Wijk A

3.2.1 Karakterisering en warmteconcepten Wijk A

Demowijk A bestaat uit ongeveer 1.650 woningen uit de jaren 50/60 waarvan ongeveer 40% rijtjeshuis en 60% appartement is. De woningen worden momenteel gevoed vanuit een hoge temperatuur warmtenet met een elektriciteitscentrale als primaire bron. Het warmtevraagprofiel is afkomstig van een gemeten warmteprofiel voor een gebied waar demowijk A onderdeel van is. De gemiddelde huidige warmtevraag is 36 GJ/woning/jaar waarvan aangenomen wordt dat 7,8 GJ benodigd is voor tapwater. Een uitgebreid overzicht van kentallen voor wijk A is opgenomen in bijlage B.

Demowijk A heeft in zijn nabijheid potentie voor restwarmte, Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA) en Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO). De restwarmtebron is een grote (biomassa-) gestookte elektriciteitscentrale welke in staat is om in ieder geval basislast te leveren aan de wijk. Er wordt aangenomen dat voor 70/40 warmtenetten gebruik kunnen maken van deze restwarmte met een temperatuur van 70ºC door aansluiting op het bestaande warmtenet. Voor de 40/25 netten wordt aangenomen dat ze aangesloten kunnen worden op een retourleiding van het bestaande warmtenet, waardoor gebruik gemaakt kan worden van warmte van 40ºC. In beide gevallen betreft het dus cascadering.

De LTA-bron levert in deze wijk warmte van rond de 30°C en heeft een centrale warmtepomp nodig om een 70/40 en een 40/25 net te kunnen voeden. Voor het 70/40 net is uitgegaan van een 8 MW_{th} LTA-bron en voor een 40/25 net van een 2 MW_{th} LTA-bron. Voor de 40/25 netten met LTA-bron is ook een variant met een midden temperatuur opslag (MTO) systeem bestudeerd.

De 2 MW_{th} TEO-installatie put zijn warmte (gemiddeld 17ºC) uit een nabijgelegen kanaal en heeft zowel een WKO-installatie als een warmtepomp nodig om jaar-rond beschikbaar te zijn. De kosten voor conventionele geothermie in deze wijk zijn niet doorgerekend omdat de ondergrond niet geschikt is.

Voor alle warmteconcepten wordt gebruik gemaakt van één hulp warmtecentrale (HWC) op wijkniveau voor het piekvermogen. Deze HWC is ook opgesteld als back-up (n-1) voorziening, dat wil zeggen in geval van uitval van de primaire bronnen, kan de HWC-back up vermogen leveren.

Tabel 4 geeft een overzicht van de warmteconcepten voor wijk A. Daarbij geldt dat voor de H-concepten, met aansluiting op een 70/40 net, de woningen geïsoleerd worden tot energielabel B. En voor de M- en L-concepten met aansluiting op een respectievelijk 40/25 en 20/10 net worden de woningen geïsoleerd naar energielabel A.

Enkele concepten worden nader gespecificeerd in de volgende paragraaf. Een overzicht van de kentallen voor wijk A is te vinden in Bijlage C.

Tabel 4: Overzicht van warmteconcepten voor demowijk A

Concept	Isolatie	Huis aanpassing	net	Warmte Koude Opslag (WKO[4])	LTA [MW_{th}]	TEO [MW_{th}]	Rest warmte / cascadering [MW_{th}]	HWC [MW_{th}]
H1	B		70/40				onbeperkt (basis- en piek)	
H1A	B		70/40				3 (basis)	8
H3	B		70/40		8,1			2,5[5]
H3A (4x grotere wijk)	B		70/40		8,1			8
H5	B		70/40	ja		2,6		8
M1A	A	Booster warmtepomp LT radiator	40/25				3 (basis)	8
M3A	A	Booster warmtepomp LT radiator	40/25		2			8
M5	A	Booster warmtepomp LT radiator	40/25			2,6		8
L1	A	LT radiator Bodem water-warmtepomp	20/10	ja		2		2,5

Deze warmteconcepten zijn vergeleken met vier referentie concepten.

Bij concept **R1** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel A. Ze zijn voorzien van lage temperatuur radiatoren en van een bodemwater-warmtepomp.

Bij concept **R2** zijn de huizen ook geïsoleerd tot energielabel A. Ze zijn voorzien van lage temperatuur radiatoren en van een lucht-water warmtepomp.

Bij concept **R3** zijn de huizen niet geïsoleerd en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

Bij concept **R4** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel A en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

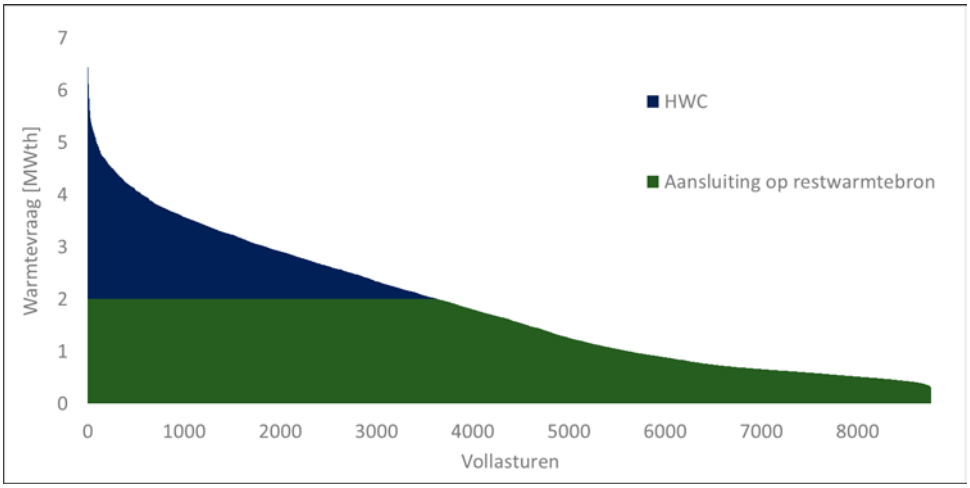
Bij concept **R5** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel B en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

[4] De WKO is gecombineerd met warmtebron. Het totaal vermogen wordt vermeld bij warmtebron

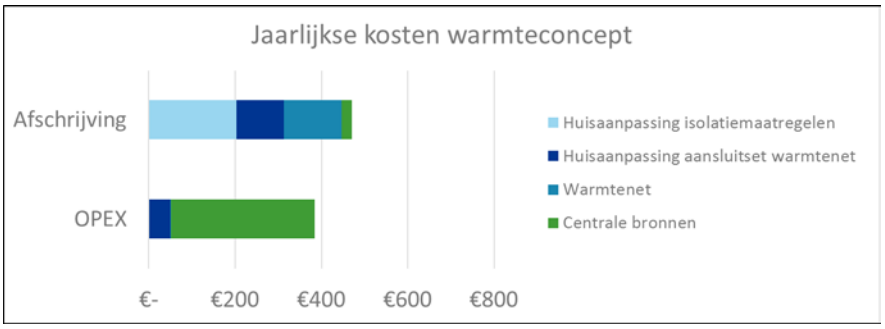
[5] Omdat de LTA bron overgedimensioneerd is, is hier gekozen voor een kleinere HWC. Er wordt aangenomen dat de piekvraag geleverd kan worden door de LTA bron en dat de bron nooit volledig uitvalt, waardoor een kleiner back up capaciteit volstaat.

3.2.2 Toelichting enkele warmteconcepten voor wijk A

Warmteconcept **H1A** wordt gekenmerkt door een 70/40 warmtenet dat is aangesloten op een bestaand warmtenet en gebruik maakt van een restwarmtebron voor de basislast. Alle woningen worden verder geïsoleerd naar energielabel B. In Figuur 8 is de gesorteerde warmtelevering (jaarbelastingduurkromme) over het jaar te zien.



Figuur 8: Jaarbelastingduurkromme demowijk A, warmteconcept met 70ºC restwarmte als basislast (H1A)



Figuur 9: Jaarlijkse kosten warmteconcept met 70ºC restwarmte als basislast (H1A), demowijk A, in [EUR/woning/jaar]

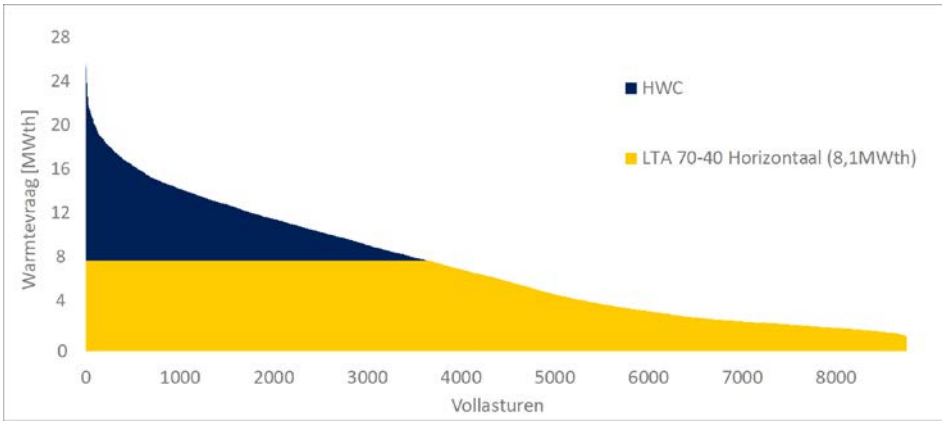
Figuur 9 toont de totale jaarlijkse kosten per woning, bestaande uit de investeringsafschrijvingen en de jaarlijkse onderhouds- en energiekosten. In totaal komen deze kosten voor dit concept **H1A** op 855 EUR per woning per jaar. Wat opvalt is dat het grootste deel van de kosten in de energiekosten van de restwarmtebron zit, dat is de 7 EUR/GJ die voor restwarmte betaald moet worden. Daarna zijn de vaste afschrijvingskosten voor isolatie en het warmtenet bepalend voor de jaarlijkse kosten.

De CO_2-besparing behorende bij dit concept is 66%. De resterende CO_2-uitstoot komt van het gasverbruik door de HWC.

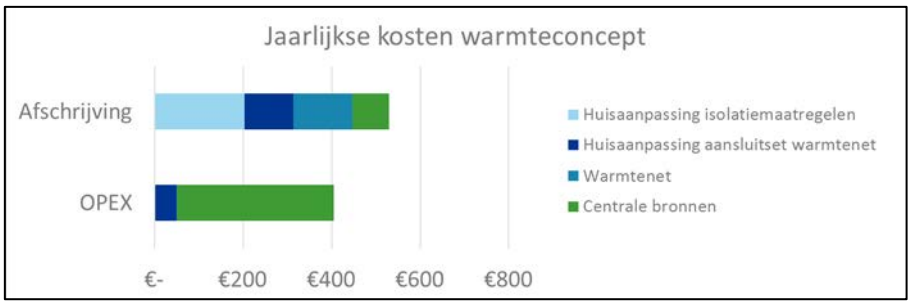
Voor deze wijk is ook een warmteconcept met een 8,1 MW_{th} LTA-installatie doorgerekend (**H3**). Deze LTA-bron is echter overgedimensioneerd voor enkel deze wijk. Dit betekent dat de bron slechts een beperkt aantal vollasturen heeft van 1.800, wat zowel economisch als technisch onwenselijk is: het op- en afschakelen van het vermogen van de LTA-bron zorgt voor een verhoogde slijtage.

Daarom is in warmteconcept **H3A** de warmtevraag opgeschaald naar een vier keer grotere wijk. Dat betekent dat er een HWC-ketel nodig is voor de piekbelasting.

De jaarbelastingduurkromme (gesorteerde warmtelevering) en de jaarlijkse kosten worden getoond in respectievelijk Figuur 10 en Figuur 11.



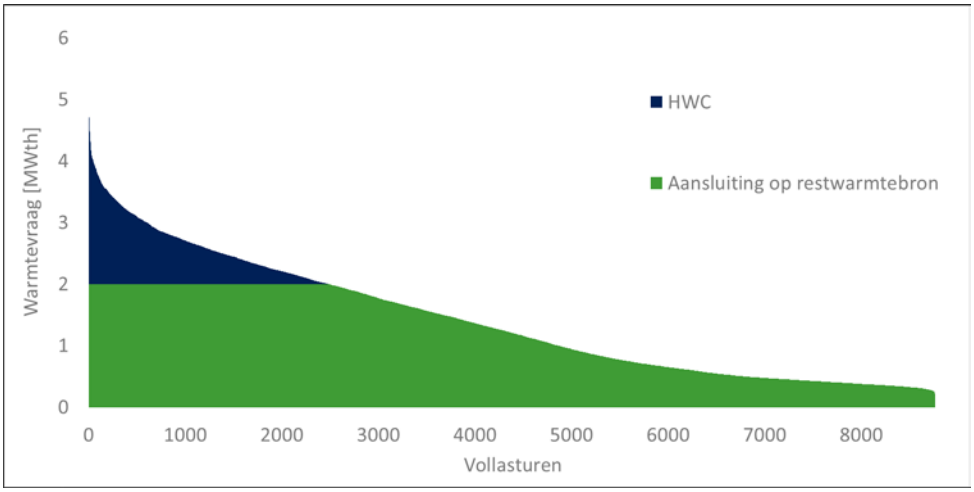
Figuur 10: Jaarbelastingduurkromme demowijk A met geschaalde warmtevraag (4x groter dan werkelijk), warmteconcept met LTA als basislast en HWC voor pieklast (H3A)



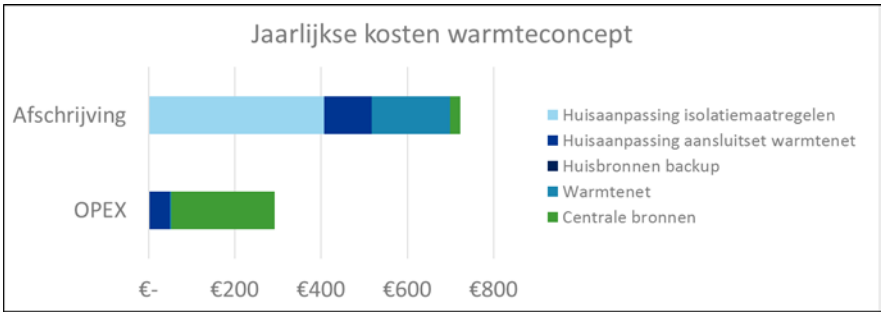
Figuur 11: Jaarlijkse kosten warmteconcept met LTA als basis- en pieklast (H3A), demowijk A, in [EUR/woning/jaar]

Het totaal aantal vollasturen voor de LTA bron is nu 6.124 uur. De totale jaarlijkse kosten zijn 935 EUR/woning/jaar. De CO_2-besparing voor de wijk is 56%. Echter de LTA-bron is nu ook beschikbaar voor naburige wijken. Als we het uitgangspunt hanteren dat deze wijken anders op gas blijven is door het opschalen de totale CO_2-besparing veel groter dan in variant **H3**. Hierdoor is deze opschaling zeer interessant.

Tot slot presenteren we het 40/25 warmteconcept **M1A** dat is aangesloten op de retourleiding van een bestaand warmtenet en gebruik maakt van een 40ºC restwarmte voor de basislast. Alle woningen worden daarvoor geïsoleerd naar energielabel A. De jaarbelastingduurkromme (gesorteerde warmtelevering) en de jaarlijkse kosten worden getoond in respectievelijk Figuur 12 en Figuur 13.



Figuur 12: Jaarbelastingduurkromme demowijk A, warmteconcept met 40ºC restwarmte als basislast (M1A), demowijk A



Figuur 13: Jaarlijkse kosten warmteconcept met 40ºC restwarmte als basislast (M1A), demowijk A, in [EUR/woning/jaar]

Figuur 13 toont de totale jaarlijkse kosten per woning, bestaande uit de investeringsafschrijvingen en de jaarlijkse onderhouds- en energiekosten. In totaal komen deze kosten voor dit concept **M1A** op 1.369 EUR per woning per jaar. De afschrijving op isolatiemaatregelen heeft nu de grootse bijdrage aan de kosten.

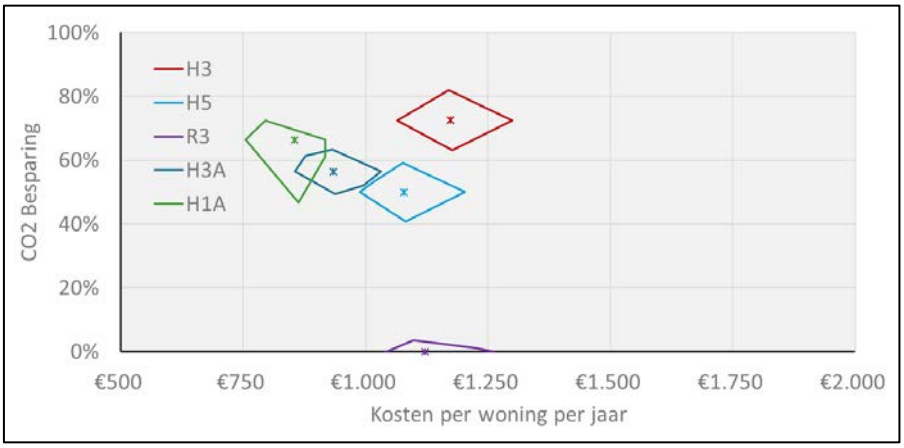
De CO_2-besparing behorende bij dit concept is 77%. De resterende CO_2-uitstoot komt van het gasverbruik door de HWC.

3.2.3 Vergelijking 70/40 warmteconcepten Wijk A

In Figuur 14 is een vergelijking tussen verschillende 70/40 warmteconcepten te zien waarbij is aangenomen dat de huizen geïsoleerd zijn tot energielabel B. Ter vergelijking is een referentie case opgenomen waarbij de woningen verwarmd worden met een CV-ketel en waarbij verder niet geïsoleerd is (**R3**).

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
H3	Isolatie B + LTA	1.173	72
H5	Isolatie B + TEO + WKO + HWC	1.078	50
R3	Zonder isolatie + CV-ketel	1.122	0
H3A	Isolatie B + LTA (geschaald) + HWC	935	56

H1A	Isolatie B + restwarmte + HWC	855	66



Figuur 14: Vergelijking 70/40 warmteconcepten met isolatie naar energielabel B, demowijk A

Drie van de vier 70/40 warmteconcepten zijn goedkoper dan het referentieconcept. Alleen het concept met de overgedimensioneerde LTA (H3) is duurder dan het referentieconcept. De hoge kosten voor het referentieconcept worden veroorzaakt door de verwachte prijzen voor aardgas in 2030.

Het meest gunstige warmteconcept voor wijk A is met 2 MW_{th} restwarmte en een HWC (H1A). Dit komt omdat voor dit concept de investering in de centrale bronnen beperkt is. Dit concept heeft een afschrijving van 855 EUR/woning/jaar en een CO_2-besparing van 66%. Als de restwarmte bron gebruikt wordt voor zowel basis- als pieklast zou de afschrijving afnemen met 100 EUR/woning/jaar en zou de CO_2-besparing stijgen tot 86%. Er is dan een aparte back up voorziening (n-1) nodig in de vorm van een extra HWC.

De LTA-bron van 8,1 MW_{th} (H3) is overgedimensioneerd voor deze wijk. Dit leidt tot een jaarlijkse afschrijving van 1.173 EUR/woning met een hoge CO_2-besparing van 72% omdat er geen HWC nodig is. Het lijkt wenselijk om de LTA-bron in te zetten voor een grotere wijk. Als de warmtevraag 4x zo groot wordt, wordt de LTA-bron beter benut (H3A). De jaarlijkse kosten worden dan ongeveer 250 EUR/woning lager. De CO_2-besparing van wijk A neemt dan af met 15%, maar dit is zonder verrekening van de CO_2-besparing van de buurwijken, die ook gebruik kunnen maken van de LTA-bron. Als we het uitgangspunt hanteren dat deze wijken anders op gas blijven is door het opschalen de totale CO_2-besparing veel groter in variant H3. Hierdoor is deze opschaling zeer interessant.

De 2 MW_{th} TEO-bron inclusief WKO (H5) heeft 1.078 EUR/woning/jaar aan jaarlijkse kosten en een CO_2-besparing van 50%.

De CO_2-besparing blijft bij de 70/40 concepten beperkt tot 50-65%. De resterende CO_2-uitstoot zit zowel in gasverbruik van de HWC's als in het fossiele deel van de opgewekte elektriciteit. Het 100% verduurzamen van de elektriciteit zou de CO_2-besparing laten oplopen tot 70%. Daarnaast kan ook de piek worden verduurzaamd (momenteel gasketel).

Extra jaarlijkse kosten voor isoleren tot energielabel A bedragen gemiddeld 200 EUR/woning/jaar. Dit levert gemiddeld 10% extra CO_2-besparing op.

3.2.4 Vergelijking 40/25 warmteconcepten Wijk A

In Figuur 15 zijn de resultaten van de verschillende 40/25 warmteconcepten te zien.

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
M3A	Isolatie A + LTA + HWC + booster WP	1.532	74
M5	Isolatie A + TEO +WKO +HWC + booster WP	1.510	69
R2	Isolatie A + lucht-water WP	1.735	77
M1A	Isolatie A + restwarmte + HWC+ booster WP	1.369	77



Figuur 15: Vergelijking 40/25 warmteconcepten met isolatie naar energielabel A, demowijk A

Voor alle 40/25 concepten geldt dat ze duurder zijn dan de 70/40 warmteconcepten. Deze additionele kosten zitten in een duurder warmtenet voor 40/25 ten opzichte van 70/40[6], isolatie naar energielabel A en de benodigde oplossing voor het opwaarderen van tapwater. Wel wordt opgemerkt dat de 40/25 warmteconcepten (met energielabel A) goedkoper zijn dan de all-electric referentie met energielabel A en een individuele lucht-water warmtepomp (**R2**).

Voor de verschillende bronnen geldt dat restwarmte opnieuw financieel het meest gunstig is (**M1A**: 1.369 EUR/woning/jaar) gevolgd door LTA (**M3A**) en TEO (**M5**) met ca 1.500 EUR/woning/jaar. Ook wat betreft CO_2-besparing komt restwarmte er het gunstigst uit met 77% vergeleken met 74% voor LTA en 69% voor TEO.

Voor de LTA-bron is weer gekeken of opschaling financieel en economisch interessant was. Voor een vier keer grotere wijk worden de jaarlijkse kosten 140 EUR/woning goedkoper zonder significante verandering van de CO_2-besparing (beide 74%).

[6] Een 70/40 warmtenet voor deze wijk is duurder dan een 40/25 warmtenet ondanks de lagere warmtevraag van label A woningen omdat dezelfde materialen gebruikt worden en omdat het temperatuurverschil (Delta T) in een 40/25 net kleiner is dan in een 70/40 net (zie ook Kentallen demowijk A).

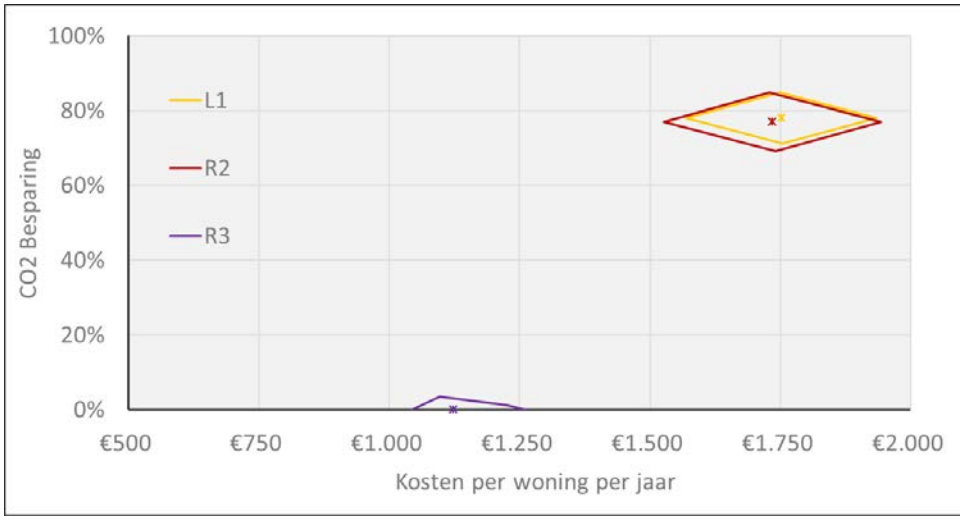
De LTA-bron is ook gecombineerd met een MTO in plaats van een HWC voor de piekvoorziening. Dit komt neer op een extra afschrijving van 80 EUR/woning/jaar en leidt tot een extra CO_2-besparing van 7%.

De 40/25 warmtenetten hebben een voorziening nodig voor tapwater. Er zijn drie methodes met elkaar vergeleken om 40ºC warmte op te waarderen tot 70ºC voor warm tapwater. Uit de doorrekening komt naar voren dat in vergelijking met een booster warmtepomp de doorstroomverwarmer 75 EUR/woning/jaar goedkoper is en dat een thermochemische materialen opslag (TCM) 70 EUR/woning/jaar duurder is. Omdat een dergelijk TCM-systeem nog niet commercieel verkrijgbaar is, is hier gebruik gemaakt van kosten-schattingen. Meer informatie over een TCM-systeem is te vinden in paragraaf 5.7. De CO_2-besparing is voor de drie verschillende methodes vergelijkbaar rond de 75%.

3.2.5 Vergelijking 20/10 warmteconcepten Wijk A

In Figuur 16 is een 20/10 warmteconcept met een TEO-bron inclusief een WKO en een collectieve bodemwater-water warmtepomp vergeleken met twee referentie concepten. De jaarlijkse kosten komen op de 1.752 EUR/woning/jaar en de CO_2-besparing bedraagt 78%. De hoge jaarlijkse kosten komen op conto van de investering in een individuele water-water warmtepomp en van het hoge elektriciteit verbruik tegen een ongunstig consumenten tarief. Qua kosten en duurzaamheid is dit 20/10 net zeer vergelijkbaar met een all-electric referentie met individuele lucht-water warmtepomp (**R2**). Bij het TEO+WKO concept kan naast warmte ook koude worden geleverd vanuit de koude leiding (circa 10°C). De analyse in dit onderzoek richt zich op warmtelevering, waardoor koudelevering niet gekwantificeerd is in de kosten. In de praktijk zal de mogelijkheid tot koeling het comfort in de woningen verhogen. Wanneer hier een waarde aan gekoppeld wordt, zal dit de kosten per woning per jaar verlagen. Met een lucht-water warmtepomp kan eventueel ook koude worden geleverd. Dit zal ten opzichte van de TEO+WKO echter meer elektriciteit kosten.

		Wamtenet	JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
L1	Isolatie A + TEO + WKO +HWC + bodemwater-water WP	20/10	1.752	78
R2	Isolatie A + lucht-water WP	-	1.735	77
R3	Zonder isolatie + CV-ketel	-	1.122	0

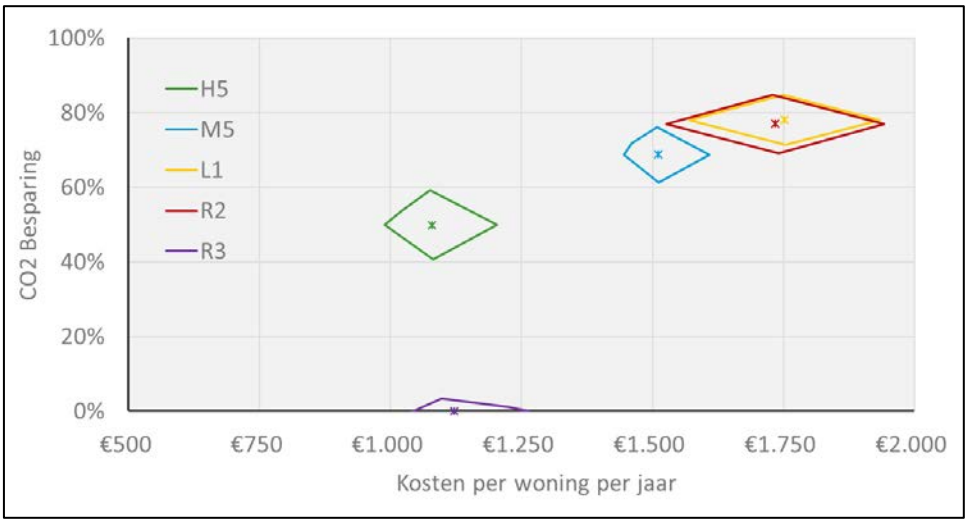


Figuur 16: Vergelijking 20/10 warmteconcept, demowijk A

3.2.6 Vergelijking TEO-warmteconcepten Wijk A

Voor de volledigheid zijn in Figuur 17 alle drie warmteconcepten met een TEO-bron getoond bij drie temperatuur regimes. Het 20/10 net levert een significant hogere CO_2-besparing tegen significant hogere kosten. Vanuit financieel oogpunt kan TEO het beste worden toegepast bij een 70/40 net, maar dit gaat wel deels ten koste van de CO_2-besparing. Ten opzichte van een gasketel scoort TEO met een 70/40 net veel beter op duurzaamheid tegen zelfs iets lagere kosten. Wanneer de elektriciteitsproductie in de toekomst verder verduurzaamt, neemt de CO_2-besparing navenant toe. Daarnaast is een deel van de CO_2 uitstoot een gevolg van inzet van een gasgestookte HWC als piekvoorziening. Deze piekvoorziening kan ook duurzaam worden ingevuld, waardoor de CO_2-besparing nog verder toeneemt.

		Warmtenet	JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
H5	Isolatie B + TEO + WKO + HWC	70/40	1.078	50
M5	Isolatie A + TEO + WKO +HWC + booster WP	40/25	1.510	69
L1	Isolatie A + TEO + WKO +HWC + booster WP	20/10	1.752	78
R2	Isolatie A + lucht-water WP	-	1.735	77
R3	Zonder isolatie + CV-ketel	-	1.122	0

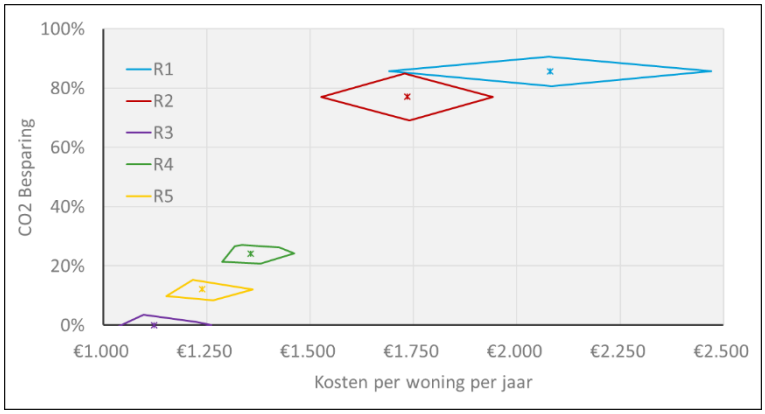


Figuur 17: Vergelijking TEO, demowijk A

3.2.7 Vergelijking referentie warmteconcepten Wijk A

Uit Figuur 18 valt af te lezen dat de individuele all-electric warmteconcepten duurder zijn dan een referentiecase met CV-ketels, maar dat ze wel een grote CO_2-besparing geven. Het concept met individuele lucht-water warmtepompen (**R2**) heeft een totale jaarlijkse kosten van 1.735 EUR/woning/jaar en een CO_2-besparing van 77%.

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
R1	Isolatie A + bodem-water warmtepomp	2.080	86
R2	Isolatie A + lucht-water warmtepomp	1.735	77
R3	Zonder isolatie + CV-ketel	1.122	0
R4	Isolatie A + CV-ketel	1.356	24
R5	Isolatie B + CV-ketel	1.239	12



Figuur 18: Vergelijken referentie warmteconcepten demowijk A

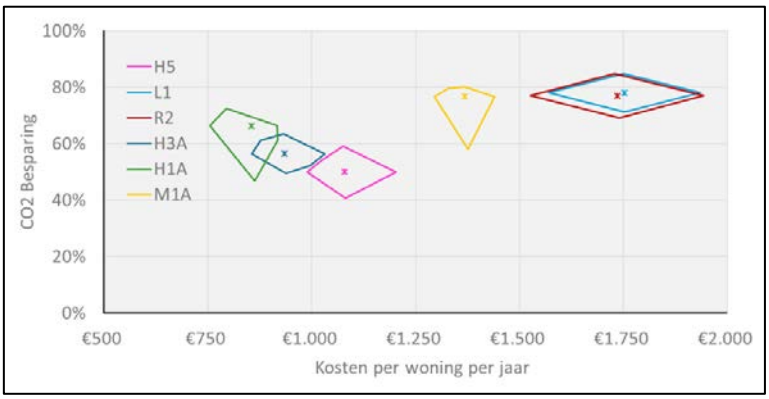
3.2.8 Vergelijking van enkele warmteconcepten Wijk A

Tabel 5 geeft een overzicht van een aantal van de doorgerekende warmteconcepten voor Wijk A.

Tabel 5: Overzicht van kentallen berekend voor warmteconcepten voor Wijk A

WIJK A			JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]	Kosten per vermeden CO2 uitstoot[7] [EUR/ton]	Integrale warmtekosten [EUR/GJ]
H5	Isolatie B + TEO + WKO + HWC	70/40	1.078	50	915	30
L1	Isolatie A + TEO + WKO + HWC + bodem WP	20/10	1.752	78	952	85
R2	Isolatie A + lucht-water warmtepomp	All-electric	1.735	77	955	66
H3A	Isolatie B + LTA (geschaald) + HWC	70/40	935	56	703	26
H1A	Isolatie B + restwarmte + HWC	70/40	855	66	546	24
M1A	Isolatie A + restwarmte + HWC+ booster WP	40/25	1.369	77	756	51

Figuur 19 vergelijkt de CO_2-besparing en kosten per jaar per woning voor een aantal warmteconcepten van wijk A.



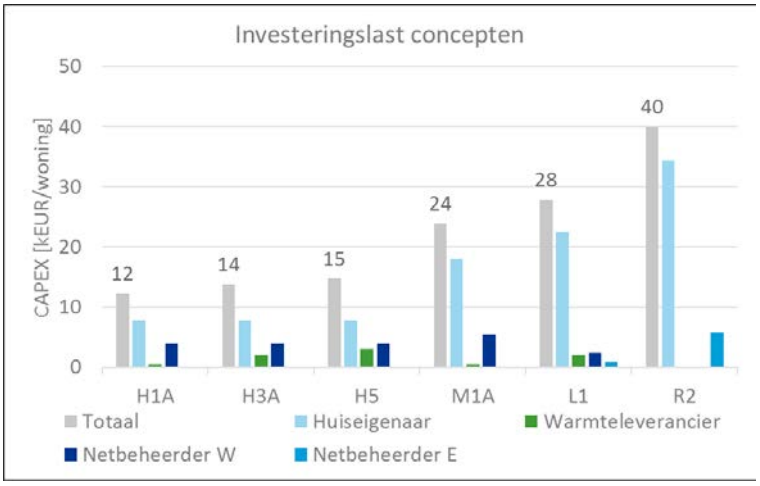
Figuur 19: Vergelijking enkele warmteconcepten demowijk A

[7] Dit zijn de totale kosten voor een concept gedeeld door totale vermeden CO_2 uitstoot van dat concept in EUR/ton vermeden CO_2

Voor wijk A wordt geconcludeerd dat de meeste collectieve warmteconcepten goedkoper zijn dan individuele oplossing met individuele lucht-water warmtepompen. De 70/40 warmtenetten zijn aanzienlijk veel goedkoper dan de 40/25 warmtenetten. De 20/10 warmtenetten zijn echter duurder en komen qua kosten en duurzaamheid overeen met individuele lucht-water warmtepompen.

Dankzij de beschikbaarheid van een restwarmte bron is een 70/40 net met restwarmte economisch de meest interessante optie voor deze wijk met tegelijk een hoge CO_2-besparing.

In Figuur 20 zijn de investeringskosten per warmteconcept getoond verdeeld over verschillende stakeholders. Alle huisaanpassingen, zoals isolatie, LT-radiatoren en voorzieningen voor tapwater, worden op het conto van de huiseigenaar geschreven.



Figuur 20: Vergelijking investeringskosten voor warmteconcepten demowijk A

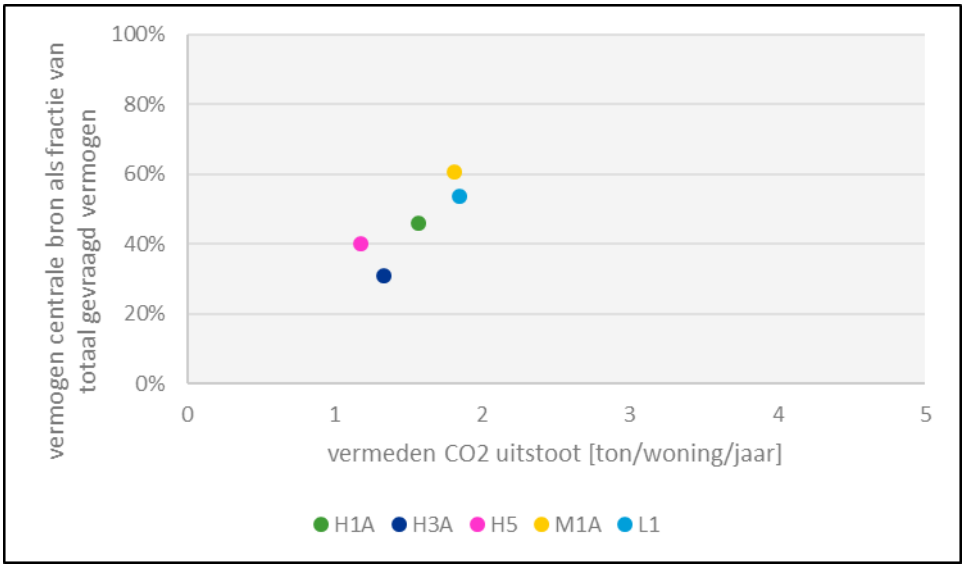
Van de collectieve concepten heeft het concept waarbij een 70/40 net aangesloten wordt op een restwarmtebron voor de basislast (**H1A**) de laagste totale investeringskosten (12 kEUR/woning). Dit komt omdat voor dit concept de investering in de centrale bronnen beperkt is. De beschikbaarheid van de restwarmtebron is een onzekerheid.

Het geschaalde LTA-concept met een 70/40 net (**H3A**) heeft totale investeringskosten van 14 kEUR/woning. De 40/25 en 20/10 netten hebben hoge investeringskosten (respectievelijk 24 en 28 kEUR/woning) vooral door de noodzakelijke huisaanpassingen (onder andere isolatiemaatregelen en aanpassen afgiftesystemen) die op conto van de huiseigenaar komen (respectievelijk 18 en 23 kEUR/woning). Het all-electric concept met individuele lucht-water warmtepompen (**R2**) heeft een hoge investeringslast (voor huiseigenaar 34 kEUR/woning en totaal 40 kEUR/woning).

De kosten voor TEO+WKO met een 70/40 net (**H5**) liggen lager dan die voor 40/25 en 20/10 oplossingen, maar hoger dan restwarmte en LTA in combinatie met een 70/40 net. Wanneer er een geschikte restwarmtebron aanwezig is, kan dit financieel interessanter zijn omdat de voor-investering beperkt is ten opzichte van TEO+WKO. Daar staat tegenover dat de leveringszekerheid bij TEO hoger ligt. Wanneer een oppervlaktewater bron aanwezig is, zal deze in de toekomst (doorgaans) ook beschikbaar zijn.

Als je naar de investering per huiseigenaar kijkt komen de 70/40 netten (met LTA, restwarmtebron of TEO) er het gunstigst vanaf dankzij de laagste kosten voor huisaanpassingen en isolatie (7,8 kEUR/woning).

Figuur 21 toont de vermeden CO_2-uitstoot per concept en het centrale, duurzame bronvermogen als fractie van het totaal gevraagde vermogen.



Figuur 21: Vermeden CO_2-uitstoot tegen vermogen centrale bron als fractie van totale warmtevraag, voor warmteconcepten demowijk A

Het 40/25 net met restwarmte (**M1A**) en het 20/10 net TEO (**L1**) hebben de hoogste vermeden CO_2-uitstoot, te weten 1,8 ton/woning/jaar. Deze is gelijk aan die van het referentieconcept met individuele lucht-water warmtepompen (**R2**). Dit komt neer op een absolute besparing van 3 kton CO_2 per jaar voor Wijk A.

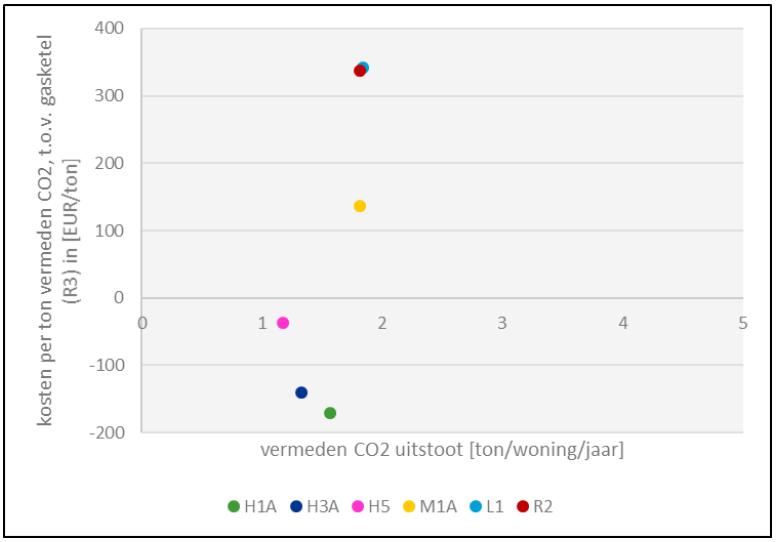
Het 70/40 net met restwarmte (**H1A**) heeft ook een redelijke vermeden CO_2-uitstoot van 1,6 ton/woning/jaar. Het 70/40 net met TEO (**H5**) heeft daarentegen een vermeden CO_2-uitstoot van slechts 1,2 ton/woning/jaar.

De vermeden CO_2-uitstoot hangt af van de verhouding tussen het bronvermogen en het totaal gevraagde vermogen. Figuur 21 toont dat als de centrale bron een groter deel van de vraag invult, de vermeden CO_2-uitstoot hoger is, omdat het aandeel van de hulpwarmtecentrale kleiner is.

Wat opvalt is dat de LTA-bron in een 70/40 warmtenet slechts 31% van het gevraagde vermogen invult (**H3A**), omdat de vraag is opgeschaald (het bronvermogen is ingezet voor een grotere wijk), maar dat de vermeden CO_2-uitstoot toch hoger is dan die van een 70/40 net met TEO (**H5**). Dit komt doordat de warmtepomp bij LTA een iets hogere COP heeft dan bij TEO.

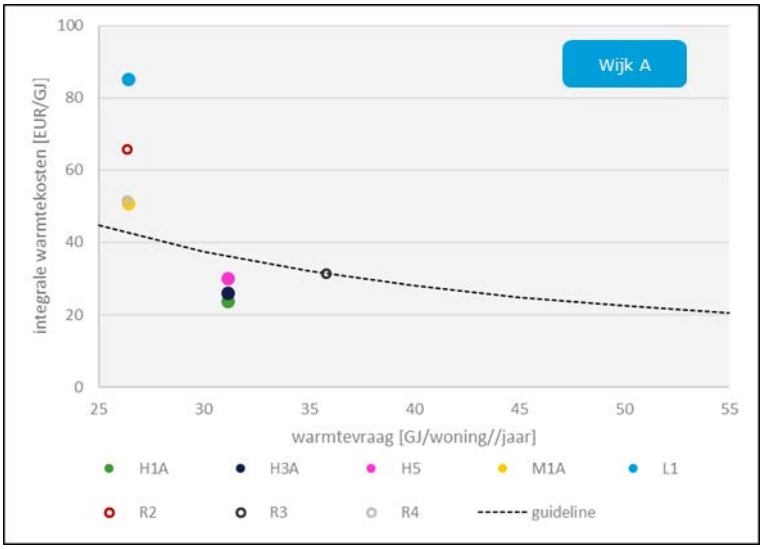
Als de TEO-bron een groter deel van het gevraagde vermogen kan invullen, neemt de CO_2-besparing uiteraard toe: vergelijk daarvoor het 70/40 net (**H5**) met het 20/10 net (**L1**) waarbij de TEO-bron respectievelijk 40% en 54% van het gevraagde vermogen invult. De vermeden CO_2-uitstoot in het 70/40 net is 1,2 ton/woning/jaar (50% besparing) terwijl dat in het 20/10 net 1,8 ton/jaar (78% besparing) is.

Er is ook gekeken naar de kosten per ton vermeden CO_2. Daarvoor zijn de jaarlijkse kosten minus de kosten voor een gasketel referentie zonder isolatie (**R3**) gedeeld door de vermeden CO_2-uitstoot per concept. Dit is geplot in Figuur 22. Wat opvalt is dat de 70/40 netten negatieve kosten hebben omdat de jaarlijkse kosten lager zijn dan die van de gasketel referentie. In geval van het 70/40 net met restwarmte (**H1A**) zijn de besparingen het grootst (-171 EUR/ton). Van de drie concepten met hoogste vermeden CO_2-uitstoot (vergelijk **M1A** met **L1** en **R2**) heeft het 40/25 net met restwarmte veruit de laagste kosten per vermeden CO_2 (136 EUR/ton).



Figuur 22: Kosten per ton vermeden CO_2 (ten opzichte van een gasketel zonder isolatie) tegen vermeden CO_2-uitstoot, voor warmteconcepten demowijk A

Figuur 23 laat de integrale warmtekosten zien in EUR/GJ uitgezet tegen de warmtevraag. Dit zijn de jaarlijkse totaal kosten [EUR/woning/jaar] gedeeld door de warmtevraag [GJ/woning/jaar]. Deze integrale warmtekosten kunnen gebruikt worden om de warmteconcepten voor één wijk onderling te vergelijken. Als 'guideline' is een lijn getrokken met dezelfde jaarlijkse kosten (EUR/woning/jaar) als de referentie case met gasketel en zonder isolatie (**R3**). Voor Wijk A is dat 1.122 EUR/woning/jaar.



Figuur 23: Integrale warmtekosten versus warmtevraag warmteconcepten demowijk A

Wat opvalt is dat de integrale warmtekosten van de warmteconcepten met een lage warmtevraag (energielabel A) boven deze drempelwaarde (zogeheten guideline) liggen, terwijl de integrale warmtekosten van de concepten met een grotere warmtevraag ten gevolge van isolatie tot energielabel B, onder die drempelwaarde liggen. Ook hieruit volgt dat de concepten met een energielabel A duurder zijn dan die met een energielabel B. Blijkbaar weegt de reductie in warmtevraag door extra isolatie tot energielabel A niet op tegen de hogere kosten voor isolatie. Dit betekent dat isolatiemaatregelen goedkoper moeten worden om de business case voor warmtenetten onder de 70ºC rendabel te maken in de bestaande bouw. In het Klimaatakkoord is inderdaad al aangenomen dat huisaanpassingen 30% goedkoper moeten worden in 2030 [1].

De 70/40 concepten hebben integrale warmtekosten in de orde van 25 EUR/GJ, ongeacht de warmtebron. Dit is vergelijkbaar met de huidige Niet Meer Dan Anders prijs (NMDA) van 28 EUR/GJ [3]. Bij de berekeningen aan de 70/40 netten zijn echter bepaalde kosten nog niet meegenomen voor bijvoorbeeld inpandige leidingen. Toch zijn deze integrale warmtekosten voor de 70/40 netten interessant omdat ze in vergelijking met de gasketel zonder isolatie in 2030 lager uitvallen. Dit toont aan dat er wel degelijk een business case is voor deze 70/40 netten. Uiteraard hangt de business case ook af van de Bijdrage Aansluit Kosten (BAK), de jaarlijkse vastrechtkosten en de integrale warmteprijs. De integrale warmteprijs is de prijs die de consument moet betalen voor afgenomen warmte, Deze is niet gelijk maar wel gerelateerd aan de Niet Meer Dan Anders Prijs [3].

3.2.9 Conclusie Wijk A

Deze studie heeft aangetoond dat onder de aannames gedaan binnen WINST lage temperatuur warmtenetten techno-economisch haalbaar zijn voor wijk A. Een 70/40 warmtenet aangesloten op een restwarmtebron komt als beste uit de test met 855 EUR per woning per jaar aan totale kosten en 66% aan CO_2-besparing.

3.3 Wijk B

3.3.1 Karakterisering en warmteconcepten Wijk B

Demowijk B bestaat uit ongeveer 450 woningen uit de jaren 50/60 waarvan ongeveer een derde deel appartementen en twee derde deel 2-onder-1-kap woningen. De woningen worden momenteel verwarmd met individuele gasketels. Het gebruikte warmtevraagprofiel is gelijk aan demowijk A waar het profiel geschaald is naar gemeten gasverbruik. Dit gasverbruik is gecorrigeerd voor de aanwezigheid van kookgas. De resterende gemiddelde warmtevraag is momenteel 45 GJ/woning/jaar waarvan aangenomen wordt dat 7,8 GJ bedoeld is voor tapwater.

In de nabijheid van de wijk zijn de volgende bronnen aanwezig: Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA) en restwarmte van de industrie (40ºC). Verder is er naar een WKO-concept gekeken waar de WKO's zomers geladen worden met behulp van dry-coolers. Er is gekeken naar warmtenetten op temperatuurniveau 's 70/40 en 40/25.

Voor alle warmteconcepten wordt gebruik gemaakt van één hulp warmtecentrale (HWC) op wijkniveau voor het piekvermogen. Deze HWC is ook opgesteld als back-up (n-1) voorziening, dat wil zeggen in geval van uitval van de primaire bronnen, kan de HWC-back up vermogen leveren.

Tabel 6 geeft een overzicht van warmteconcepten voor wijk B. Daarbij geldt dat voor de H-concepten, met aansluiting op een 70/40 net, de woningen geïsoleerd worden naar energielabel B. En voor de M-concepten met aansluiting op een 40/25 net worden de woningen geïsoleerd naar energielabel A.

Een aantal warmteconcepten wordt nader gespecificeerd in de volgende paragraaf. Een overzicht van alle kentallen voor wijk B is te vinden in Bijlage D.

Tabel 6: Overzicht van warmteconcepten voor demowijk B

Concept	Isolatie	Huis aanpassing	Net	Warmte Koude Opslag (WKO[8])	LTA [MW_{th}]	Rest warmte [MW_{th}]	Centrale WP [MW_{th}]	HWC [MW_{th}]
H1	B		70/40	ja			1,4	2
H3	B		70/40		7,3			2
H3A (6x grotere wijk)	B		70/40		7,3			2
H5	B		70/40			0,65		2
M1	A	Booster WP	40/25	ja			1,4	2
M2	A	Booster WP	40/25		2			8
M2A (6x grotere wijk)	A	Booster WP	40/25		2			8
M3	A	Booster WP	40/25			0,65		2

Deze warmteconcepten zijn vergeleken met vier referentie concepten.

[8] De WKO is gecombineerd met warmtebron. Het totaal vermogen wordt vermeld bij warmtebron

Bij concept **R1** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel A. Ze zijn voorzien van lage temperatuur radiatoren en van een bodemwater-warmtepomp.

Bij concept **R2** zijn de huizen ook geïsoleerd tot energielabel A. Ze zijn voorzien van lage temperatuur radiatoren en van een lucht-water warmtepomp.

Bij concept **R3** zijn de huizen niet geïsoleerd en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

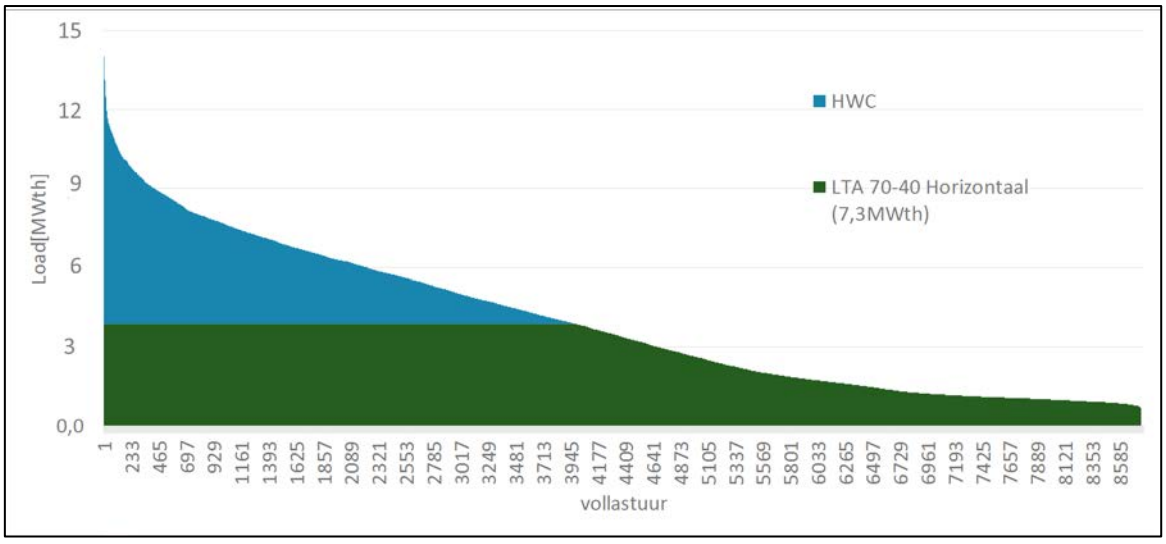
Bij concept **R4** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel A en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

Bij concept **R5** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel B en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

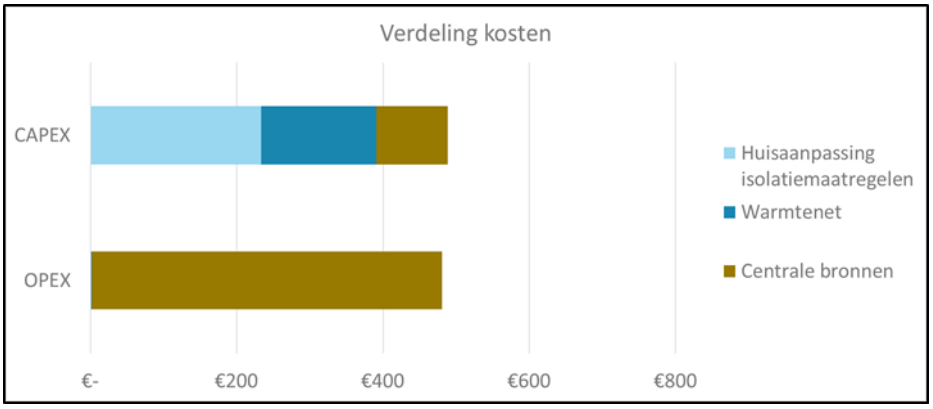
3.3.2 Toelichting enkele warmteconcepten voor Wijk B

Voor deze wijk is een warmteconcept met een 70/40 warmtenet doorgerekend waar alle warmte (piek- en basislast) gevoed wordt uit een 7,3 MW_{th} LTA-installatie (**H3**). Deze LTA-bron is echter overgedimensioneerd voor enkel deze wijk. Dit betekent dat de LTA-bron onderbenut wordt aangezien de piekvraag slechts 2 MW_{th} is. Daarom is in warmteconcept **H3A** de warmtevraag opgeschaald naar een zes keer grotere wijk, waardoor de LTA-bron als basislast ingezet kan worden op 6.216 vollasturen. Dat betekent wel dat er een HWC-ketel nodig is voor de piekbelasting. Deze HWC zorgt tevens voor (n-1) back-up.

De jaarbelastingduurkromme (gesorteerde warmtelevering) en de jaarlijkse kosten worden getoond in respectievelijk Figuur 24 en Figuur 25.



Figuur 24: Jaarbelastingduurkromme demowijk B, warmteconcept LTA voor opgeschaalde warmtevraag, met energielabel B (H3A)

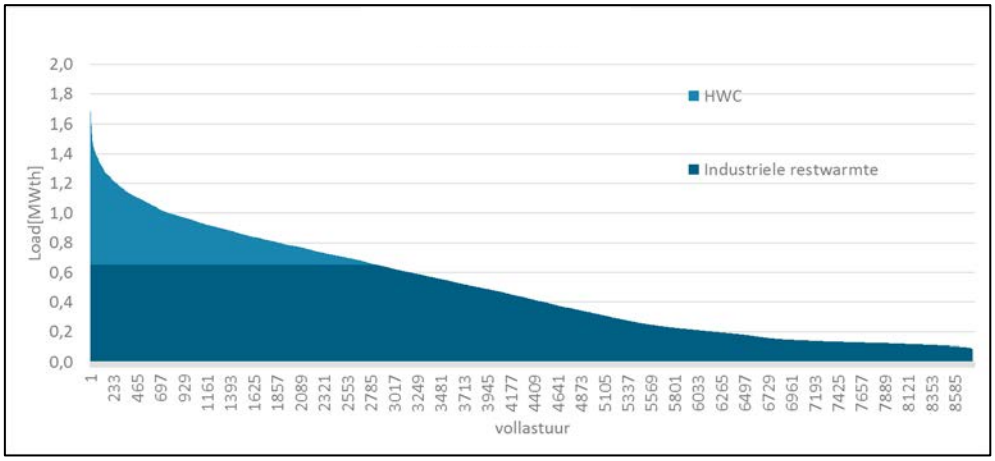


Figuur 25: **Jaarlijkse kosten warmteconcept LTA met energielabel B (H3A), demowijk B, in [EUR / woning / jaar]**

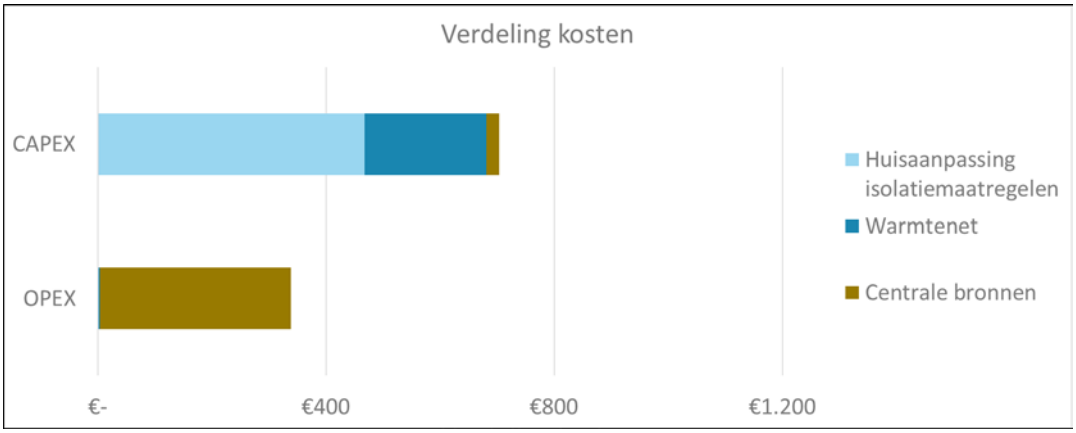
Figuur 25 toont de totale jaarlijkse kosten per woning die gelijk zijn aan 1.144 EUR per woning per jaar. De jaarlijkse operationele kosten zitten ook grotendeels in het energieverbruik van de LTA-bron. De CO_2-besparing behorende bij dit concept is 51%. Echter de LTA-bron is nu ook beschikbaar voor naburige wijken waardoor deze opschaling toch interessant is.

Daarnaast presenteren we het 40/25 warmteconcept **M3** dat is aangesloten op een industriële restwarmtebron van 40ºC voor de basislast. Alle woningen worden daarvoor geïsoleerd naar energielabel A.

De jaarbelastingduurkromme (gesorteerde warmtelevering) en de jaarlijkse kosten worden getoond in respectievelijk Figuur 26 en Figuur 27.



Figuur 26: Jaarbelastingduurkromme demowijk B, restwarmte warmteconcept met energielabel A (M3)

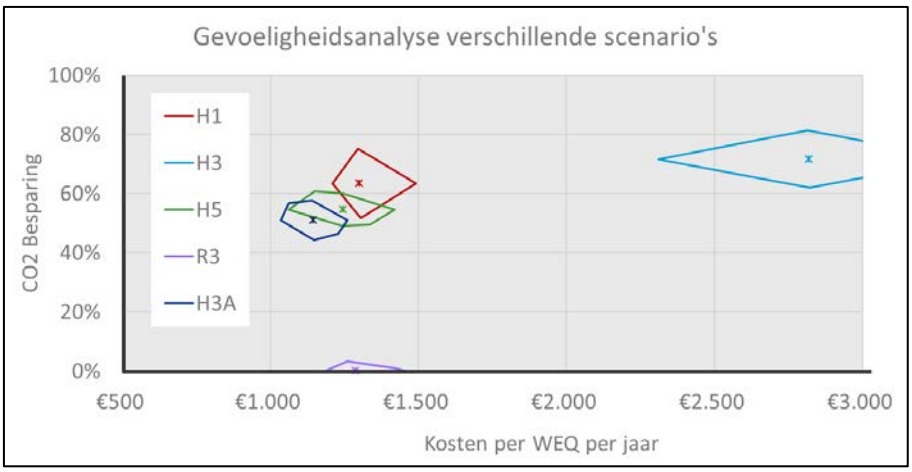


Figuur 27: Jaarlijkse kosten restwarmte warmteconcept met energielabel A (M3), in [EUR/woning/jaar]

3.3.3 Vergelijking 70/40 netten Wijk B

In Figuur 28 is een vergelijking tussen verschillende 70/40 warmteconcepten te zien waarbij is aangenomen dat de huizen geïsoleerd zijn tot energielabel B. Ter vergelijking is een referentie case opgenomen waarbij de woningen verwarmd worden met een cv-ketel en waarbij verder niet geïsoleerd is (**R3**).

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
H1	Isolatie B + WKO + centrale WP + HWC	1.300	63
H3	Isolatie B + LTA	2.819	72
H5	Isolatie B + restwarmte + HWC	1.243	55
R3	Zonder isolatie + CV-ketel	1.287	0
H3A	Isolatie B + LTA (geschaald) + HWC	1.144	51



Figuur 28: Vergelijking 70/40 warmteconcepten, demowijk B

De LTA-bron van 7,3 MW_{th} (**H3**) is overgedimensioneerd voor deze wijk. Dit leidt tot jaarlijkse kosten van 2.819 EUR/woning/jaar met een hoge CO_2-besparing van 72% omdat er geen HWC nodig is. Het lijkt wenselijk om de LTA-bron in te zetten voor een grotere wijk. Als de warmtevraag 6x zo groot wordt, wordt de LTA-bron beter benut (**H3A**). De jaarlijkse kosten worden dan 1.144 EUR/woning. De CO_2-besparing van wijk B wordt dan 51%, maar dit is zonder verrekening van de CO_2-besparing van de buurwijken, die ook gebruik kunnen maken van de LTA-bron.

Het warmteconcept met 0,65 MW_{th} restwarmte en een HWC (**H5**) heeft jaarlijkse kosten van 1.243 EUR/woning/jaar en een CO_2-besparing van 55%. Het is de vraag of deze restwarmte te gebruiken is voor deze wijk of dat andere wijken ook aanspraak maken op deze bron.

Speciaal voor deze wijk is ook gekeken naar een centrale warmtepomp met WKO en dry coolers (**H1**). Dit geeft een afschrijving van 1.300 EUR/woning/jaar en een CO_2–besparing van 63%. Het voordeel van deze optie is dat de wijk onafhankelijk is van andere wijken.

De CO_2-besparing blijft bij de 70/40 concepten beperkt tot 50-65%. De resterende CO_2-uitstoot zit zowel in gasverbruik van de HWC's als in deels fossiel opgewekte elektriciteit. Het 100% verduurzamen van de elektriciteit zou de CO_2-besparing laten oplopen tot 70%.

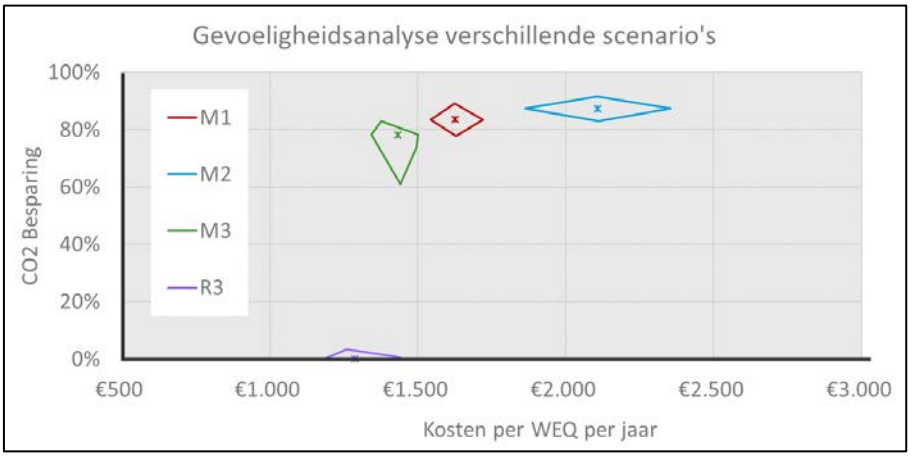
Door te isoleren naar energielabel A in plaats van energielabel B wordt de CO_2-besparing 10% beter voor gemiddeld 150 EUR/woning/jaar meer. Hiermee kan een gewogen keuze worden gemaakt tussen kosten en CO_2-besparing.

3.3.4 Vergelijking 40/25 netten Wijk B

In Figuur 29 zijn de resultaten van de verschillende 40/25 warmteconcepten te zien. Voor alle concepten geldt dat ze duurder zijn dan de referentie met een CV-ketel per woning en zonder isolatie (**R3**). Deze additionele kosten zitten in een duurder warmtenet (ten opzichte van 70/40), onrendabele isolatie naar energielabel A en de benodigde oplossing voor het opwaarderen van tapwater. Voor de verschillende bronnen geldt dat restwarmte opnieuw financieel het meest gunstig is (**M3**: 1.434 EUR/woning/jaar) gevolgd door het WKO-concept met centrale WP (**M1**: 1.626 EUR/woning/jaar). De LTA-bron is wederom overgedimensioneerd (**M2**).

Het concept met WKO heeft een iets betere CO_2-besparing dan het concept met restwarmte. Het LTA-concept geeft de hoogste CO_2-besparing, doordat geen HWC nodig is, maar wanneer de bron geschaald wordt naar een grotere wijk, verandert deze besparing.

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
M1	Isolatie A + WKO + centrale WP + HWC	1.626	83
M2	Isolatie B + LTA (overgedimensioneerd)	2.108	87
M3	Isolatie B + restwarmte + HWC	1.434	78
R3	Zonder isolatie + CV-ketel	1.287	0

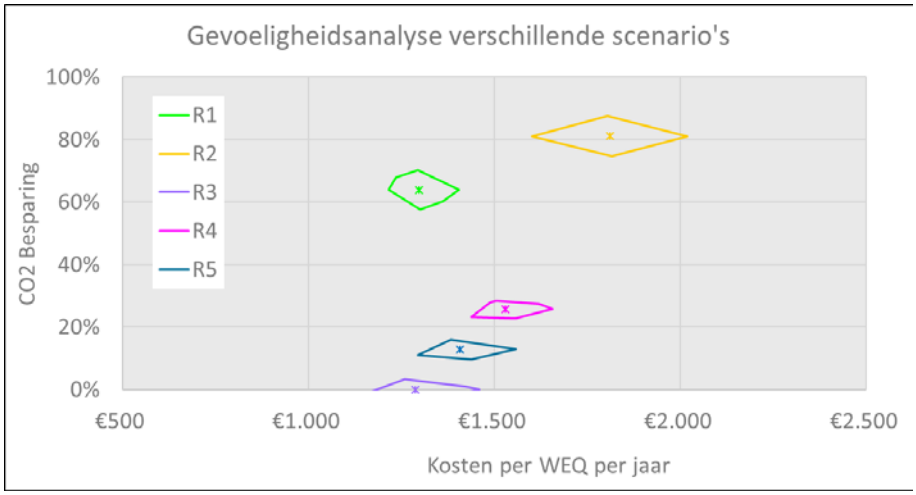


Figuur 29: Vergelijking 40/25 warmteconcepten, demowijk B

3.3.5 Vergelijking referentie warmteconcepten Wijk B

Figuur 30 toont dat de individuele all-electric warmteconcepten duurder zijn dan een referentiecase met CV-ketels, maar dat ze wel een grote CO_2-besparing geven. De individuele warmtepompen worden benadeeld door hoge elektriciteitsbelasting voor consumenten en door de noodzaak tot extra netverzwaring.

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
R1	Isolatie A + lucht-water WP	1.296	64
R2	Isolatie A + bodem-water WP	1.810	81
R3	Zonder isolatie + CV-ketel	1.287	0
R4	Isolatie A + CV-ketel	1.529	26
R5	Isolatie B + CV-ketel	1.408	13



Figuur 30: Vergelijking referentie warmteconcepten, demowijk B

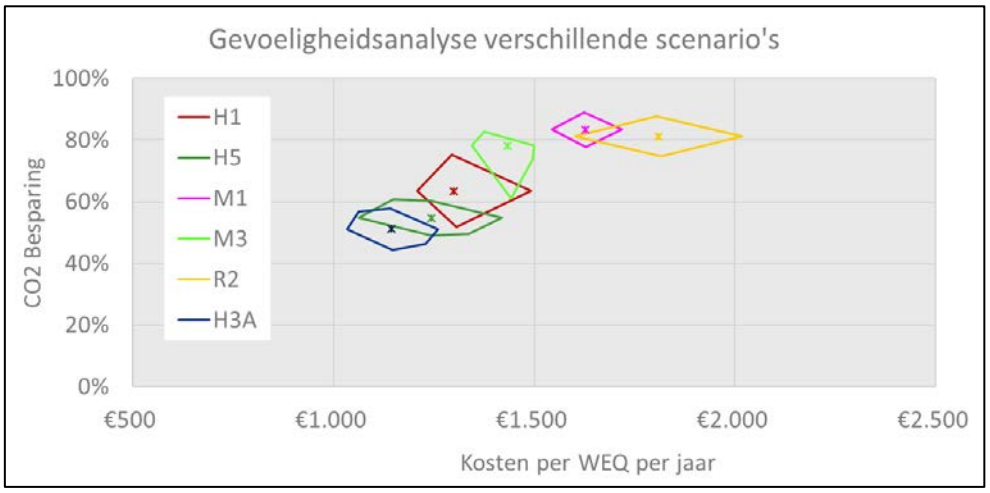
3.3.6 Vergelijking van enkele warmteconcepten Wijk B

Tabel 7 geeft een overzicht van enkele doorgerekende warmteconcepten voor Wijk B.

Tabel 7: Overzicht van kentallen berekend voor warmteconcepten voor Wijk B

	WIJK B		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]	Kosten per vermeden CO2 uitstoot[9] [EUR/ton]	Integrale warmtekosten [EUR/GJ]
H1	Isolatie B + WKO + centrale WP + HWC	70/40	1.300	63	705	28
H5	Isolatie B + restwarmte + HWC	70/40	1.243	55	796	27
M1	Isolatie A + WKO + centrale WP + HWC	40/25	1.626	83	740	49
M3	Isolatie A + restwarmte + HWC	40/25	1.434	78	725	45
R2	Isolatie A + lucht- water warmtepomp	All-electric	1.810	81	768	56
H3A	Isolatie B + LTA (geschaald) + HWC	70/40	1.144	51	761	24

Figuur 31 vergelijkt de CO_2-besparing en kosten per jaar per woning voor een aantal warmteconcepten van wijk B.



Figuur 31: Vergelijking warmteconcepten, demowijk B

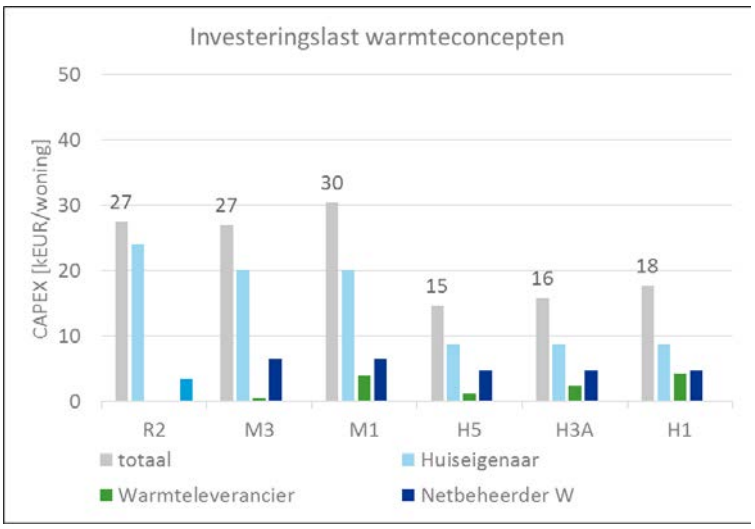
Voor wijk B wordt geconcludeerd dat de meeste collectieve warmteconcepten goedkoper zijn dan individuele oplossingen met individuele lucht-water warmtepompen. De 70/40 warmtenetten zijn goedkoper dan de 40/25 warmtenetten, maar de 40/25 netten hebben een hogere CO_2-besparing.

Een 70/40 warmtenet aangesloten op een LTA-bron voor basislast komt als goedkoopste uit de test met 1.144 EUR per woning per jaar aan kosten en 51% aan CO_2-besparing. Als de restwarmte bron beschikbaar is voor deze wijk dan is een 70/40 net met restwarmte economisch ook een interessante optie met CO_2-besparing van 55%.

[9] Dit zijn de totale kosten voor een concept gedeeld door totale vermeden CO_2 uitstoot van dat concept in EUR/ton vermeden CO_2

Uit Figuur 31 blijkt dat het niet alleen in absolute zin steeds meer geld gaat kosten om meer CO_2 te besparen, maar dat bij toenemende reducties ook relatief meer betaald moet worden per kg CO_2-reductie.

In Figuur 32 zijn de investeringskosten getoond verdeeld over de stakeholders voor verschillende warmteconcepten. Alle huisaanpassingen, zoals isolatie, LT-radiatoren en voorzieningen voor tapwater, zijn op het conto van de huiseigenaar geschreven.



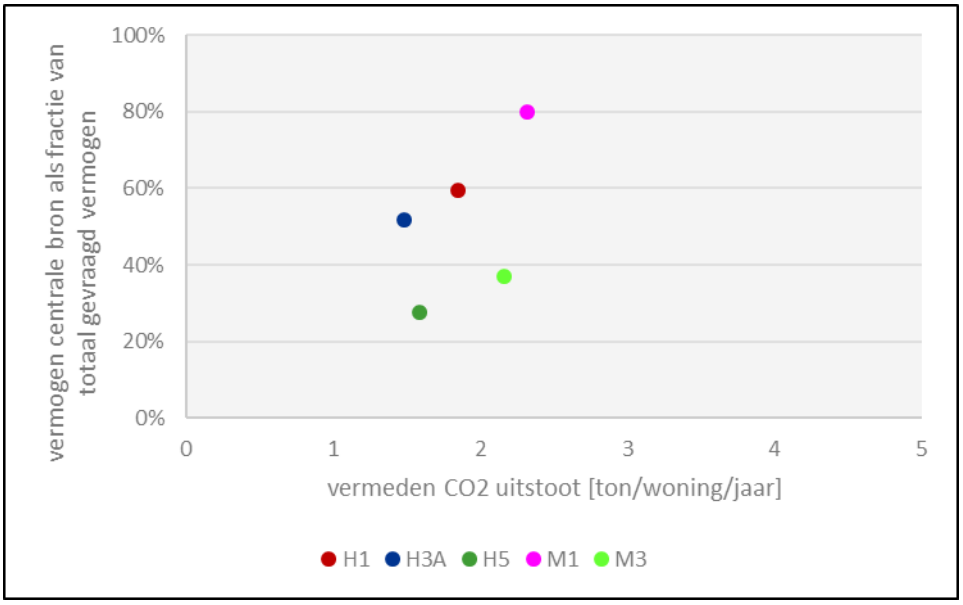
Figuur 32: Vergelijking investeringskosten voor warmteconcepten demowijk B

Van de collectieve concepten heeft het concept waarbij een 70/40 net aangesloten wordt op een restwarmtebron voor de basislast (**H5**) de laagste totale investeringskosten (15 kEUR/woning). Dit komt omdat voor dit concept de investering in de centrale bronnen beperkt is. De beschikbaarheid van de restwarmtebron is natuurlijk een onzekerheid.

Het geschaalde LTA-concept met een 70/40 net (**H3A**) heeft totale investeringskosten van 16 kEUR/woning. De 40/25 netten met restwarmte en met een collectieve warmtepomp hebben hoge investeringskosten, respectievelijk 27 en 30 kEUR/woning, vooral door de noodzakelijke huisaanpassingen die op conto van de huiseigenaar komen (voor beide 20 kEUR/woning). Het all-electric concept met individuele lucht-water warmtepompen zit qua investering in dezelfde grootte orde (totaal 27 kEUR/woning waarvan 24 kEUR/woning voor de huiseigenaar).

Als je naar de investering per bewoner kijkt komen de 70/40 netten er het gunstigst vanaf dankzij de laagste kosten voor huisaanpassingen en isolatie (8,7 kEUR/woning).

Figuur 33 toont de vermeden CO_2-uitstoot per concept en het centrale bronvermogen als fractie van het totaal gevraagde vermogen.



Figuur 33: Vermeden CO_2-uitstoot tegen vermogen centrale bron als fractie van totale warmtevraag, voor warmteconcepten demowijk B

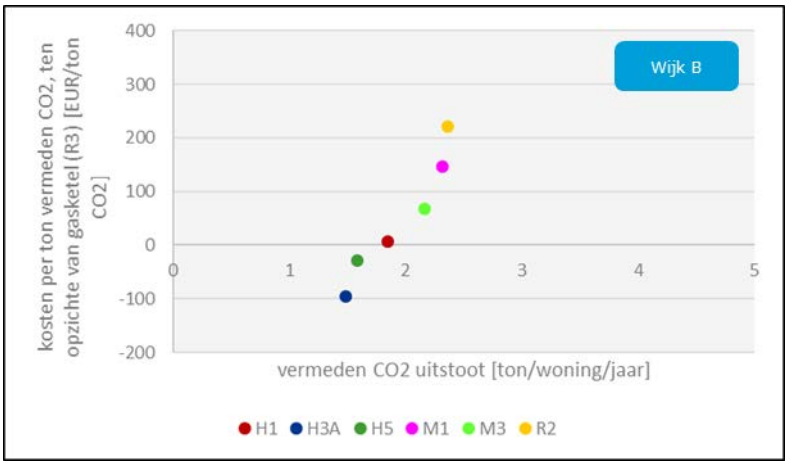
De 40/25 netten met een centrale warmtepomp en dry-coolers (**M1**) en met restwarmte (**M3**) hebben de hoogste vermeden CO_2-uitstoot, te weten 2,3 ton/woning/jaar. Deze is gelijk aan die van het referentieconcept met individuele lucht-water warmtepompen (**R2**). Dit komt neer op een absolute besparing van 1 kton CO_2 per jaar voor Wijk B.

De vermeden CO_2-uitstoot hangt af van de verhouding tussen het bronvermogen en het totaal gevraagde vermogen. Figuur 33 toont dat als de centrale bron een groter deel van de vraag invult, de vermeden CO_2-uitstoot hoger is, omdat het aandeel van de hulpwarmtecentrale kleiner is. Bij de warmteconcepten met een centrale warmtepomp en dry coolers voorziet de centrale bron voor 60% van de totale warmtevraag voor het 70/40 concept, en dit resulteert in 1,8 ton/woning/jaar aan vermeden CO_2-uitstoot (**H1**). Voor het 40/25 concept is dat zelfs 80% van de totale warmtevraag resulterend in 2,3 ton/woning/jaar voor het 40/25 concept (**M1**). De verhouding van de warmtebron versus de warmtevraag is dus goed ontworpen voor deze wijkgrootte, wat resulteert in een hoge vermeden CO_2-uitstoot vergeleken met de andere 70/40 dan wel 40/25 concepten

De LTA-bron in het 70/40 net (**H3A**) voorziet voor 52% in het ingevuld vermogen omdat dit concept een opgeschaalde warmtevraag heeft (zes keer de oorspronkelijke wijk). Dit geeft een vermeden CO_2-uitstoot van 1,5 ton/woning/jaar. Als de bron enkel voor Wijk B zou worden gebruikt (**H3**) zou het bronvermogen drie keer groter zijn dan de werkelijke warmtevraag, en is de vermeden CO_2-besparing 2,1 ton/woning/jaar.

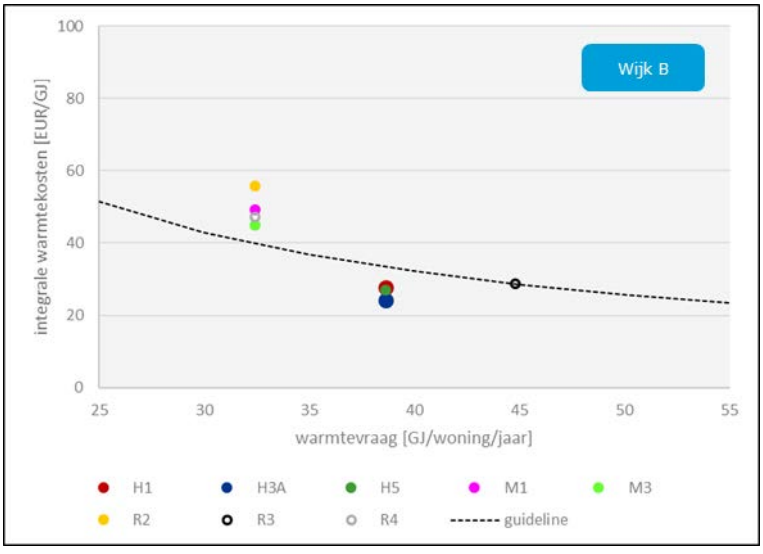
Figuur 34 laat de kosten per ton vermeden CO_2 zien versus de vermeden CO_2-uitstoot per woning voor warmteconcepten van wijk B. Daarvoor zijn de jaarlijkse kosten minus de kosten voor een gasketel referentie zonder isolatie (**R3**) gedeeld door de vermeden CO_2-uitstoot per concept. Wat opvalt is dat sommige 70/40 netten negatieve kosten hebben omdat de jaarlijkse kosten lager zijn dan die van de gasketel referentie. In geval van het 70/40 net met LTA (**H3A**) zijn de besparingen het hoogst (-97 EUR/ton vermeden CO_2).

Hoewel het 40/25 concept met een centrale warmtepomp (**M1**) en het referentieconcept met lucht-water warmtepompen (**R2**) vergelijkbare vermeden CO_2-uitstoot hebben (ca 2,4 ton/woning/jaar) zijn de kosten voor het 40/25 net beduidend lager (339 versus 523 EUR/ton vermeden CO_2).



Figuur 34: Vermeden CO_2-uitstoot tegen kosten per ton vermeden CO_2 voor warmteconcepten demowijk B

Figuur 35 laat de integrale warmtekosten zien in EUR/GJ. Dit zijn de jaarlijkse totaal kosten [EUR/woning/jaar] gedeeld door de warmtevraag [GJ/woning/jaar]. Deze integrale warmtekosten kunnen gebruikt worden om de warmteconcepten voor één wijk onderling te vergelijken. Als 'guideline' is een lijn getrokken met dezelfde jaarlijkse kosten (EUR/woning/jaar) als de referentie case met gasketel en zonder isolatie (**R3**). Voor Wijk B is dat 1.287 EUR/woning/jaar.



Figuur 35: Integrale warmtekosten versus warmtevraag warmteconcepten demowijk B

Wat opvalt is dat de integrale warmtekosten van de warmteconcepten met een lage warmtevraag (energielabel A) boven de drempelwaarde (zogeheten guideline) liggen, terwijl de integrale warmtekosten van de concepten met een grotere warmtevraag onder die drempelwaarde liggen. Ook hieruit volgt dat de concepten met een energielabel A duurder zijn dan die met een energielabel B.

Blijkbaar weegt de warmtevraag reductie door extra isolatie tot energielabel A niet op tegen de hogere kosten voor isolatie. Dit betekent dat isolatiemaatregelen goedkoper moeten worden om de business case voor warmtenetten onder de 70ºC rendabel te maken in de bestaande bouw. In het Klimaatakkoord is inderdaad al aangenomen dat huisaanpassingen 30% goedkoper moeten worden in 2030 [1].

De 70/40 concepten hebben integrale warmtekosten in de orde van 25 EUR/GJ, ongeacht de warmtebron. Dit is vergelijkbaar met de huidige Niet Meer Dan Anders prijs (NMDA) van 28 EUR/GJ [3]. Bij de berekeningen aan de 70/40 netten zijn echter bepaalde kosten nog niet meegenomen voor bijvoorbeeld inpandige leidingen. Toch zijn deze integrale warmtekosten voor de 70/40 netten interessant omdat ze in vergelijking met de gasketel zonder isolatie in 2030 lager uitvallen. Dit toont aan dat er wel degelijk een business case is voor deze 70/40 netten. Uiteraard hangt de business case ook af van de Bijdrage Aansluit Kosten (BAK), de jaarlijkse vastrechtkosten en de integrale warmteprijs. De integrale warmteprijs is de prijs die de consument moet betalen voor afgenomen warmte. Deze is niet gelijk maar wel gerelateerd aan de Niet Meer Dan Anders Prijs [3].

3.3.7 Conclusie Wijk B

Deze studie heeft aangetoond dat onder de aannames gedaan binnen WINST lage temperatuur warmtenetten techno-economisch haalbaar zijn voor wijk B. Een 70/40 warmtenet aangesloten op een LTA-bron voor basislast komt als goedkoopste uit de test met 1.144 EUR per woning per jaar aan totale kosten en 51% aan CO_2-besparing. Met 40/25 netten zijn wel een hogere CO_2-besparingen mogelijk van boven de 80%.

3.4 Wijk C

3.4.1 Karakterisering en warmteconcepten Wijk C

Demowijk C bestaat uit ongeveer 2.400 woningen waarvan een groot deel bestaat uit grote 2-onder-1 kap woningen uit de jaren 30. Verder zijn er wat appartementen en rijtjeshuizen te vinden. Het huidige isolatieniveau ligt gemiddeld rond energielabel F/G en de gemiddelde warmtevraag is 66 GJ/woning/jaar waarvan aangenomen wordt dat 7,8 GJ benodigd is voor tapwater.

In de nabijheid van deze wijk is gekeken naar de potentie van de volgende bronnen: Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA), geothermie, zeewatercentrale, Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO), Thermische Energie uit Afvalwater (TEA), Thermische Energie uit Drinkwater (TED), zonthermie, Midden Temperatuur Opslag in de bodem (MTO) en cascadering van een bestaand warmtenet. Voor LTA, zeewatercentrale en MTO geldt dat de potentie nabij de wijk niet hoog genoeg was voor een zinvolle doorrekening. De overige technieken zijn wel doorgerekend.

Voor GEO is een doublet van 7 MW_{th} ingeschat met een onttrekkingstemperatuur van 75ºC waardoor er geen collectieve warmtepomp nodig is.

Voor cascadering is aangenomen dat de wijk via een 2,5 km lange transportleiding wordt aangesloten op het retournet van een geothermiebron. Voor de temperatuur van deze retourleiding is 55ºC aangenomen dus is een collectieve warmtepomp nodig om de temperatuur op te waarderen naar 70ºC. Voor het vermogen van deze bron wordt 5,7 MW_{th} aangenomen. De warmteprijs voor deze GEO-restwarmte wordt gesteld op 3 EUR/GJ.

Er zijn drie aquathermie opties beschouwd. Een 5 MW_{th} TEA-bron (thermische energie uit gezuiverd afvalwater (effluent)) bij een rioolwaterzuiveringscentrale. Een 2,6 MW_{th} TEO-bron en een 2,3 MW_{th} TED-bron (Thermische energie uit drinkwater) uit een rioolwaterleiding. Voor alle drie de aquathermie systemen wordt het overschot aan warmte in de zomer opgeslagen in een WKO. In de winter wordt warmte gehaald uit de WKO. Deze warmte wordt met een centrale warmtepomp opgehoogd tot 70 ºC. In de doorrekening is gekeken naar een combinatie van de grote TEA-bron als basislast en de kleinere TEO-bron als middenlast. Op basis van techno-economische kentallen zijn de TEO-bron en de TED-bron uitwisselbaar. Er is voor deze haalbaarheidsstudie aangenomen dat de bronnen het hele jaar door beschikbaar zijn.

Voor zonthermie is uitgegaan van een systeem met een dag-nacht buffer en een warmtepomp om de warmte van 50ºC op te hogen naar 70ºC. Het systeem heeft 4 MW_{th} piekvermogen.

Voor alle warmteconcepten wordt gebruik gemaakt van één hulp warmtecentrale (HWC) op wijkniveau voor het piekvermogen. Deze HWC is ook opgesteld als back-up (n-1) voorziening, dat wil zeggen in geval van uitval van de primaire bronnen, kan de HWC-back up vermogen leveren. Het is een overweging waard om in plaats van één HWC een aantal kleinere deel centrales te verspreiden over de wijk.

Verder is voor deze wijk niet alleen gekeken naar de reguliere 70/40 en 40/25 concepten maar ook naar een 3-pijps 70/40/25 oplossing. Voor extra flexibiliteit is er verder gekeken naar een 70/40 variant welke met de tijd doorgroeit naar een 40/25 variant. Voordeel van dit concept is dat het bewoners de ruimte geeft om het tijdstip van isoleren te plannen.

Enkele concepten worden nader gespecificeerd in de volgende paragraaf. Een overzicht van alle kentallen voor wijk C is te vinden in Bijlage E.

Tabel 8 geeft een overzicht van warmteconcepten voor wijk C. Daarbij geldt dat voor de H-concepten, met aansluiting op een 70/40 net, de woningen geïsoleerd worden naar energielabel B. En voor de M-concepten met aansluiting op een 40/25 net worden de woningen geïsoleerd naar energielabel A.

Enkele concepten worden nader gespecificeerd in de volgende paragraaf. Een overzicht van alle kentallen voor wijk C is te vinden in Bijlage E.

Tabel 8: Overzicht van warmteconcepten voor demowijk C

Concept	Isolatie	Huis aanpassing	net	Warmte Koude Opslag (WKO[10])	GEO [MW_{th}]	TEO [MW_{th}]	TEA [MW_{th}]	GEO retour [MW_{th}]	HWC [MW_{th}]
H1	B		70/40		7				16
H2	B		70/40	ja		2,6	5		13,5
H3	B		70/40					5,7	16
M1	A	Doorstroom verwarmer en LT radiator	40/25	ja		2,6	5		11,5
E1	50%: A 50%: B	Label A woningen hebben LT radiator en naverwarmer	70/40/25			2,6	5		16

[10] De WKO is gecombineerd met warmtebron. Het totaal vermogen wordt vermeld bij warmtebron

E2	50%: A 50%: B	Label A woningen hebben LT radiator en naverwarmer	70/40/25		10,5[11]				16

Deze warmteconcepten zijn vergeleken met vier referentie concepten.

Bij concept **R1** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel B. In deze all-electric variant worden de huizen verwarmd met individuele CO_2-warmtepompen. De woningen zijn voorzien van lage temperatuur radiatoren.

Bij concept **R2** zijn de huizen ook geïsoleerd tot energielabel A. Ze zijn voorzien van lage temperatuur radiatoren en van een individuele bodem-water warmtepomp.

Bij concept **R3** zijn de huizen ook geïsoleerd tot energielabel A. Ze zijn voorzien van lage temperatuur radiatoren en van een individuele lucht-water warmtepomp.

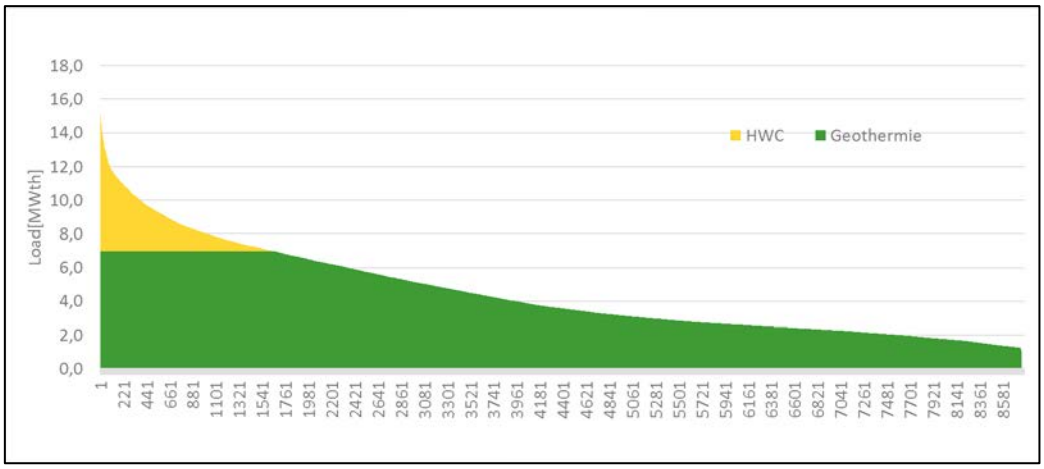
Bij concept **R4** zijn de huizen geïsoleerd tot energielabel B en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

Bij concept **R6** zijn de huizen niet geïsoleerd en worden ze verwarmd met een CV-ketel.

3.4.2 Toelichting enkele warmteconcept voor Wijk C

Warmteconcept **H1** wordt gekenmerkt door een 70/40 warmtenet waar een 7 MW_{th} GEO-doublet als basislast wordt ingezet. Omdat de onttrekkingstemperatuur 75ºC is, is er geen collectieve warmtepomp nodig is. Alle woningen worden verder geïsoleerd naar energielabel B.

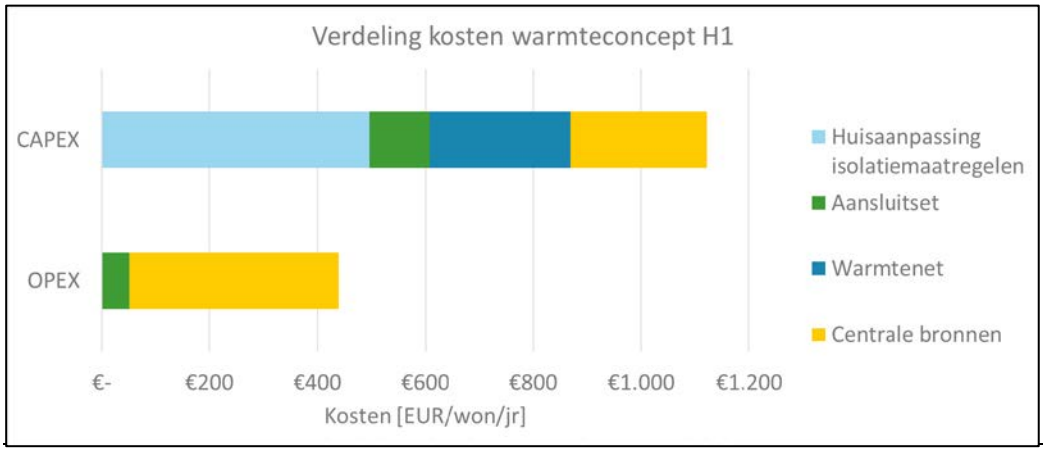
In Figuur 36 is de gesorteerde warmtelevering over het jaar te zien. Hieruit valt op te maken dat de GEO-bron ongeveer de helft van de piekvraag opbrengt. Het restant van de piekvraag wordt geleverd door een 16 MW_{th} HWC. Het totaal aantal vollasturen voor de GEO bron is met 5.000 uur ook redelijk. Opschaling naar een grotere wijk lijkt niet per se noodzakelijk voor wijk C.



Figuur 36: Jaarbelastingduurkromme demowijk C, warmteconcept GEO voor basis en HWC voor piek (H1)

[11] Het 3-pijps concept wordt beschreven in de volgende paragraaf. De GEO-bron heeft een vermogen van 7 MWth, maar doordat label A huizen verwarmd worden met water uit de 40ºC leiding wordt de GEO-bron extra gekoeld tot 25ºC. Hierdoor neemt het vermogen van de GEO-bron effectief toe.

Figuur 37 toont de totale jaarlijkse kosten per woning voor dit GEO-concept welke gelijk is aan 1.561 EUR per woning per jaar.



Figuur 37: **Jaarlijkse kosten demowijk C, warmteconcept GEO voor basis en HWC voor piek (H1), in [EUR/woning/jaar]**

Wat opvalt is dat het grootste deel van de kosten zit in vaste afschrijvingskosten voor isolatie, het warmtenet en de GEO-bron. De jaarlijkse operationele kosten zitten grotendeels in het elektriciteitsverbruik van de GEO-bron. De OPEX voor de aansluitset betreft het onderhoud van de aansluitset per woning door een monteur. De CO_2-besparing behorende bij dit concept is 87%. De resterende CO_2-uitstoot bestaat volledig uit fossiel opgewekte elektriciteit.

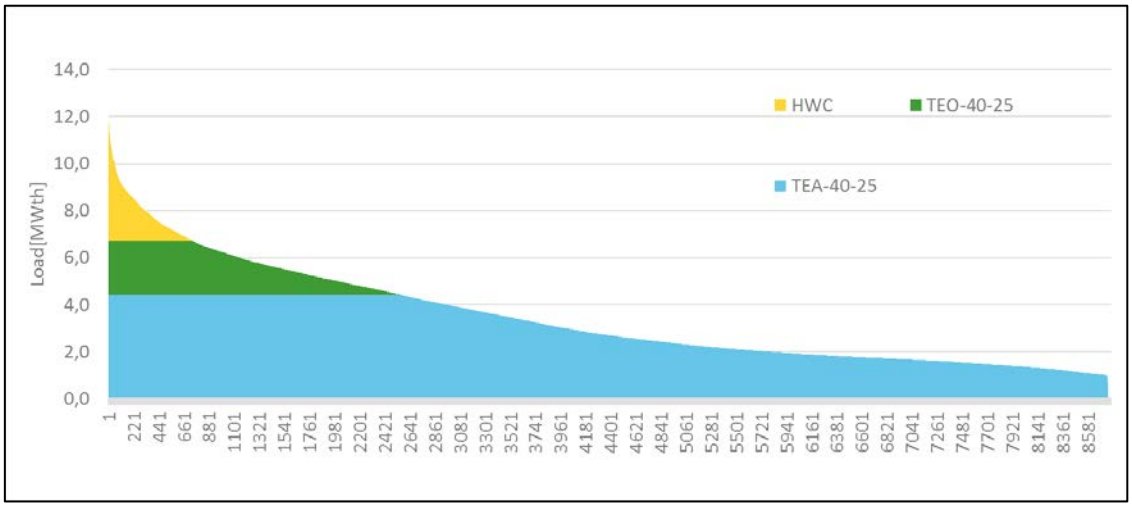
Voor het GEO-concept zijn een paar gevoeligheden doorgerekend:

- Als de HWC in het GEO-concept vervangen wordt door een (centrale) elektrische boiler leidt dat tot een 2% extra CO_2 besparing tegen significant hogere kosten (300 EUR/woning/jaar).
- Als de GEO-bron ingezet wordt voor een twee keer zo grote wijk nemen de jaarlijks kosten met 40 EUR/woning af, maar de CO_2 besparing neemt tegelijkertijd ook met 19% af. Dit komt omdat de HWC vaker ingezet moet worden. De verminderde CO_2 besparing kan deels gecompenseerd worden door een extra TEO-bron als middenlast. Het voordeel van deze oplossing is dat hierdoor meer GEO-warmte beschikbaar is voor meer wijken.
- Als aangenomen wordt dat de woningen tot energielabel A geïsoleerd worden nemen de jaarlijks kosten met 170 EUR/woning toe, tegen een extra CO_2 besparing van 5%. Het is dus de vraag of extra isoleren loont als de kosten niet opwegen tegen de reductie in warmtevraag. In deze studie is isoleren tot energielabel A wel een ‘enabler’ om een 40/25 net mogelijk te maken.
- Het extra uitkoelen van de GEO put is een aanbeveling. De geothermische bron kan verder uitgekoeld worden met een warmtepomp en hierdoor kan extra warmte van 70°C aan het warmtenet geleverd worden. Dit geeft een extra vermogen van 3,5 MW_{th} doordat de GEO-put beter benut wordt (verder wordt uitgekoeld). Dit leidt tot een toename in jaarlijkse kosten van 40 EUR/woning en een extra CO_2-besparing van 6%.

Warmteconcept **M1** wordt gekenmerkt door een 40/25 warmtenet waar een 5MW_{th} TEA-bron als basislast wordt ingezet in combinatie met een 2,6 MW_{th} TEO-bron. Omdat de onttrekkingstemperatuur relatief laag is, zijn er collectieve warmtepompen nodig voor warmte vanuit de TEA, TEO en WKO-

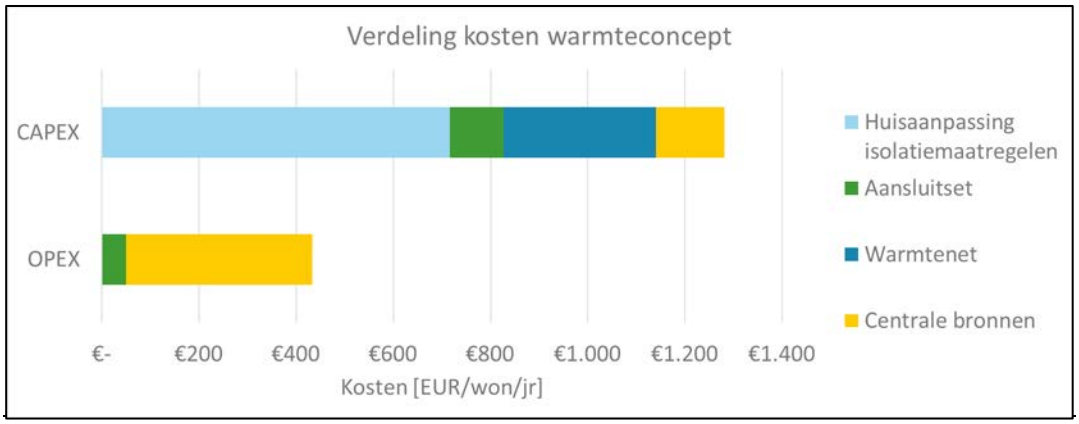
bronnen. Om de huizen geschikt te maken voor een 40/25 net worden alle woningen geïsoleerd naar energielabel A. Daarnaast zijn LT-radiatoren nodig en een doorstroom verwarmer voor het tapwater.

In Figuur 38 is de gesorteerde warmtelevering over het jaar te zien. Hieruit valt op te maken dat de TEA-bron 5.800 vollasturen heeft en de TEO 1.500. Het restant van de piekvraag wordt geleverd door een 11,5 MW_{th} HWC. Doordat TEO in deze variant als middellast draait, is de inzet daarvan relatief beperkt. Wanneer alleen TEA toegepast wordt, daalt de inzet van duurzame bronnen. Naar verwachting zullen hiermee zowel de kosten als de CO_2-reductie dalen. Deze variant is niet onderzocht in deze studie.



Figuur 38: Jaarbelastingduurkromme demowijk C, warmteconcept met 40/25 net en TEA voor basis en TEO voor middenlast (M1).

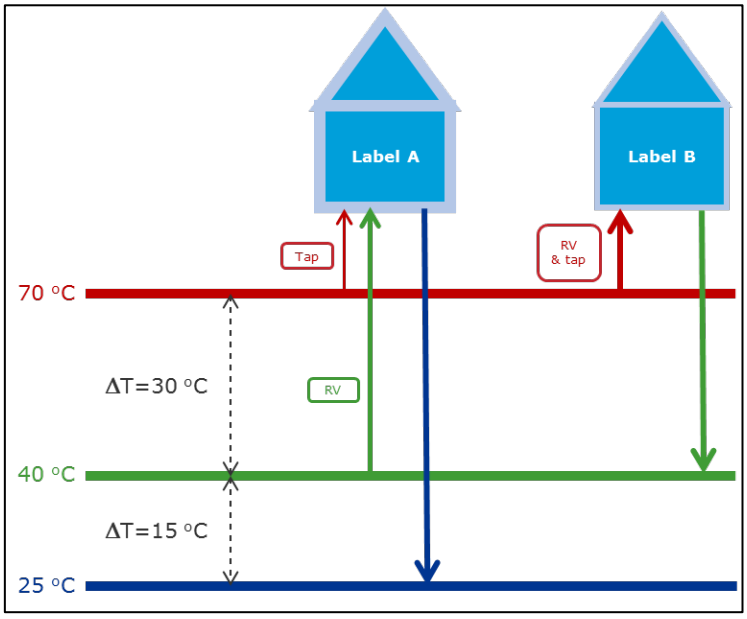
Figuur 39 toont de totale jaarlijkse kosten per woning voor dit 40/25 concept welke gelijk is aan 2.000 EUR per woning per jaar.



Figuur 39: Jaarlijkse kosten demowijk C, warmteconcept met 40/25 net en TEA voor basis en TEO voor middenlast (M1), in [EUR/woning/jaar]

Wat opvalt is dat het grootste deel van de kosten zit in vaste afschrijvingskosten voor isolatie en de huisaanpassingen om de woning geschikt te maken voor verwarming op 40ºC. De jaarlijkse operationele kosten zitten grotendeels in het elektriciteitsverbruik van de TEA/TEO-bron met centrale warmtepomp. De CO_2-besparing behorende bij dit concept is 82%. De resterende CO_2-uitstoot bestaat volledig uit fossiel opgewekte elektriciteit.

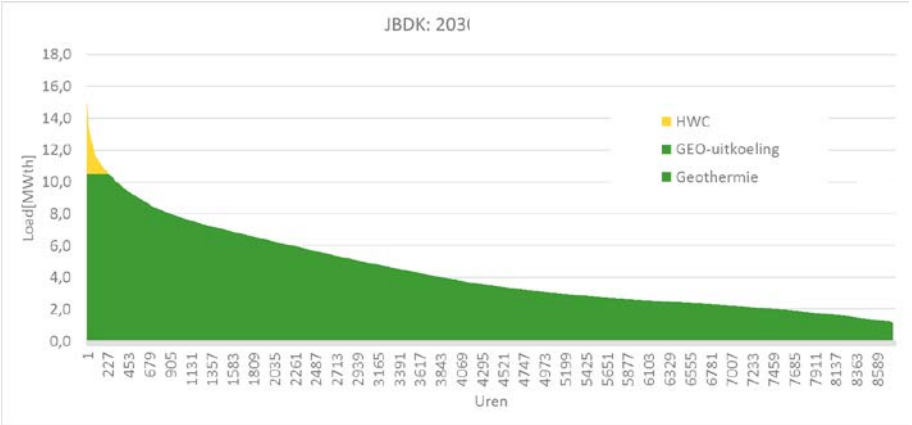
In het 3-pijpsconcept **E2** (70/40/25) bestaat het netwerk uit drie leidingen: een aanvoerleiding van 70ºC, een leiding van 40ºC en een retourleiding van 25ºC, zoals schematisch weergegeven in Figuur 40.



Figuur 40: Schematische weergave van 3-pijps variant. De bronnen worden in deze figuur niet weergegeven

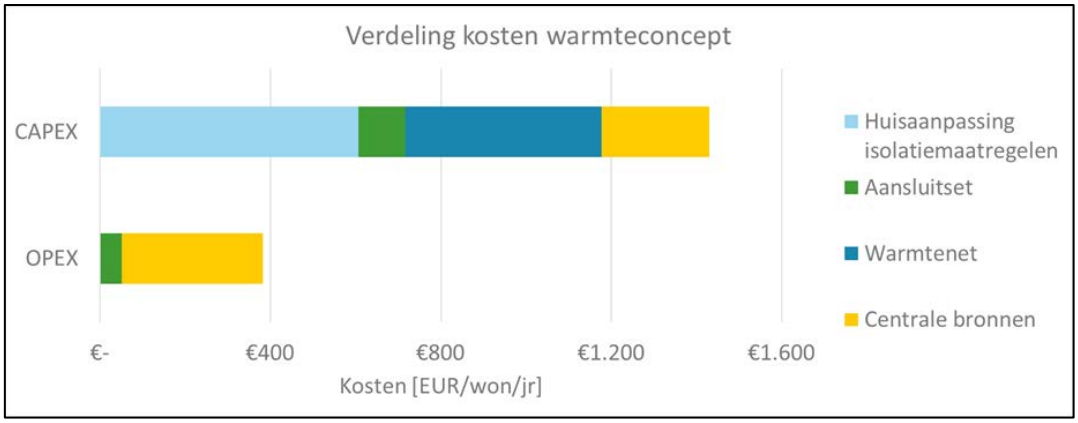
Alle woningen tappen tapwater af van de 70ºC leiding. 50% van de woningen hebben energielabel B en nemen ruimtewarmte af van de 70ºC leiding. Hun retour warmte gaat naar de 40ºC leiding. De overige 50% van de woningen hebben energielabel A en nemen ruimtewarmte af van de 40ºC leiding. Hun retour gaat naar de 25ºC leiding. Een voordeel van dit 3-pijps concept is dat energielabel A woningen geen extra voorziening nodig hebben voor tapwater omdat zij tapwater kunnen afnemen van de 70ºC leiding. In Figuur 41 is de gesorteerde warmtelevering over het jaar te zien.

Als bron is gekozen voor een GEO-doublet. Deze warmtebron is voor wijk C gunstiger dan een TEA/TEO-bron omdat de GEO-put geen centrale warmtepomp nodig heeft om in te voeden op het 70ºC net. Door gebruik te maken van warmte uit de 40ºC leiding voor ruimteverwarming van de energielabel A woningen wordt de GEO-bron extra uitgekoeld tot 25ºC. Het aantal vollasturen voor de GEO-bron is 5.000 uur. Voor extra uitkoeling is het aantal vollasturen nog eens 700 uur.



Figuur 41: Jaarbelastingduurkromme demowijk C, warmteconcept 3-pijpsvariant met GEO-bron (E2).

Figuur 42 toont de totale jaarlijkse kosten per woning voor dit 3-pijps concept welke gelijk is aan EUR 1.813 per woning per jaar. Uiteraard neemt het 3-pijps warmtenet een groot deel van de kosten. Wat opvalt is dat de CO_2-besparing behorende bij dit concept 94% is.

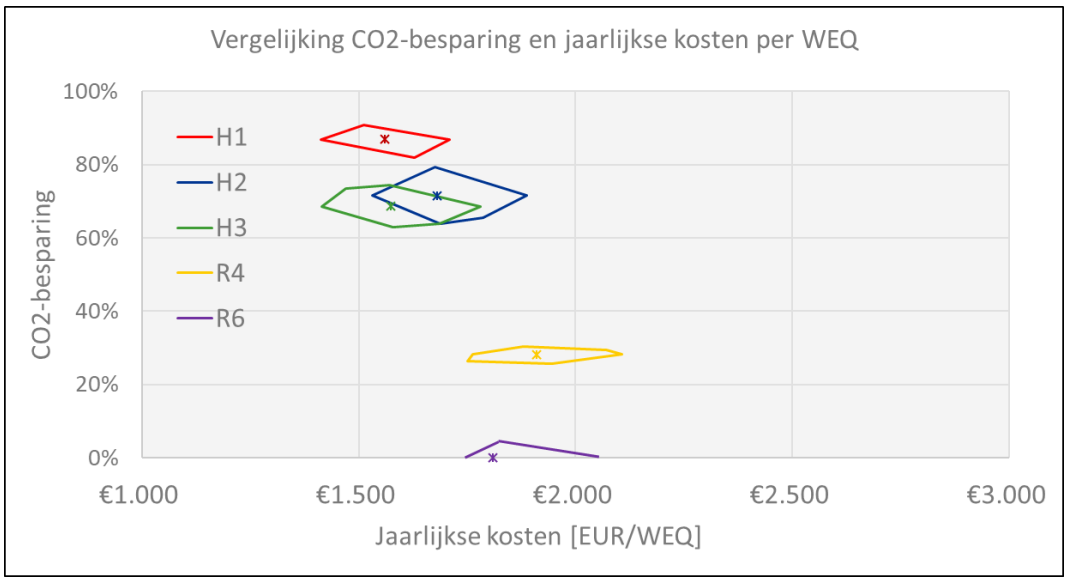


Figuur 42: Jaarlijkse kosten demowijk C, warmteconcept 3-pijpsvariant met GEO-bron (E2), in [EUR / woning / jaar]

3.4.3 Vergelijking 70/40 netten Wijk C

In Figuur 43 is een vergelijking tussen verschillende 70/40 warmteconcepten te zien waarbij is aangenomen dat de huizen geïsoleerd zijn tot energielabel B. Ter vergelijking is een referentie case opgenomen waarbij de woningen verwarmd worden met een CV-ketel en waarbij geïsoleerd is tot energielabel B (**R4**).

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR / WEQ / jr]	CO_2-besparing [%]
H1	Isolatie B + GEO + HWC	1.561	87
H2	Isolatie B + TEA + TEO + HWC	1.681	72
H3	Isolatie B + GEO retour-aansluiting + HWC	1.575	69
R4	Isolatie B + CV-ketel	1.911	28
R6	Zonder isolatie + CV-ketel	1.809	0



Figuur 43: Vergelijking 70/40 warmteconcepten voor demowijk C

Wat opvalt is dat alle 70/40 warmtenet concepten gunstiger zijn dan het referentie scenario (**R4**: energielabel B, individuele CV-ketels). Dit referentiescenario komt wel slecht uit de studie omdat is aangenomen dat de woningen naar energielabel B geïsoleerd moeten worden, wat mogelijk niet nodig is voor verwarming op basis van individuele CV-ketels. Daarnaast is de gasprijs in 2030 hoger dan nu.

Qua prijs liggen alle 70/40 warmtenet concepten dicht bij elkaar liggen. Het verschil tussen de duurste (**H2**: TEA (basis)/TEO (midden)) en de goedkoopste oplossing (**H1**: GEO) is nog geen 100 EUR/woning/jaar, wat eigenlijk binnen de onzekerheidsmarge valt.

Het warmteconcept met GEO is zowel financieel als qua duurzaamheid gunstig omdat GEO geen centrale warmtepomp nodig heeft en alle andere bronnen wel om de warmte op te waarderen naar 70ºC. Als de GEO-bron extra wordt uitgekoeld met een warmtepomp, kan de CO_2-besparing met 6% toenemen tegen 40 EUR/jaar/woning extra kosten. De kleinere TEO/TEA-bronnen hebben als voordeel een kleinere voor-investering en lagere risico's.

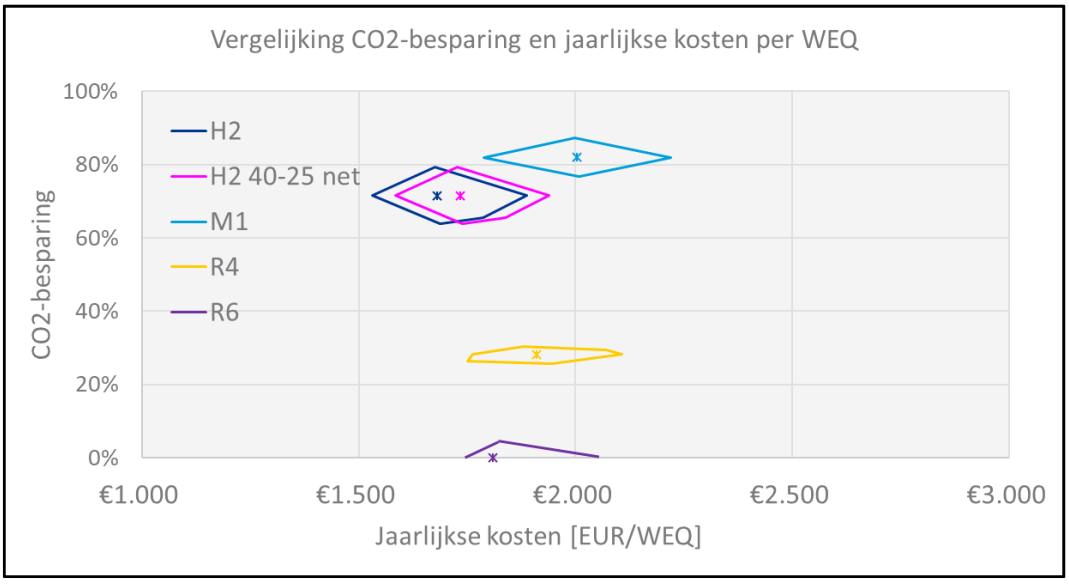
Als variatie op de TEO-bron als middenlast is gekeken naar een klein zonthermie systeem met enkel een dag-nacht buffer. Omdat dit TEA/zonthermie systeem veel minder energie oplevert is het financieel iets gunstiger dan de TEA/TEO-variant. De jaarlijkse kosten zijn 1.639 EUR/woning/jaar met een CO_2-besparing van 65%.

Aansluiten op de retourleiding van een GEO-bron (**H3**) komt financieel in de buurt van het GEO-concept (**H1**), maar qua duurzaamheid is deze variant minder gunstig vanwege de noodzaak tot een centrale warmtepomp.

3.4.4 Vergelijking 40/25 net Wijk C

In Figuur 44 is een 40/25 warmteconcept te zien met TEA en TEO als basis/middenlast waarbij is aangenomen dat de huizen geïsoleerd zijn tot energielabel A. Ter vergelijking is het 70/40 wamteconcept opgenomen met TEA en TEO en een referentie case opgenomen waarbij de woningen verwarmd worden met een CV-ketel en waarbij geïsoleerd is tot energielabel B (**R4**). Tot slot is een doorgroei net opgenomen (**H2 40/25 net**).

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
H2	Isolatie B + TEA + TEO + HWC	1.681	72
H2 (40/25 net)	Isolatie B + TEA + TEO + HWC	1.734	72
M1	Isolatie A + TEA + TEO + HWC	2.004	82
R4	Isolatie B + CV-ketel	1.911	28
R6	Zonder isolatie + CV-ketel	1.809	0



Figuur 44: Vergelijking 40/25 warmteconcepten voor demowijk C

Het 40/25 warmtenet met TEA en TEO als basis/middenlast heeft jaarlijkse kosten van 2.004 EUR/woning/jaar en is daarmee duurder dan de 70/40 netten. Dit heeft verschillende oorzaken. Zo is het leidingnet van een 40/25 net duurder vanwege het kleinere temperatuurverschil tussen de aanvoer- en retourleiding (ook wel aangeduid met delta T). Daarnaast is de grote warmtevraag van wijk C geschikter voor een 70/40 net. En tot slot zijn de huisaanpassingen voor de woningen in wijk C relatief duur vanwege hun grootte en ouderdom. Dit 40/25 net heeft wel een hoge CO_2-besparing van 82%.

Als flexibele variant is gekeken naar een doorgroei net. Er wordt een net neergelegd dat qua dimensies geschikt is voor de warmtevraag van een 40/25 regime. In eerste instantie wordt het net geopereerd op 70/40 totdat op enig moment in tijd de woningen aangepast zijn om in hun warmtevraag te voorzien door middel van een 40/25 net. Dit betekent dat de woningen al vroegtijdig aangesloten kunnen worden, zonder dure huisaanpassingen. Als in de loop der tijd de woningen alsnog voorzien zijn van energielabel A, LT-radiatoren en een doorstroomverwarmer, kan het systeem eenvoudig gaan opereren op het lagere temperatuursregime.

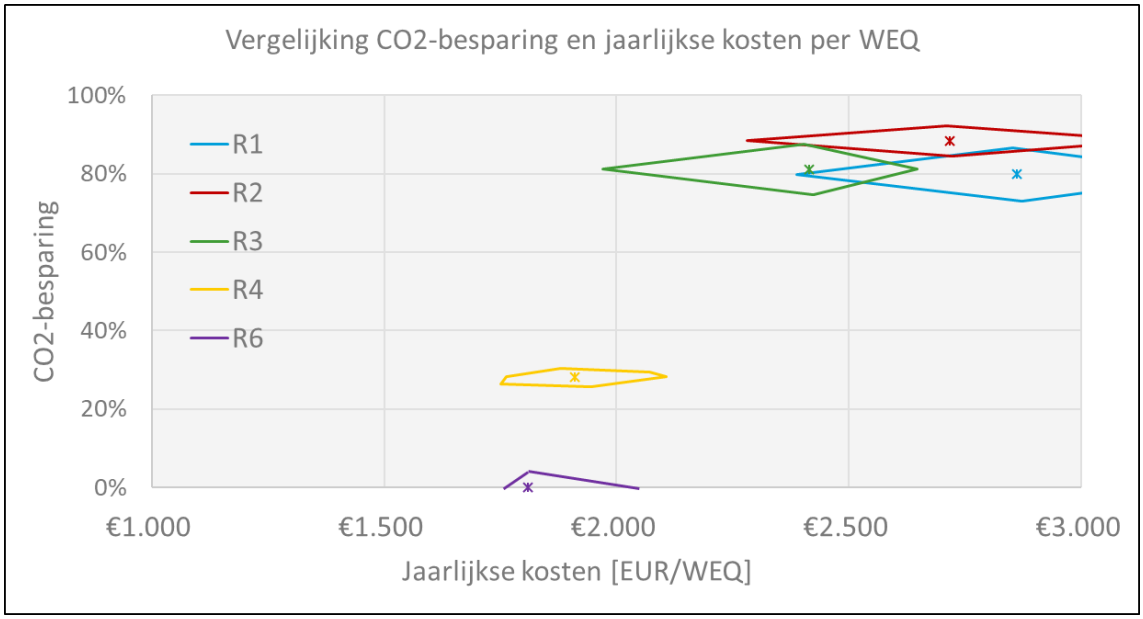
Bij aanvang zullen de jaarlijkse kosten 50 EUR/woning hoger zijn omdat een 40/25 net duurder is vanwege de kleinere delta T. Deze kosten geven de wijk de flexibiliteit om door te groeien naar een 40/25 net (**M1**).

3.4.5 Vergelijking referentie concepten Wijk C

Figuur 45 laat zien dat de all-electric cases duurder zijn dan de referentie met CV-ketel, maar dat ze wel een hogere CO_2-besparing hebben. De all-electric variant met een individuele lucht-water warmtepomp is het goedkoopst (**R3**). De variant met een bodem-water warmtepomp is 300 EUR per woning per jaar duurder en levert 7% extra CO_2-besparing op

Isolatie naar A met een lucht-/water-WP is goedkoper (in EUR/WEQ/jr) dan isolatie naar B met een CO_2-WP. De extra investering in een CO_2-warmtepomp weegt niet op tegen de besparing in extra kosten voor isolatie naar energielabel A.

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
R1	Isolatie B + CO_2 WP	2.862	80
R2	Isolatie A + bodem- /water-warmtepomp	2.716	88
R3	Isolatie A + lucht- /water-warmtepomp	2.414	81
R4	Isolatie B + CV-ketel	1.911	28
R6	Zonder isolatie + CV-ketel	1.809	0

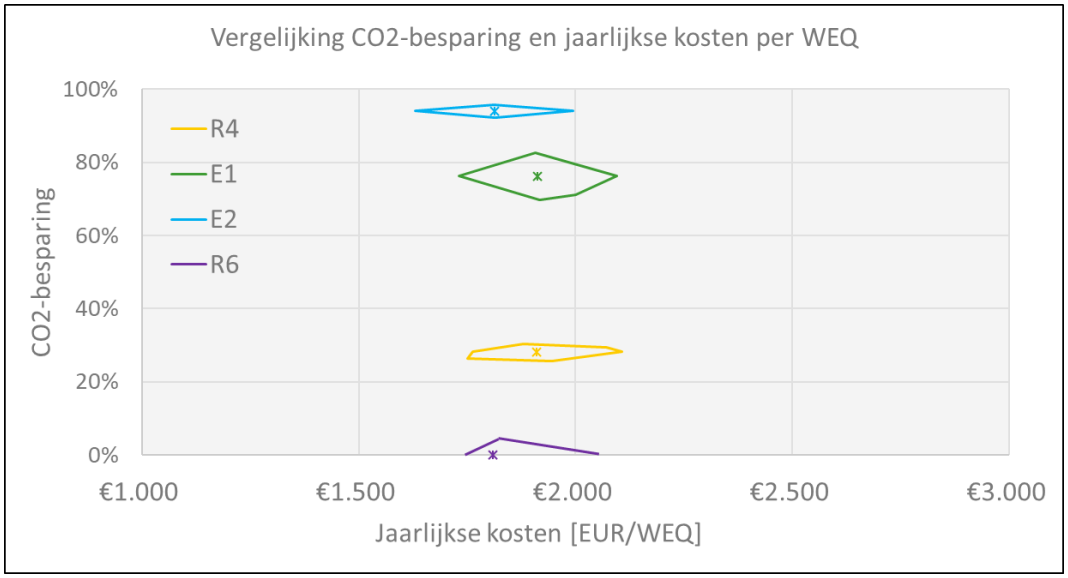


Figuur 45: Vergelijking referentie concepten voor demowijk C

3.4.6 Vergelijking 3-pijps variant Wijk C

Figuur 46 laat de CO_2-besparing en kosten voor de 3-pijps concepten zien.

		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]
R4	Isolatie B + CV-ketel	1.911	28
E1	3-pijps concept: 50% isolatie A + 50% isolatie B + TEA/TEO (70/40/25)	1.913	76
E2	3-pijps concept: 50% isolatie A + 50% isolatie B + GEO met extra uitkoeling (70/40/25)	1.813	94
R6	Zonder isolatie + CV-ketel	1.809	0



Figuur 46: Vergelijking resultaten demowijk C, 3-pijps warmteconcepten

Het 3-pijps concept met een GEO-bron (**E2**) heeft een hoge CO_2-besparing van 94%. De jaarlijkse kosten bedragen 1.813 EUR/woning/jaar. Als we dit vergelijken met het 70/40 net met dezelfde GEO-bron kunnen we tegen 250 EUR/woning/jaar extra een extra CO_2-besparing van 7% behalen (dat komt overeen met een extra 0,3 ton/woning/jaar). Let wel, als we dit 70/40/25 concept vergelijken met een 70/40 concept waarbij de GEO-bron extra wordt uitgekoeld kunnen we ook een extra CO_2-besparing van 6% realiseren tegen 40 EUR/woning/jaar extra kosten.

Als het aantal energielabel B woningen meer dan 50% is, kan dat opgevangen worden met een extra HWC. Als 100% van de woningen energielabel B hebben neemt de CO_2 besparing met 9% af en de jaarlijkse kosten per woning nemen 200 EUR/woning toe. Bij meer dan 50% energielabel A woningen is dat geen probleem voor dit concept. Mogelijk worden dan energielabel A-woningen verwarmd met warmte uit de 70ºC leiding.

Een 3-pijps concept met een TEA/TEO-bron is 100 EUR/woning per jaar duurder en heeft een lagere CO_2 besparing van 76%. Dit komt voornamelijk omdat een 3-pijps concept met TEA/TEO een centrale warmtepomp nodig heeft om warmte van de TEA/TEO-installaties op te waarderen naar 40ºC of 70ºC. Het 3-pijps concept met de lokale GEO-bron heeft in dit specifieke geval geen centrale warmtepomp nodig.

Het 3-pijps concept met de GEO-bron is een aantrekkelijke oplossing voor wijk C. Maar het brengt wel extra organisatorische en technische complexiteit met zich mee. Een interessant vraagstuk is of er een prijsverschil kan worden gerekend tussen warmte van 70ºC en van 40ºC?

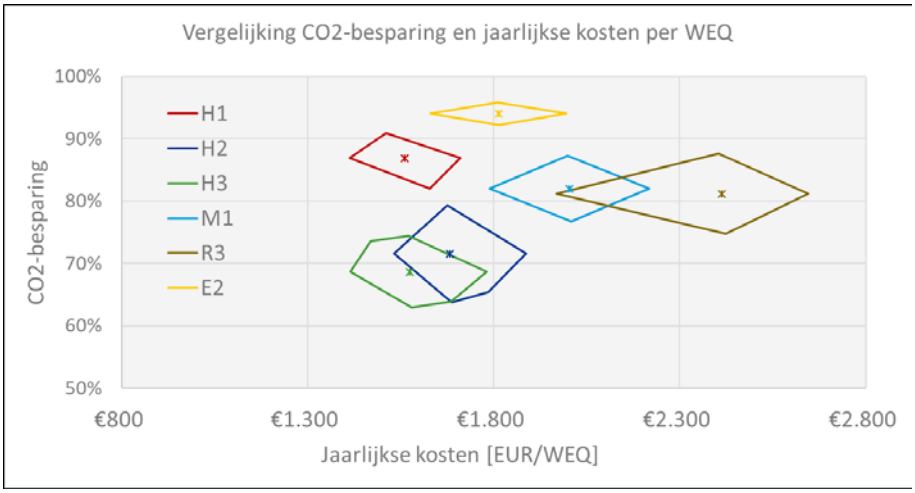
3.4.7 Vergelijking van enkele warmteconcepten Wijk C

Tabel 9 geeft een overzicht van de doorgerekende warmteconcepten voor Wijk C.

Tabel 9: Overzicht van kentallen berekend voor warmteconcepten voor Wijk C

	WIJK C		JAARLIJKSE KOSTEN PER WONING [EUR/WEQ/jr]	CO_2-besparing [%]	Kosten per vermeden CO2 uitstoot [EUR/ton] [12]	Integrale warmtekosten [EUR/GJ]
H1	Isolatie B + GEO + HWC	70/40	1.561	87	388	24
H2	Isolatie B + TEA + TEO + HWC	70/40	1.681	72	508	26
H3	Isolatie B + GEO retour-aansluiting + HWC	70/40	1.575	69	496	25
M1	Isolatie A + TEA + TEO + HWC	40/25	2.004	82	528	36
R3	Isolatie A + lucht-/water-warmtepomp	All-electric	2.414	81	642	44
E2	50% label A + 50% label B + GEO (3-pijps)	70/40/25	1.813	94	417	31

Figuur 47 vergelijkt de CO_2-besparing en kosten per jaar per woning voor een aantal warmteconcepten van wijk C.

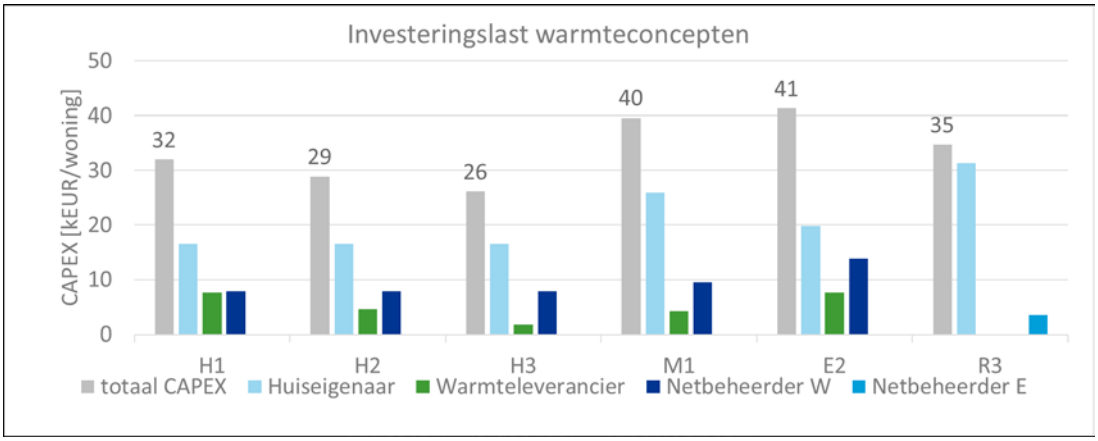


Figuur 47: Vergelijking resultaten warmteconcepten demowijk C

Voor wijk C wordt geconcludeerd dat collectieve warmteconcepten goedkoper zijn dan individuele oplossingen. Dankzij de beschikbaarheid van een GEO-bron met 75ºC onttrekkingstemperatuur is een 70/40 net zowel economisch als qua duurzaamheid de meest interessante optie. Deze GEO-bron zou ook nog verder uitgekoeld kunnen worden, waardoor we voor 40 EUR/woning/jaar meer een extra CO_2-besparing van 6% kunnen realiseren. Een 3-pijps variant met deze GEO-bron levert tegen 250 EUR extra kosten per woning per jaar een extra CO_2-besparing op van 7%.

In Figuur 48 zijn de investeringskosten getoond verdeeld over de stakeholders voor verschillende warmteconcepten. Alle huisaanpassingen, zoals isolatie, LT-radiatoren en voorzieningen voor tapwater, zijn op het conto van de huiseigenaar geschreven.

[12] Dit zijn de totale kosten voor een concept gedeeld door totale vermeden CO_2 uitstoot van dat concept in EUR/ton vermeden CO_2



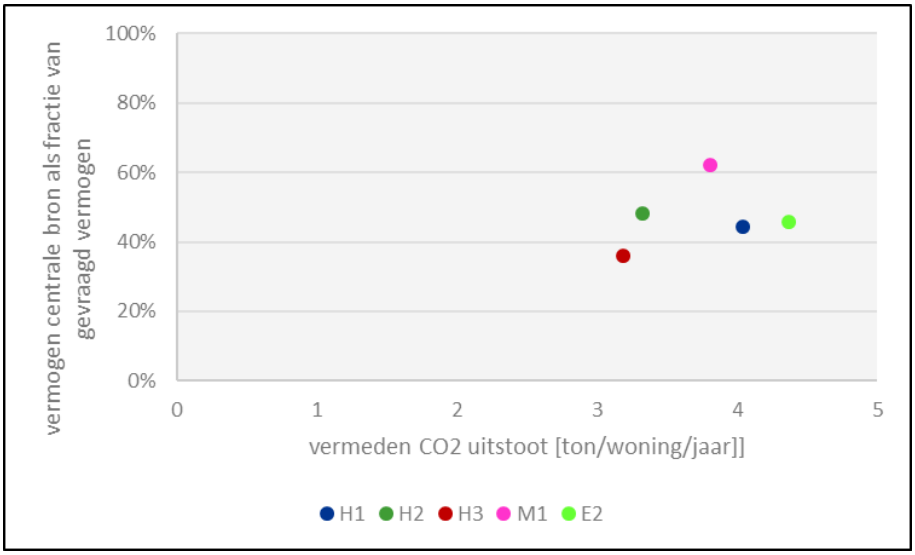
Figuur 48: Vergelijking investeringskosten voor warmteconcepten demowijk C

Van de collectieve concepten heeft het concept waarbij een 70/40 net aangesloten wordt op de GEO retour (**H3**) de laagste totale investeringskosten (26 kEUR/woning). Dit komt omdat voor dit concept de investering in de centrale bronnen beperkt is en dat er eigenlijk alleen een transportleiding van de GEO-bron naar de wijk gelegd moet worden. De beschikbaarheid van de restwarmte van de GEO-bron is een onzekerheid.

Het TEA/TEO-concept met een 70/40 net (**H2**) heeft lagere totale investeringskosten (29 kEUR/woning) dan het GEO-concept (**H1**). Door hogere OPEX kosten als gevolg van gebruik een centrale warmtepomp komen de totale jaarlijkse kosten toch hoger uit dan bij het GEO-concept met een 70/40 net. Het 3-pijps concept met GEO-bron (**E2**) heeft de hoogste totale investering van 41 kEUR per woning.

Als je naar de investering per bewoner kijkt komen de 70/40 netten (met GEO of TEA/TEO of aansluiting op een retourleiding van een geothermiebron) er het gunstigst uit dankzij de laagste kosten voor huisaanpassingen en isolatie (17 kEUR/woning). De all-electric oplossing heeft de hoogste investering per bewoner door de vereiste isolatiekosten, huisaanpassingen en de individuele lucht warmtepomp (32 kEUR/woning). Het 3-pijps concept (**E2**) komt er beter uit met een investering van 20 kEUR/woning voor de huiseigenaar in vergelijking met 26 kEUR/woning voor het 40/25 net met GEO (**M1**).

Figuur 49 toont de vermeden CO_2-uitstoot per concept en het centrale bronvermogen als fractie van het totaal gevraagde vermogen.

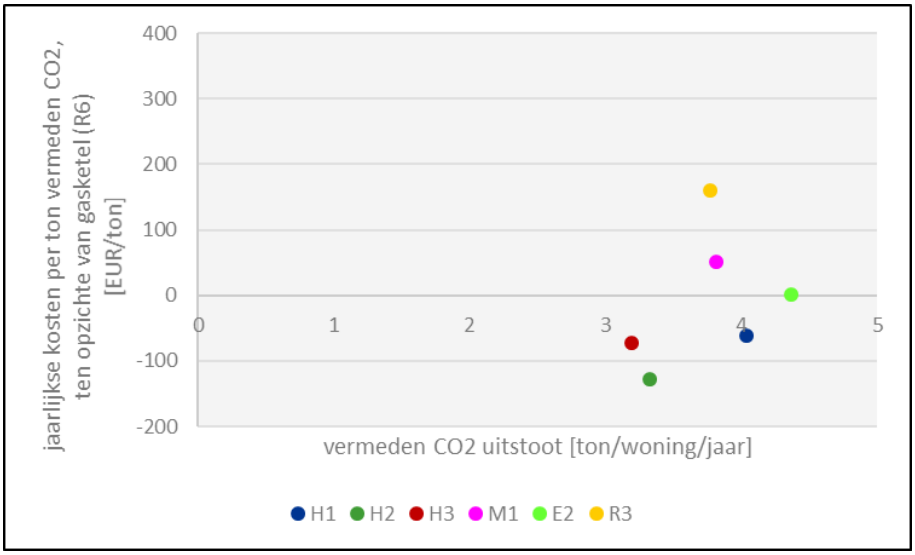


Figuur 49: Vermeden CO_2-uitstoot tegen vermogen centrale bron als fractie van totale warmtevraag, voor warmteconcepten demowijk C

Het 70/40 net met GEO (**H1**) heeft een vermeden CO_2-uitstoot van 4,0 ton/woning/jaar. Dit komt neer op een absolute besparing van 9,6 kton CO_2 per jaar voor Wijk C. Het 3-pijps concept (**E2**) heeft zelfs een vermeden CO_2-uitstoot van 4,4 ton/woning/jaar. Beide concepten zijn beter dan het all-electric concept met individuele lucht-water warmtepomp (**R3**) met 3,8 ton/woning/jaar.

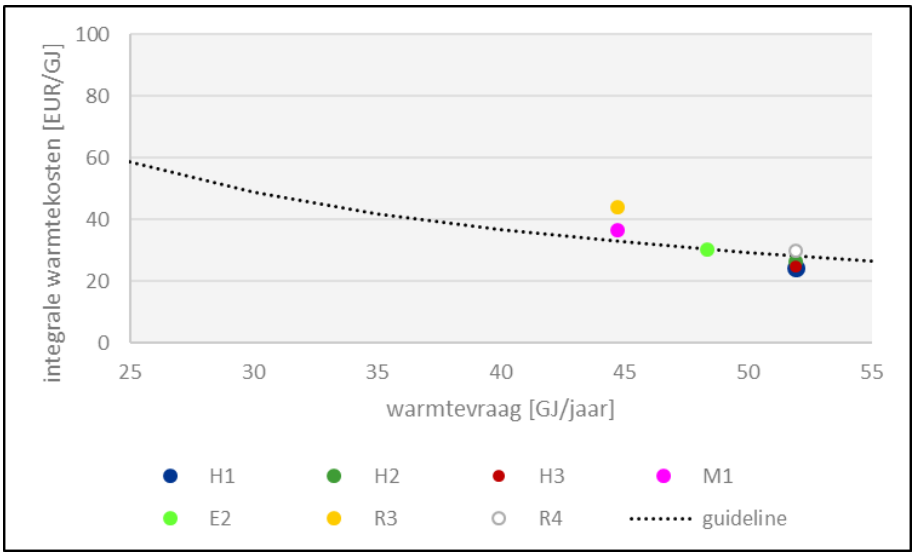
DE TEA/TEO-bron heeft een hogere vermeden CO_2-uitstoot in het 40/25 concept (**M1**: 3,8 ton/woning/jaar) dan in het 70/40 concept (**H2**: 3,3 ton/woning/jaar). Dit komt waarschijnlijk omdat de TEA/TEO-bron in het 40/25 net 62% van de warmtevraag invult, tegen 48% in het 70/40 net, waardoor in het eerste geval minder HWC-vermogen nodig is. Aansluiten op de GEO-retourleiding geeft nog steeds een vermeden CO_2-uitstoot van 3,2 ton/woning/jaar, ook al vult de GEO-retour slechts 36% van de warmtevraag in.

Figuur 50 laat de kosten per ton vermeden CO_2 zien versus de vermeden CO_2-uitstoot per woning per jaar voor warmteconcepten van wijk C. Daarvoor zijn de jaarlijkse kosten minus de kosten voor een gasketel referentie zonder isolatie (**R6**) gedeeld door de vermeden CO_2-uitstoot per concept. Wat opvalt is dat de 70/40 concepten negatieve kosten hebben omdat de jaarlijkse kosten lager zijn dan die van de gasketel referentie. Het 3-pijps concept (**E2**) heeft vrijwel verwaarloosbare kosten per vermeden CO_2 (4 EUR/ton).



Figuur 50: Vermeden CO_2-uitstoot tegen kosten per ton vermeden CO_2 voor warmteconcepten demowijk C

Figuur 51 laat de integrale warmtekosten zien in EUR/GJ. Dit zijn de jaarlijkse totaal kosten [EUR/woning/jaar] gedeeld door de warmtevraag [GJ/woning/jaar]. Deze integrale warmtekosten kunnen gebruikt worden om de warmteconcepten voor één wijk onderling te vergelijken. Als 'guideline' is een lijn getrokken met dezelfde jaarlijkse kosten (EUR/woning/jaar) als de referentie case met gasketel en zonder isolatie (**R6**). Voor Wijk C is dat 1.471 EUR/woning/jaar.



Figuur 51: Integrale warmtekosten versus warmtevraag warmteconcepten demowijk C

Wat opvalt is dat de integrale warmtekosten voor de 70/40 netten allemaal uitkomen rond de 25 EUR/GJ, evenals de referentie met een gasketel en energielabel B. Blijkbaar wordt de gasketel in de toekomst zo duur dat aansluiten op een 70/40 net loont.

De integrale warmtekosten voor de concepten waarbij geïsoleerd is tot energielabel A zijn weer hoger dan die voor de 70/40 netten, waarbij slechts geïsoleerd is tot energielabel B. De reductie in warmtevraag door extra isolatie tot energielabel A weegt niet op tegen de hogere kosten voor isolatie. En het 3-pijps concept waarbij 50% van de woningen geïsoleerd worden tot energielabel A en 50% tot energielabel B valt qua integrale warmtekosten precies ertussenin. Dit betekent dat isolatiemaatregelen goedkoper moeten worden om de business case voor warmtenetten onder de 70ºC rendabeler te maken. In het Klimaatakkoord is inderdaad al aangenomen dat huisaanpassingen 30% goedkoper moeten worden in 2030 [1].

3.4.8 Onzekerheid kapitaallasten en huisaanpassingen

Zoals in het hoofdstuk 2:'Stappenplan techno-economische analyse' aangegeven hebben we bij de doorrekening met het warmtemodel geen rekening gehouden met kapitaallasten en sloop- en installatiewerkzaamheden achter de meter. Om een beter gevoel te krijgen voor de impact van deze kosten hebben we voor beide een globale sigarendoos berekening uitgevoerd voor de best scorende concepten van wijk C. Bij het opstellen van de berekeningen hebben we volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Financieringslasten (WACC: weighted average cost of capital) van 5%. Het blijkt dat gemeenten, woningcorporaties en netbeheerders bij de huidige kapitaalmarkt rekenen met een WACC van 3 tot maximaal 7%. De meeste hanteren een WACC van iets minder dan 5%.
- Afschrijvingstermijn van 30 jaar.

Tabel 10 geeft voor een aantal concepten de jaarlijkse kosten per woning per jaar met een WACC van 0% en een WAC van 5% met een afschrijving van 30 jaar. Hieruit blijkt dat de 70/40 oplossingen nog steeds het meest voordelig zijn. Daarna volgt de 40/245 oplossing. De all-electric oplossing met een individuele lucht water warmtepomp blijft het duurst. Ook hier geldt dat de hoge extra kosten voor isolatie naar energielabel A maken dat 40/25 en all-electric oplossingen het duurst blijven.

Tabel 10: Impact kapitaalkosten (WACC) op kosten per WEQ voor wijk C

				Jaarlijkse kosten per woning per jaar	
Concept		**Warmtebron**	**CAPEX**	WACC = 0%	WACC=5%
			[kEUR/WEQ]	[EUR/WEQ/jr]	[EUR/WEQ/jr]
H1	70/40 net	GEO	32	1.561	2.574
M1	70/40 net	TEA/TEO	40	2.004	3.271
H2	70/40 net	TEO/TEA	29	1.681	2.599
H3	70/40 net	GEO retour	26	1.575	2.398
R3	All-electric	Individuele lucht-water warmtepomp	35	2.414	3.522

Uit de diverse bronnen en eigen onderzoek van de consortium partners blijkt dat de kosten van de huisaanpassingen en meer specifiek het leidingnetwerk achter de meter sterk verschillen per type wooneenheid. Voor grondgebonden woningen uit de jaren '60 lopen de kosten van inpandig leidingwerk tussen de 800 en 2.400 EUR per woning. De te verwachte kosten voor het inpandig leidingwerk voor appartementen uit de periode liggen tussen 2.500 en de 3.500 EUR per woning. Voor woningen leidt dit tot een verhoging van de warmtekosten van 27 tot 80 EUR per WEQ per jaar. Voor appartementen gaat het om een verhoging van 80 tot 120 EUR per WEQ per jaar. Deze kosten zijn voor de 70/40 en de 40/25 netten hetzelfde. De all-electric referentie oplossing heeft geen kosten voor inpandig leidingwerk, hooguit beperkte kosten voor sloopwerk.

3.4.9 Conclusie Wijk C

Deze studie heeft aangetoond dat onder de aannames gedaan binnen WINST lage temperatuur warmtenetten techno-economisch haalbaar zijn voor wijk C. Een 70/40 warmtenet aangesloten op een GEO-bron komt als goedkoopste en duurzaamste uit de test met 1.561 EUR per woning per jaar aan kosten en 87% aan CO_2-besparing. Het 3-pijps systeem biedt de flexibiliteit om tegen geringe extra kosten bijvoorbeeld lock-in in de toekomst te voorkomen of om ruimte open te laten voor toepassing van toekomstige ontwikkelingen op gebied van huisaanpassingen.

4 GENERIEKE CONCLUSIES DEMOWIJKEN

In dit hoofdstuk worden generieke conclusies getrokken op basis van de drie demowijken. Hierbij wordt nadrukkelijk gesteld dat de berekeningen wijk-specifiek zijn, omdat de aannames die gedaan zijn voor de warmtevraag en de beschikbare warmtebronnen wijk-specifiek zijn. Verder wordt benadrukt dat wijk A en B restwarmte bronnen hebben, die niet identiek zijn. Het type industrieel proces bepaalt uiteraard de specificaties van (industriële) restwarmte, zoals temperatuur en profiel.

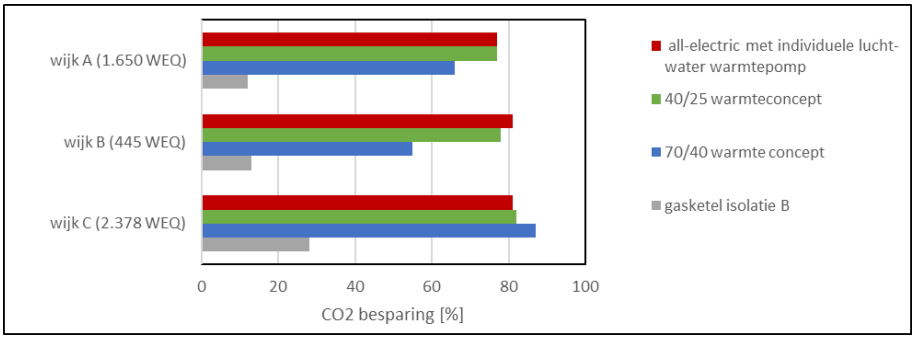
De financieel meest interessante concepten per wijk zijn met elkaar vergeleken voor twee temperatuur regimes (70/40 en 40/25) en voor de all-electric variant met individuele lucht-water warmtepomp. In Bijlage F staan tabellen met de kentallen van de warmteconcepten die in dit hoofdstuk gebruikt zijn.

Door vergelijking van deze financieel meest interessante concepten komen we tot de volgende generieke conclusies.

CO_2-reductie loopt van 50 tot 85%

Figuur 52 vergelijkt de CO_2-besparing van de financieel meest voordelige per wijk. De CO_2-reductie voor de 70/40 warmtenetten ligt voor de meeste bronnen tussen 50 en 65%. Het concept met geothermie in wijk C heeft een CO_2-besparing van boven de 80% omdat, dankzij de onttrekkingstemperatuur van 75ºC, geen centrale warmtepomp nodig is. De 40/25 warmtenetten behalen een CO_2-reductie van tussen de 70 en 85%, wat vergelijkbaar is met de reductie van de all-electric oplossingen met individuele lucht-water warmtepomp. De CO_2-reductiepercentages liggen bij 70/40 netten lager dan bij de 40/25 netten omdat meer elektriciteit nodig is voor warmtepompen bij de centrale warmtebronnen, die de temperatuur van het water ophogen.

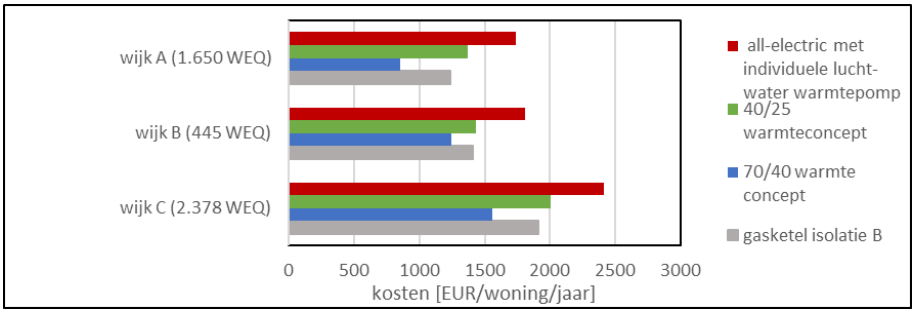
De CO_2-besparing kan oplopen door het verduurzamen van elektriciteit, door een alternatief voor de piekketel, of door verdere reductie in warmtevraag door isolatie.



Figuur 52: Vergelijking CO_2-besparing voor de financieel meest voordelige warmtenetten (70/40 en 40/25) in de drie demowijken, vergeleken met het all-electric referentie concept (individuele lucht-water warmtepomp) en een gasketel met isolatie tot energielabel B

Collectieve netten zijn goedkoper dan individuele all-electric oplossingen

Figuur 53 vergelijkt de totale kosten in EUR/woning/jaar voor de financieel meest voordelige concepten per wijk. In alle drie de demowijken zijn collectieve warmtenetten goedkoper dan individuele all-electric oplossingen. De resultaten zijn in lijn met de verwachtingen omdat alle drie de wijken volgens de CBS-gegevens sterk verstedelijkt zijn met tussen de 1500 en 2500 adressen per km^2. Wel wordt opgemerkt dat in wijk A en B veel gestapelde bouw te vinden is terwijl wijk C voor meer dan 90% uit grondgebonden woningen bestaat.



Figuur 53: Vergelijking kosten per woning per jaar voor de financieel meest voordelige warmtenetten (70/40; 40/25; gasketel met isolatie tot energielabel B en all-electric) in de drie demowijken

Collectieve 40/25 warmtenetten zijn duurder dan 70/40 netten

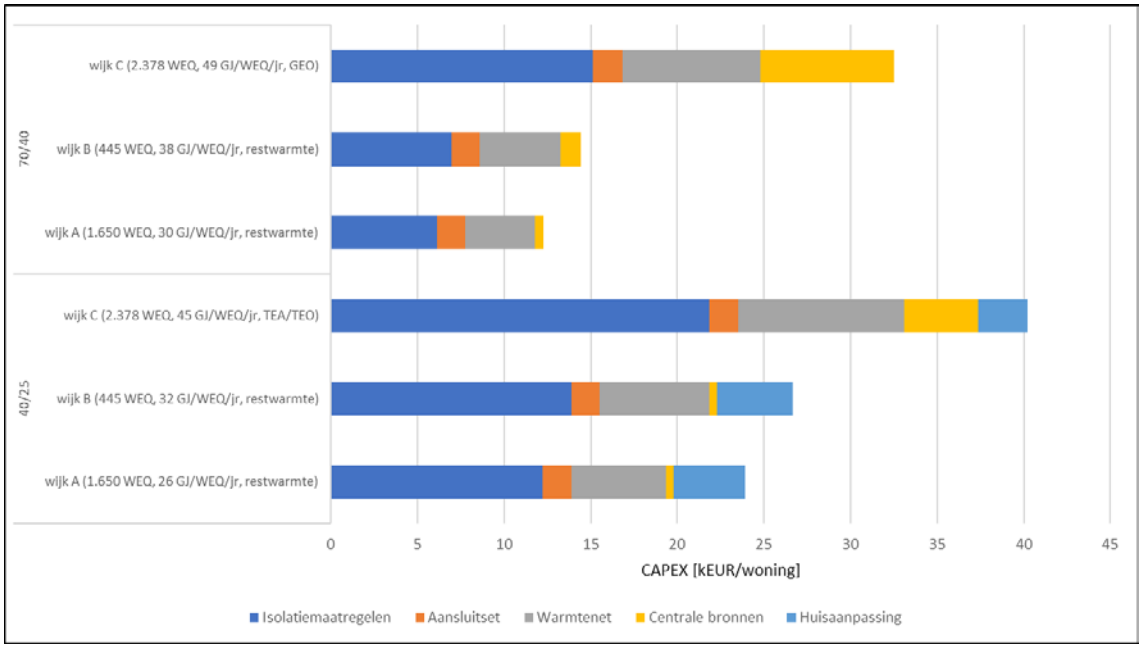
Figuur 53 laat ook zien dat de jaarlijkse kosten voor 40/25 warmtenetten hoger zijn dan 70/40 netten. Dit komt door de extra huisaanpassingen en hogere kosten van het leidingnet voor de 40/25 netten. Extra isoleren tot energielabel A om op een lager temperatuur regime van 40/25 over te stappen en huisaanpassingen zoals lage temperatuur radiatoren en tapwater voorzieningen leiden in alle drie de wijken tot een verhoging van de jaarlijkse kosten van minimaal 300 EUR per woning per jaar. Daarnaast is het 40/25 leidingnet duurder omdat door het kleinere temperatuurverschil tussen de aanvoer- en retourleiding (delta T) meer water en dus een grotere leidingdiameter nodig is dan bij 70/40 netten om aan de warmtevraag te voldoen.

Grootste investeringen in huisaanpassingen

Figuur 54 toont de kostenverdeling van de 70/40 en de 40/25 warmteconcepten voor de drie demowijken. Wijk C heeft de hoogste investering per woning zowel voor de 70/40 (32 kEUR/woning) als voor de 40/25 netten (40 kEUR/woning). Dit komt doordat wijk C veel grote oude woningen heeft met een grote warmtevraag in vergelijking met wijk A en B.

Voor alle drie de wijken vormen de kosten voor isolatie tot energielabel B (voor aansluiting op een 70/40 warmtenet) tussen de 45 en 50% van de totale investeringen. De kosten voor isolatie tot energielabel A (voor aansluiting op een 40/25 warmtenet) bedragen zelfs tussen de 50 en 55% van de totale investeringen in alle drie de wijken. Voor aansluiting op een 40/25 warmtenet komen daar nog extra kosten voor huisaanpassingen bij, zoals lage temperatuur radiatoren en voorzieningen voor tapwater. Deze kosten bedragen 7% van de investeringen voor wijk C en ruim 15% voor wijk A en B.

Het is duidelijk dat voor de warmtenetten de grootste investeringen in isolatiemaatregelen zitten. De business case voor warmtenetten zal vooral baat zal hebben bij goedkopere oplossingen voor isolatie. In het Klimaatakkoord is aangenomen dat huisaanpassingen 30% goedkoper moeten worden in 2030 [1]. Deze kosten kunnen ook gereduceerd worden door een projectmatige aanpak van de warmtetransitie op wijkniveau in plaats van op individueel huisniveau. Daarvoor is wel een sterke regie-rol, bijvoorbeeld van de gemeente, nodig.



Figuur 54: Kostenverdeling 70/40 netten en 40/25 netten voor drie demowijken. Onder huisaanpassingen vallen aanpassingen zoals een booster warmtepomp en een lage temperatuur radiator.

Geringe investeringen in warmtenetten

De absolute investeringskosten voor de warmtenet beheerder worden met name bepaald door woondichtheid en de afstand tussen de warmtebron en de wijk. Daarnaast zijn de 40/25 netten duurder dan de 70/40 netten omdat in geval van een kleiner temperatuurverschil tussen de aanvoer- en retour leiding (delta T) meer water en dus een grotere leidingdiameter nodig is.

Toch bedragen de investeringskosten voor de warmtenet beheerder voor de 40/25 netten slechts 25% van de totale investeringen en 25 tot 35% voor de 70/40 netten voor alle drie de onderzochte wijken. Dit heeft te maken met significant hogere investeringskosten voor de huisaanpassingen en isolatie nodig voor de 40/25 netten.

Kosten centrale bronnen worden sterk bepaald door locatie specifieke kenmerken

Bij geothermie en lage temperatuur aardwarmte worden de investeringskosten per GJ energie sterk bepaald door de locatie specifieke kenmerken van de ondergrond, verwachte temperaturen en debieten. Bij industriële restwarmte hangen de investeringskosten af van temperatuur en de extra investeringen voor warmte-uitkoppeling op de gewenste temperatuur. Bij thermische energie uit oppervlaktewater zit het in locatie specifieke vollasturen, de maximale onttrekkingsdebieten per uur en de afstand tot het oppervlaktewater. Voor veel warmtebronnen zijn de opbrengsten en leveringspatronen lastig te voorspellen. Voor diverse bronnen voor warmtenetten en all-electric oplossingen geldt bovendien dat exploitatie lastiger, of duurder wordt als de eisen ten aanzien van milieu, fijnstof en waterkwaliteit veranderen. Deze onzekerheden leiden tot een aarzelende houding van betrokken stakeholders.

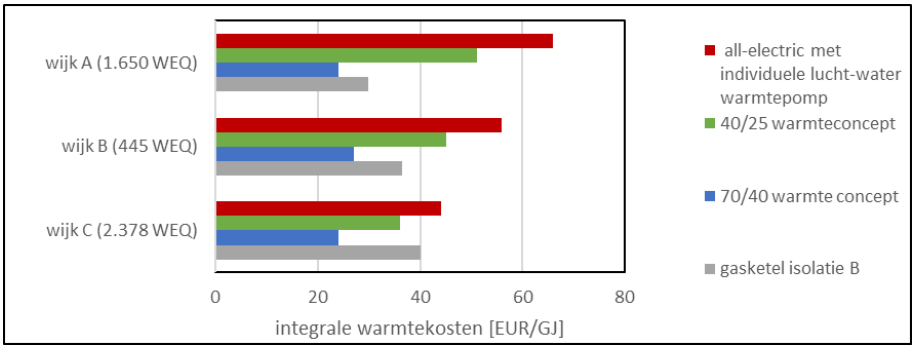
Afstemming lage temperatuurbronnen en wijkgrootte essentieel

Voor de demowijken bleek dat de ingeschatte potentie van de lage temperatuur aardwarmte (LTA) bron te groot is voor demowijk A en B. Het beter schalen van de wijk ten opzichte van de LTA-bron leidt tot een significante kostendaling. In geval van demowijk A was de LTA-bron groot genoeg om vier vergelijkbare wijken te voorzien in warmte voor de basislast, resulterend in een daling van de warmtekosten van 20%. In geval van demowijk B kon de LTA-bron zelfs de basislast voor een zes keer grotere wijk aanleveren tegen 10% lagere kosten per woning per jaar.

Vergelijkbare situaties kunnen aangetroffen worden bij geothermie bronnen en bij grote industriële restwarmte bronnen. Om te voorkomen dat deze in prijs aantrekkelijke oplossingen uitgesloten worden, is het van belang om in lijn met het Klimaatakkoord warmteplannen minimaal op gemeentelijk niveau te maken. Hiermee kan ook voorkomen worden dat verschillende wijken zonder overleg gaan rekenen op dezelfde lokale bronnen. Dit zou tot onaangename verrassingen in de realisatiefase kunnen leiden.

De 70/40 netten hebben de laagste integrale warmtekosten

Figuur 55 toont de integrale warmtekosten per GJ voor de drie demowijken. Dit is berekend door de jaarlijkse totaal kosten [EUR/woning/jaar] te delen door de warmtevraag [GJ/woning/jaar).



Figuur 55: Integrale warmtekosten voor de meest voordelige warmtenetten en een all-electric concept met een individuele lucht-water warmtepomp voor de drie demowijken in EUR/GJ

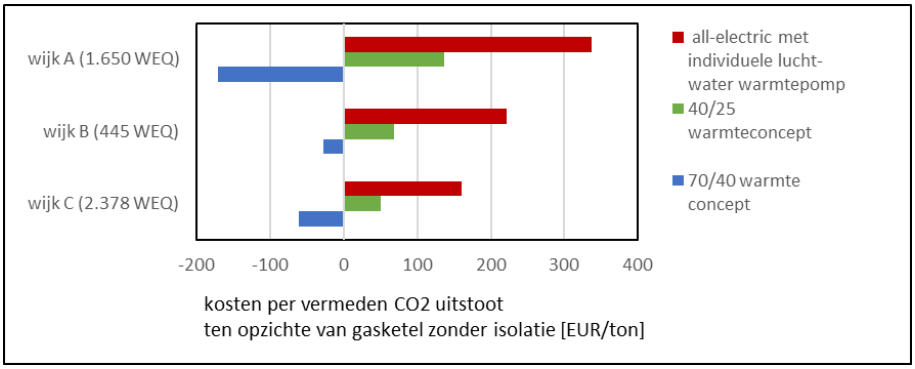
Wat opvalt is dat de integrale warmtekosten bij de 70/40 concepten voor alle drie de wijken in de orde liggen van 25 EUR/GJ ongeacht de warmtebron. De 40/25 concepten en referentieconcepten hebben hogere integrale warmtekosten. Ook is de variatie in de kosten groter.

Door isoleren tot energielabel A neemt de warmtevraag af. Desondanks hebben de 40/25 en referentie concepten hogere integrale warmtekosten dan de 70/40 netten.

CO_2-besparing met een warmtenet is goedkoper dan met all-electric oplossing

Om te bepalen hoeveel de CO_2-reductie kost, zijn de jaarlijkse kosten voor een warmteconcept verminderd met de jaarlijkse kosten van een gasketel zonder isolatie. Het totaal is gedeeld door de vermeden CO_2-uitstoot van het concept (zie Figuur 56). De kosten per vermeden ton CO_2-uitstoot zijn bij de 70/40 warmteconcepten negatief omdat deze warmteconcepten goedkoper zijn dan de gasketel zonder isolatie.

Uit de berekeningen blijkt dat 40/25 warmteconcepten ongeveer een gelijke CO_2-reductie behalen als individuele all-electric oplossingen (Figuur 52). De kosten per ton vermeden CO_2-uitstoot zijn voor de 40/25 warmtenetten echter aanzienlijk lager. Als beide criteria, van hoogste CO_2-reductie én laagste kosten per vermeden CO_2-uitstoot, even zwaar wegen, zullen beslissers in deze wijken, naar verwachting, een sterke voorkeur hebben voor de 40/25 oplossingen boven de all-electric varianten.



Figuur 56: Vergelijking kosten per vermeden CO_2-uitstoot ten opzichte van een gasketel zonder isolatie voor de meest voordelige warmtenetten en een all-electric concept met een individuele lucht-water warmtepomp

4.1 Overall conclusie voor de drie demowijken

Warmteconcepten gebaseerd op lage temperatuur warmtenetten hebben een significante potentie voor de Nederlandse gebouwde omgeving. Bij voldoende woondichtheid en aanwezige warmtebronnen, zijn de jaarlijkse kosten per woning voor 70/40 warmtenetten 30 tot 50% lager dan individuele all-electric concepten. De bijbehorende CO_2-besparing ligt boven de 50%. Bij 40/25 warmtenetten liggen de CO_2-besparingen boven de 70%. Dit is vergelijkbaar met individuele all-electric concepten. De kosten van de 40/25 netten liggen zo'n 15 tot 25% lager dan individuele all-electric concepten.

Deze conclusies zijn getrokken op basis van de doorrekeningen van de drie WINST-demowijken. Hoewel dit typische Nederlandse bestaande woonwijken zijn, is het moeilijk te voorspellen hoe representatief ze zijn voor Nederland. In deze studie is geen rekening gehouden met factoren zoals gebiedsinrichtingsplannen, samenstelling van de wijkbevolking, die wel invloed zullen hebben op investeringsbeslissingen. Tot slot merken we op dat deze studie zich beperkt heeft tot het vergroenen van bronnen voor de basislast en dat we uitgaan van 63% duurzame elektriciteit richting 2030. Verbetering van de CO_2-reductie is mogelijk door ook de pieklast te vergroenen én doordat elektriciteit richting 2050 bijna 100% duurzaam wordt.

5 POTENTIE LAGE TEMPERATUUR WARMTENETTEN VOOR DE GEBOUWDE OMGEVING

In het TKI WINST onderzoek is een aantal bestaande wijken bekeken en doorgerekend met alternatieve en minder CO_2-intensieve warmte concepten. Hierbij is niet alleen gekeken naar traditionele technieken. De partners hebben innovatieve oplossingen ontwikkeld en geprojecteerd op de demowijken. In dit hoofdstuk wordt de vertaalslag gemaakt naar de potentie van deze technieken in heel Nederland. We schatten de totale potentie van warmtebronnen als Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA), Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) en industriële restwarmte. Ook schatten we de potentie van centrale buffer/opslag technieken, zoals warmte-koude opslag (WKO), midden temperatuur opslag (MTO) en hoge temperatuur opslag (HTO) en het gebruik van een thermochemische warmtepomp bij de eindgebruiker voor buffering en opwaardering van warmte. Ook de totale potentie van 70/40 en 40/25 netten in Nederland en de rol die flexibele prefab warmtenetten hierin kunnen spelen is bekeken. Deze indicatieve schattingen zijn gemaakt om een eerste gevoel te krijgen van hoe de potentie van de diverse technologieën zich ten opzichte van elkaar verhouden.

5.1 Potentie LT-netten in de gebouwde omgeving

Uit het TKI WINST onderzoek is voor alle wijken gebleken dat een collectieve oplossing op basis van 70°C aanvoer in combinatie met kosteneffectieve isolatie het meest kosten-efficiënte alternatief voor de conventioneel CV-ketel is. Warmtenetten zijn veelal rendabel in buurten en wijken met een hoge woondichtheid nabij een bron. We nemen aan dat alle buurten met de CBS-stedelijkheidsklasse 3 of beter (zeer sterk, sterk of matig sterk verstedelijkt) hiervoor in aanmerking komen[13] [4]. Dit gaat om buurten met meer dan 1.000 adressen per km^2. Uit de CBS-gegevens kan afgeleid worden dat we dan spreken over ongeveer 5,4 miljoen van de 7,7 miljoen woningen, oftewel 70% van de bestaande woningbouw in Nederland. Als we de selectie beperken tot de stedelijkheidsklassen sterk of zeer sterk dan gaat het om 4 miljoen woningen.

Niet alle woningen zijn geschikt om te renoveren tot energielabel A, wat benodigd is voor aansluiting op 40/25 netten. Als we corrigeren voor de bijna 20% woningen die vóór 1945 zijn gebouwd, gaat het om 4,3 miljoen woningen in buurten die matig, sterk of zeer sterk verstedelijkt zijn [4]. Als we enkel sterk of zeer sterk verstedelijkte wijken aansluiten op warmtenetten dan gaat het om ongeveer 3,3 miljoen woningen.

Volgens het Klimaatakkoord [1] kunnen tot 2050 door onzekerheden, beschikbare capaciteit en/of nog niet bekende technieken vanaf 2025 maximaal 70 tot 100 duizend aansluitingen per jaar gerealiseerd kunnen. Daarmee komen we op een potentie voor 2050 van 2,6 miljoen woningen die zijn aangesloten op een warmtenet.

---

[13] Kerncijfers wijken en buurten [4]

Op grond van de omgevingsadressendichtheid is aan iedere buurt, wijk of gemeente een stedelijkheidsklasse toegekend. De volgende klassenindeling is gehanteerd:

1: zeer sterk stedelijk >= 2 500 adressen per km²

2: sterk stedelijk 1 500 - 2 500 adressen per km²

3: matig stedelijk 1 000 - 1 500 adressen per km²

4: weinig stedelijk 500 - 1 000 adressen per km²

5: niet stedelijk < 500 adressen per km²

5.2 Potentie LTA voor LT-warmtenetten

Het rapport “Weg van gas” [5] geeft een inschatting van de toepasbaarheid van Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA) voor de bebouwde omgeving en glastuinbouw. Hiervoor is gekeken naar de bodemgeschiktheid voor LTA en naar de bovengrondse warmtevraag. De bodemgeschiktheid voor LTA varieert over Nederland. De beschikbare ondergrondse formaties zijn niet overal gelijk en op sommige locaties ongeschikt. Desalniettemin lijkt LTA voor het grootste deel van Nederland een technisch haalbare mogelijkheid. Als globaal een koppeling wordt gemaakt tussen de bovengrondse warmtevraag en de ondergrondse mogelijkheden, lijkt LTA een technisch potentieel te hebben van 229 PJ per jaar [5].

Van de 5,4 woningen in de matig, sterk of zeer sterk verstedelijkte gebieden kan 70% met LTA worden verwarmd dankzij de aanwezigheid van voor LTA geschikte aquifers [5]. Dit komt overeen met 3,8 miljoen woningen.

5.3 Potentie TEO voor LT-warmtenetten

In de afgelopen jaren is er een toenemende interesse in thermische energie uit oppervlaktewater (TEO). IF Technology heeft in 2016 voor de Unie van Waterschappen een landelijke verkenning uitgevoerd [6]. Hierin is voor heel Nederland het potentieel voor warmte en koude uit het watersysteem ingeschat. In dit onderzoek zijn voor de toepasbaarheid voor TEO de volgende randvoorwaarden aangehouden:

- Bodem geschikt voor WKO: in geval van warmtelevering is seizoensopslag noodzakelijk. Warmte uit het oppervlaktewater wordt in de zomer gewonnen en opgeslagen. In de winter wordt de opgeslagen warmte geleverd aan het warmtenet
- Warmtevraag en TEO binnen 1 km van elkaar
- Warmtevraag minimaal 1.000 GJ per jaar. Dit komt overeen met circa 25 woningen.

Het totaal ingeschatte technisch warmtepotentieel van TEO voor Nederland is ingeschat op 150 PJ (ca 3,7 miljoen woningen. Dit is bijna 50% van het Nederlandse woningbestand [4]). Het economisch warmtepotentieel (welke sterk afhankelijk is van de fluctuerende marktcondities) is ingeschat op 45 PJ (ca 1 miljoen woningen). In 2018 hebben Deltares en CE Delft een nieuwe potentieelstudie uitgevoerd, waaruit blijkt dat het eerder ingeschatte potentieel conservatief is ingeschat [7]. Zij schatten het economisch potentieel in op 150 PJ per jaar, ruim 40% van de totale toekomstige warmtevraag in de gebouwde omgeving. Het verschil met de studie van IF Technology in 2016 van het potentieel wordt veroorzaakt door de aanname van nabijheid van oppervlaktewater. Bij de studie van IF Technology [6] is uitgegaan van 1 km, terwijl bij de studie van CE Delft en Deltares [7] is uitgegaan van 5 km. Welke afstand uiteindelijk (kostentechnisch) acceptabel is, zal project specifiek zijn en afhangen van onder andere de omvang van het project en de drukte in de ondergrond. Duidelijk is in ieder geval dat het potentieel enorm is.

In deze studie is aan de hand van een aantal cases in meer detail gekeken naar het potentieel van TEO bij lage temperatuurnetten. Welk warmtenet het beste gekozen kan worden in combinatie met TEO is een afweging tussen duurzaamheid en kosten. In de onderzochte cases heeft een 20/10 de hoogste CO_2-besparing en de hoogste kosten en een 70/40 net de laagste CO_2-besparing tegen de laagste kosten.

Bij bestaande bouw die relatief oud is, lijkt een 70/40 net de beste kansen te bieden. De benodigde woningaanpassingen blijven beperkt, en daarmee ook de totale kosten. Door extra energieverliezen in het 70/40 net (ten opzichte van bijvoorbeeld een 40/25 net) en door het hogere elektriciteitsverbruik van de warmtepompen is de CO_2-besparing lager dan bij lagere temperatuurnetten. Bij verdere verduurzaming van de elektriciteitsproductie neemt de CO_2-besparing (uiteraard) weer toe, wat zich vertaalt in een voordeel voor een 70/40 net.

Nieuwbouwwijken zijn in deze studie niet onderzocht. Maar vanuit de resultaten kan wel vastgesteld worden dat 40/25 en 20/10 netten voordeliger uit zullen pakken bij nieuwbouw doordat er geen forse investering noodzakelijk is voor woningaanpassingen. Hierdoor zullen de kosten voor 40/25 en 20/10 netten in combinatie met TEO dalen. Hoe de kosten zich zullen verhouden tot een 70/40 net is lastig te voorspellen. Dit zal project specifiek onderzocht moeten worden.

In de studie is één case onderzocht van TEO in combinatie met een 20/10 net. Deze scoort qua kosten slecht. Een van de oorzaken hiervan is dat niet optimaal gebruik wordt gemaakt van het 20/10 net. Een van de voordelen van een 20/10 net is dat er ook koude geleverd kan worden. De onderzochte wijk bestaat uit woningen zonder koudevraag. Wanneer er aan de vraagkant ook een substantiële koudevraag is, bijvoorbeeld bij kantoren en onderwijsgebouwen, dan zal de business case aanzienlijk verbeteren. Een 20/10 net in combinatie met TEO heeft dan ook alleen zin wanneer er een substantiële koudevraag is.

Uit de onderzochte cases volgt dat, wanneer in de omgeving restwarmte aanwezig is of wanneer er een hoog potentieel is voor (ondiepe) geothermie, dit interessante bronnen zijn voor een warmtenet. TEO pakt dan iets ongunstiger uit omdat een warmtepomp nodig is om de temperatuur op te waarderen naar het gewenste niveau. Er zullen in heel Nederland echter ook vele gebieden zijn waarbij deze bronnen niet (direct) voor handen zijn of waar de vraag groter is dan het aanbod. TEO kan dan een interessante bron zijn voor het warmtenet.

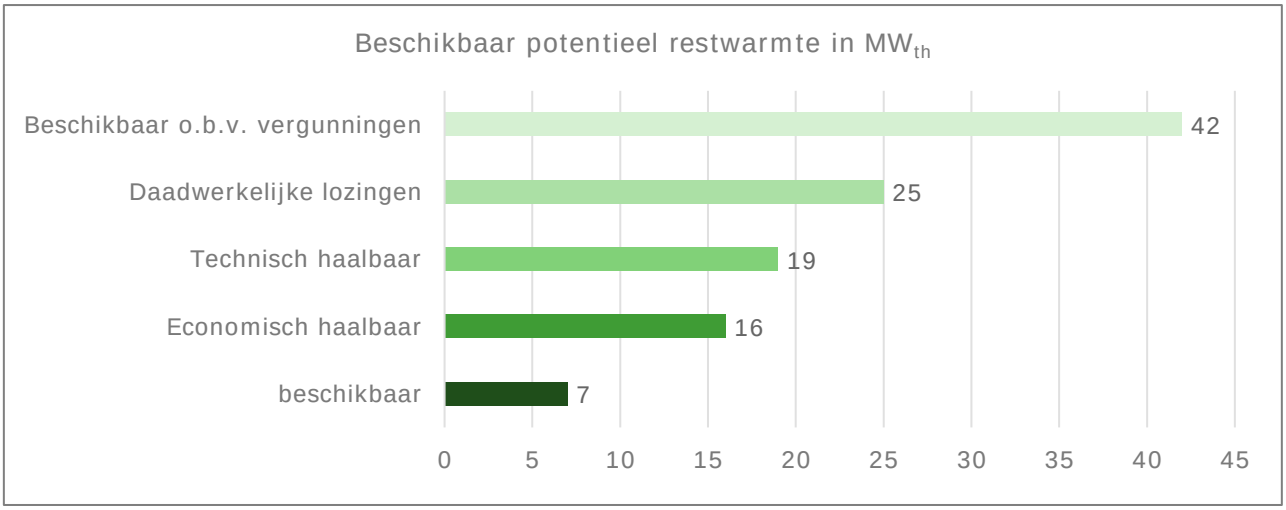
5.4 Potentie industriële restwarmte voor LT-warmtenetten

Om het industriële restwarmtepotentieel te bepalen, hebben we binnen WINST, een gemengd industrieterrein met diverse fabrieken uit de chemische, voedingsmiddelen of metaalbewerkingsindustrie nabij een woonwijk geanalyseerd. We hebben het technisch economisch restwarmtepotentieel vastgesteld en de randvoorwaarden voor het beschikbaar stellen van het potentieel geïnventariseerd. Aan het onderzoek hebben acht bedrijven deelgenomen, waaronder drie bedrijven uit de top zes energieverbruikers.

Uit het onderzoek blijkt, dat het industrieterrein 7 MW_{th} warmte kan leveren, waarvan 3 tot 4 MW_{th} continu (24 maal 7) geleverd kan worden en dus geschikt is voor de basislast. Zie Figuur 57. De 3 MW_{th} basislast is gelijk aan de verwachte basisvraag naar warmte als 80% van de woningen in de aangrenzende woonwijk warmte gaat afnemen. Ruim 5 MW_{th} van de warmte komt vanuit één bedrijf. Dit bedrijf neemt dan ook de volledige basislast voor zijn rekening. De 7 MW_{th} is een fractie van het potentieel op basis van de lozingsvergunningen, te weten 42 MW_{th} (Figuur 57), en van de daadwerkelijke lozingen, te weten 25 MW_{th}, die lager liggen dan op basis van vergunningen is toegestaan.

Uit het onderzoek blijkt dat slechts 36% van het technisch potentieel (19 MW_{th}) beschikbaar is voor het warmtenet. Dit heeft te maken met de bereikbaarheid van de restwarmte en met het feit dat bedrijven grotere stromen van restwarmte met een temperatuur van 50ºC en hoger intern willen hergebruiken. Uitgaande van een gemiddelde COP van 4 om de warmte met een warmtepomp op te krikken naar de gewenste 70ºC is de potentiële thermische output 9,3 MW_{th}.

Aangezien de steekproef van de WINST-pilot erg klein is, en 24 maal 7 sectoren zoals datacenters, koelhuizen niet in het onderzoek vertegenwoordigd zijn, zal het potentieel hoger liggen dan de 36% uit ons onderzoek.



Figuur 57: Potentieel inschatting van industriële restwarmte onderzochte industrieterrein

Om het landelijk potentieel van industriële restwarmte in te kunnen schatten, hebben we gekeken naar een onderzoek van KWA uit 2016 naar 'Het elektrisch energieverbruik en het warmteaanbod van koelinstallaties voor een veertigtal bedrijfssectoren' [8]. In deze studie berekent KWA dat het elektriciteitsverbruik voor koelprocessen in de industrie gelijk is aan 19 PJ. Op basis van een gemiddelde Coefficient of Performance (COP) per sector voor de koelinstallaties berekent KWA dat hierbij 80 PJ warmte vrijkomt. Overigens geeft het PBL in de studie 'Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland' uit 2017 [9] aan dat in 2050 de industrie 100 PJ aan restwarmte kan leveren, waarvan 50 PJ relatief laagwaardige warmte beschikbaar komt voor landbouw en gebouwde omgeving. Omdat dit getal verder niet onderbouwd wordt, rekenen we verder met de cijfers van KWA [8].

KWA hanteert als aanname dat 40% van deze energie beschikbaar is voor warmte-hergebruik, wat gelijk staat aan 32 PJ of 1.000 MW_{th}. Deze 40% ligt in lijn met de ervaringen uit ons onderzoek dat 36% herbruikbaar is. Deze 32 PJ aan hergebruik van industriële restwarmte komt overeen met circa 0,8 miljoen woningen, oftewel 10% van het huidige woningbestand in Nederland.

5.5 Potentie bodem opslag voor LT-warmtenetten

Met seizoensopslag in de bodem kan warmte worden opgeslagen van allerlei bronnen en op allerlei temperaturen (lage temperatuuropslag (LTO, tot 25°C. Dit wordt ook warmte koudeopslag genoemd (WKO), middentemperatuuropslag (MTO, tot 60°C) en hogetemperatuuropslag (HTO, hoger dan 60°C). Het overschot aan warmte in de zomer wordt opgeslagen voor levering in de winter. Onder huidige omstandigheden zijn MTO en HTO wel duurder dan een gasgestookte hulpwarmtecentrale, dat wil zeggen de centrale gasketel die warmte levert tijdens de piekvraag momenten. Het potentieel voor LTO, MTO en HTO kan, ingeschat worden aan de hand van de verstedelijkheidsgraad. Hieruit volgt dat circa 5,4 miljoen woningen kunnen worden aangesloten op een warmtenet. In (nagenoeg) heel Nederland zal tenminste één van deze drie vormen van seizoensopslag toepasbaar zijn, en vaak ook meerdere. Bij inpassing van seizoensopslag in een warmtenet levert de seizoensopslag circa 20% van de totale warmtevraag. Ingeschat wordt dat seizoensopslag circa 1 miljoen woningen van warmte kan voorzien.

Om opslag in de bodem toe te kunnen passen, moet aan een aantal randvoorwaarden voldaan worden (zie ook position paper HTO [10]). Dit zijn:

- Bodemgeschiktheid: er moet een geschikte aquifer (watervoerende laag) aanwezig zijn om warmte te kunnen opslaan. De richtlijnen hiervoor zijn afhankelijk van de opslagtemperatuur. WKO maakt gebruik van grofzandige pakketten, terwijl voor HTO de pakketten juist fijnzandig moeten zijn. Er zijn landelijke kaarten beschikbaar die een eerste inschatting geven van het bodempotentieel. Voor WKO zijn deze te raadplegen in de Warmteatlas [11]. Aanbevolen wordt om projectspecifiek het bodempotentieel in meer detail te onderzoeken.
- Vergunbaar: afhankelijk van de diepte is een vergunning in het kader van de Waterwet (tot 500 m-mv) of een vergunning in het kader van de mijnbouwwet (vanaf 500 m-mv) noodzakelijk. Eventueel aanwezige restrictiegebieden (b.v. drinkwatergebieden) en andere belangen (b.v. andere WKO-systemen, natuurgebieden etc) spelen mee in de vergunbaarheid van een systeem. Via de WKO-tool [12] kan een eerste indruk verkregen worden over aanwezige restrictiegebieden en belangen.
- ‘Gratis warmte’: bij MTO en HTO moet de warmte die opgeslagen wordt gratis zijn of relatief goedkoop. Dit kan bijvoorbeeld restwarmte zijn of een duurzame bron met lage marginale kosten.
- Inpassing: bij HTO en MTO is het van groot belang dat bij de inpassing rekening wordt gehouden met de temperatuurniveaus. Een groot temperatuurverschil tussen opslagtemperatuur en gewenste leveringstemperatuur is voordelig. Zodra de HTO/MTO warmte gaat leveren, zakt de temperatuur langzaam. Hoe lager de gewenste leveringstemperatuur is, hoe langer de HTO/MTO door kan gaan met warmte leveren, wat gunstig is voor het opslagrendement. Wanneer de temperatuur in de HTO/MTO gelijk is aan de gewenste leveringstemperatuur, kan niet meer volledig op directe wijze warmte geleverd worden. De HTO/MTO stopt dan met warmte leveren (de zogenaamde afkaptemperatuur) en moet weer opgeladen worden, of een (b.v.) warmtepomp moet worden toegepast om de temperatuur op te hogen naar de gewenste temperatuur.

Voor Nederland is nog niet specifiek een landelijke studie uitgevoerd naar het potentieel van MTO/HTO. Wel is gekeken naar het potentieel voor ondiepe geothermie [5]. MTO en HTO worden in dezelfde formaties toegepast als ondiepe geothermie. De potentieelkaarten van ondiepe geothermie geven dan ook een eerste inschatting voor het bodempotentieel van MTO/HTO. Deze zijn o.a. te vinden in de Warmteatlas [11]. Wel is het zo dat bij MTO/HTO aanvullend ook een scheidende laag aanwezig moet zijn om te voorkomen dat alle warmte wegstroomt naar het oppervlak. Per project zal dus altijd specifiek gekeken moeten worden naar de bodemgeschiktheid.

Binnen het TKI WINST project zijn in werkpakket 2 verschillende berekeningen uitgevoerd aan HTO, MTO en LTO-systemen. Hieruit kunnen onder andere de volgende lessen geleerd worden:

- Voor *optimale* inzet van de opslag is de benodigde warmtevraag per opslagtechniek ingeschat:

  -HTO: warmtenet met een warmtevraag van 125.000 GJ per jaar

  -MTO: warmtenet met een warmtevraag van 75.000 GJ per jaar

  -LTO: warmtenet met een warmtevraag van 50.000 GJ per jaar

  Deze benodigde omvang van de warmtevraag is een eerste inschatting. De gevoeligheid hiervan is nog niet onderzocht. Ook kan de opslag bij een kleinere warmtevraag worden ingezet, alleen zal de opslag dan minder uur per jaar warmte laden en leveren, waardoor de kostprijs zal stijgen. Of de opslag daarmee financieel onhaalbaar wordt, zal sterk afhangen van de specifieke situatie.

- Bij optimale inzet van opslag binnen een warmtenet ligt de bijdrage van de opslag aan de totale warmtevraag tussen de 17 en 29%.

- Warmtelevering met een opslag reduceert de CO_2-uitstoot met 48 tot 94% ten opzichte van warmte met een gasketel. De CO_2-reductie is maximaal wanneer de opslag directe warmte levert (zonder warmtepomp).

- Van de onderzochte cases varieert de kostprijs voor warmteopslag:

  70/40 net: 18,2 - 33,9 EUR/GJ

  40/25 net: 11,8 - 21,3 EUR/GJ

  20/10 net: 4,7 - 16,8 EUR/GJ

- Een warmtepomp verhoogt de inzet van de opslag, maar zorgt tevens voor een stijging van de kostprijs. De voordelen (extra warmtelevering) weegt financieel gezien niet op tegen de nadelen (hogere investerings- en exploitatiekosten). Wel kan de bodem efficiënter benut worden wanneer een warmtepomp wordt toegepast. Ook kan het soms noodzakelijk zijn om een warmtepomp te gebruiken omdat anders de gewenste temperatuur niet wordt gehaald.

- Bij 70/40 netten en 40/25 netten kan het beste zoveel mogelijk HTO toegepast worden. Wanneer dit bodem-technisch niet kan, of wanneer de omvang van de warmtevraag te beperkt is, kijk dan naar de mogelijkheden voor MTO en LTO.

- Bij 20/10 netten kan het beste LTO worden toegepast. Wanneer er ook een koudevraag is, dan kan het beste WKO worden toegepast.

5.6 Potentie kunststof prefab netwerk

Binnen de warmtetransitie zijn twee onmiskenbare trends te onderscheiden. Ten eerste een enorme schaalvergroting naar 70 tot 100 duizend aansluitingen per jaar, volgens inschattingen van het Klimaatakkoord [1]. Ten tweede de verlaagde systeem temperatuur van 70ºC of zelfs minder door verbeterde isolatie van woningen.

De behoefte aan snellere manieren voor het uitrollen van een warmtenet zijn eenvoudig te verklaren uit de beoogde opschaling, gebrek aan uitvoerend personeel en behoefte aan kostendaling. De oplossing is te vinden in prefab flexibele netwerken, zonder in te boeten op levensduur en performance.

Met de genoemde systeem temperatuur van 70ºC is de levensduur van hoogwaardig kunststof voor stadsverwarming toepassingen hoger dan de gangbare alternatieven vanwege het feit dat kunststof geen corrosie kent. Betreft de performance, die vooral bepaald wordt door isolatiewaarde en waterdichtheid, zijn Flexalen PU en met name Flexalink2 een zeer veel belovende -en reeds op beperkte schaal bewezen- oplossing, met name te danken aan de kwaliteit van isolatie en buitenmantel.



Figuur 58: Flexalink2 Kunststof prefab netwerk in bestaande bouw

Binnen de opgave van 70 tot 100 duizend woningen per jaar, zijn het vooral de wijken die voldoen aan onderstaand profiel, die baat hebben bij deze binnen TKI Winst ontwikkelde oplossing:

- 70ºC aanvoertemperatuur (bandbreedte 50-80ºC)
- Grondgebonden woningen eventueel in combinatie met gestapelde woningen
- Bestaande bouw en weinig ruimte in de ondergrond
- Complexe toegang tot de woning (meterkast/gevel)
- Behoefte vanuit bewoners voor snelheid in de uitvoering.

Onze inschatting is dat binnen Nederland gemiddeld 60% van de 70 tot 100 duizend woningen per jaar kwalificeren binnen bovenstaand profiel en daarmee de potentie vormen voor kunststof prefab netwerken. Dit komt overeen met zo'n 50 duizend aansluitingen per jaar vanaf 2025 en 1,5 miljoen woningen in totaal. In de TKI-demowijken is aangetoond dat de hier voorgestelde manier van uitvoeren kosten-effectief is. De cases en feedback in Nivå en Capelle onderstrepen dit beeld.

Niet alleen in Nederland, maar ook in België, Denemarken, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk speelt de uitdaging van een duurzame warmtevoorziening in combinatie met effectieve aansluit technieken. In deze landen geldt niet zozeer de vangaslos motivatie, maar is de opgave in nieuwbouw zeer vergelijkbaar. De binnen TKI WINST ontwikkelde oplossingen zijn dus ook relevant in de ons omringende landen. Hiermee is het niet alleen een versneller voor de binnenlandse projecten, maar ook een bewezen exportproduct.

5.7 Potentie TCM in LT-warmtenetten

Het inzetten van een thermochemisch materiaal (TCM) bij de eindgebruiker in een laag temperatuurnetwerk is onderzocht in de drie voorgestelde temperatuur regimes. In alle drie de regimes zou de TCM een toegevoegde waarde kunnen hebben, enkel is de waarschijnlijkheid het hoogst in een 40/25 netwerk.

In een 20/10 net zal een TCM-systeem warmte kunnen leveren voor tapwater en verwarming, echter is het noodzakelijke opslagvolume boven de 10m^3 (afhankelijk van de isolatiewaarde van het huis). Dit is in deze studie niet als wenselijk ervaren, waardoor we de potentie van de TCM laag inschatten voor 20/10 netten.

Daarnaast is gekeken hoe een TCM-systeem in een 70/40 net kan functioneren. Het net op zichzelf heeft al voldoende temperatuur om de huizen te verwarmen en tapwater te leveren. De TCM kan hierdoor ingezet worden op momenten van piekvraag. In dit geval volstaat een TCM-systeem van minder dan 1m^3.

Uiteindelijk verwachten we dat TCM-systemen de meeste potentie hebben in een 40/25 net. Bij dit warmtenet is het noodzakelijk om in huis nog een voorziening te hebben voor tapwater. Een TCM-systeem kan dit met weinig elektra verbruik (en daarmee CO_2) uitstoot. Daarnaast kan het systeem bij piekvraag extra energie uit het netwerk halen door de retourtemperatuur te verlagen. Uit paragraaf 5.1 volgt dan dat TCM-systemen toepasbaar zijn in de 4,3 miljoen woningen, die aangesloten kunnen worden op een 40/25 net.

Daarnaast kan de TCM los van warmtenetwerken geplaatst worden, bijvoorbeeld in combinatie met een warmtepomp. Hierbij is een belangrijke voorwaarde dat de huizen voldoende geïsoleerd zijn (minimaal energielabel A). In 2016 gaat het om 11.4% van alle woningen in Nederland [13]. Dit betekent dat ongeveer 0,4 miljoen woningen die niet geschikt zijn voor aansluiting op een warmtenet wel geschikt zijn voor een TCM met warmtepomp systeem. Het totale potentieel voor TCM-systemen wordt daarmee geschat op 4,7 miljoen woningen, welke ingezet kunnen worden in combinatie met een warmtenetwerk of via een warmtepomp. De bijbehorende opslagcapaciteit van de TCM is ongeveer 1 GJ zijn (1.8m^3 systeem op basis van huidige materialen) welke met optimalisatie van het net/energiesysteem/type zonnecollectoren/ materialen verder verlaagd kan worden.

5.8 Conclusie potentieel inschatting

Voor de potentie van lage temperatuur warmtenetten in de bestaande bebouwde omgeving in Nederland zijn de volgende indicatieve schattingen gemaakt om een eerste gevoel te krijgen van hoe de potentie van de diverse technologieën zich ten opzichte van elkaar verhouden:

1. De totale potentie in de gebouwde omgeving van warmtenetten met een aanvoertemperatuur van maximaal 70ºC is 5,4 miljoen woningen. Rekening houdend met de inschatting van het Klimaatakkoord dat vanaf 2025 70 tot 100 duizend aansluitingen per jaar gerealiseerd kunnen worden, komen we uit op in totaal 2,6 miljoen woningen die aangesloten kunnen worden op een warmtenet. Dit is ongeveer een derde van het Nederlandse woningbestand.

2. Lage temperatuur aardwarmte heeft een potentieel van 3,8 miljoen woningen in de Nederlandse bebouwde omgeving.

3. Thermische energie uit oppervlaktewater heeft een technisch potentieel van 3,7 miljoen woningen in de Nederlandse bebouwde omgeving.

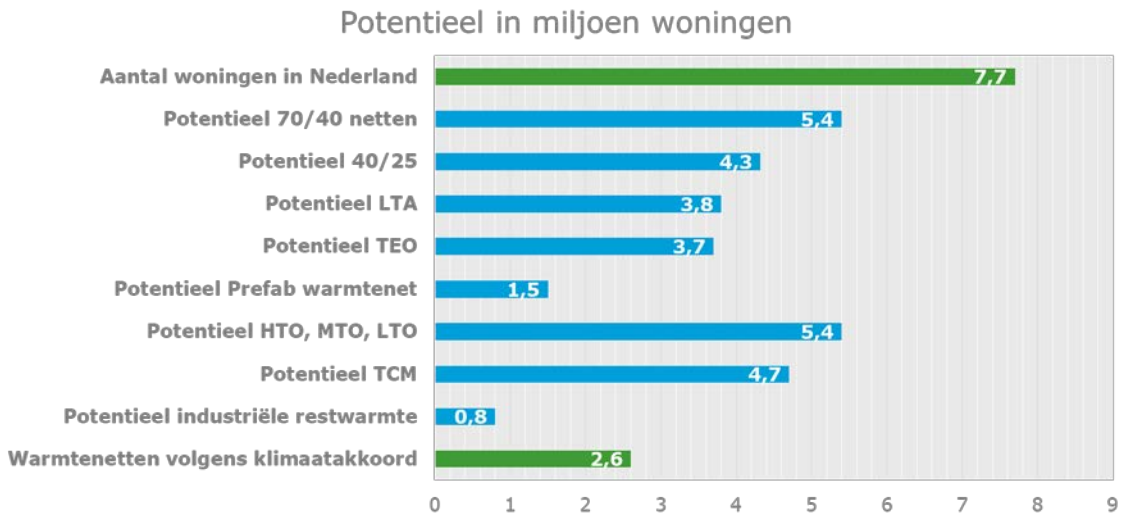
4. Industriële restwarmte heeft een potentieel van 0,8 miljoen woningen in de Nederlandse bebouwde omgeving.

5. De potentie voor flexibele en prefab warmtenet is volgens onze inschatting 60% van de woningen aan te sluiten op een warmtenet met een aanvoertemperatuur van 70ºC of lager. Dit komt overeen met zo'n 50 duizend aansluitingen per jaar vanaf 2025 en 1,5 miljoen woningen in totaal.

6. Het potentieel voor bodem opslag (LTO, MTO en HTO) is circa 5,4 miljoen woningen (verstedelijkheidsgraad 1, 2 en 3). HTO heeft potentie in warmtenetten met een warmtevraag van 125 TJ/jaar; MTO in warmtenetten met een warmtevraag van 75 TJ/jaar; en LTO in warmtenetten met een warmtevraag van 50 TJ/jaar.

7. TCM-systemen zijn geschikt in woningen met energielabel A. Het totale potentieel voor TCM-systemen is 4,7 miljoen woningen van het huidige woningbestand.

Figuur 59 laat de potentieel inschatting zien voor de verschillende warmtebronnen en bestudeerde innovatieve technieken in de bestaande bouw.



Figuur 59: Potentieel inschatting warmtenetten en innovatieve technieken

6 EIND CONCLUSIE

- De WINST studie heeft aangetoond dat in bestaande wijken met een hoge woondichtheid lage temperatuur warmtenetten goedkoper zijn dan individuele all-electric concepten.
- Welke configuratie van een lage temperatuur warmtenet het meest geschikt is, hangt af van de karakteristieken van de wijk, zoals de (toekomstige) warmtevraag en de beschikbaarheid van lage temperatuur warmtebronnen. Er is dus geen 'one size fits all' oplossing: voor elke wijk moet gekeken worden naar een 'beste warmte oplossing'. Maar daarbij wordt opgemerkt dat een wijk-voor-wijk aanpak ten koste gaat van een optimalisatie op gemeente/regio-niveau.
- Voor de bestudeerde wijken, die verschillen in woninggrootte, warmtevraag per woning en aansluitdichtheid, zijn alle 40/25 concepten duurder dan 70/40 vanwege huisaanpassingen (voornamelijk isolatiekosten) en hogere kosten warmtenet.
- Een innovatief 3-pijps systeem en een warmtenet dat in bedrijfstemperatuur kan zakken, geven meer flexibiliteit tegen geringe extra kosten. Deze flexibiliteit kan gebruikt worden om bijvoorbeeld lock-in in de toekomst te voorkomen of om ruimte open te laten voor toepassing van toekomstige ontwikkelingen op gebied van huisaanpassingen.
- Door het introduceren van een warmtenet kan de CO_2 sterk gereduceerd worden (60-80%). De gasgestookte piekvoorziening, dat wil zeggen de centrale gasketels die warmte leveren tijdens de piekvraag momenten, zorgt ervoor dat 100% CO_2 reductie niet mogelijk is. Het reduceren tot 100% vraagt om andere piekvoorzieningen.

Voor de verschillende innovatieve componenten zijn de volgende generieke conclusies getrokken

- Lage Temperatuur Aardwarmte bronnen en andere (duurzame) warmtebronnen zijn mogelijk in gebouwde omgeving als er voldoende schaalgrootte is en als ze ingezet worden als basislast in de warmtevoorziening
- Prefab, (geïsoleerde) kunststofleidingen met flexibele aansluiting zijn geschikt voor het versneld realiseren van 70/40 en 40/25 netten. Voor 20/10 netten zijn ongeïsoleerde leidingen ook geschikt.
- Midden Temperatuur Opslag (MTO) kan warmte opslaan van allerlei bronnen en daardoor een oplossing bieden voor het "badkuipprobleem". Onder huidige omstandigheden is MTO wel duurder dan een gasgestookte hulpwarmtecentrale.
- Een thermochemische warmtepomp/-opslag is qua kosten en CO_2-besparing vergelijkbaar met een booster warmtepomp voor het opwaarderen van de temperatuur op huisniveau, maar een thermochemische warmtepomp heeft nog een grotere bandbreedte in kosten en besparingspotentieel. Een thermochemische warmtepomp heeft potentieel wel een laag elektraverbruik in het stookseizoen, waardoor de CO_2-besparing gunstiger uit kan vallen.

7 AANBEVELINGEN VOOR NEDERLAND

Binnen dit project is onderzoek gedaan naar de technisch en economische haalbaarheid van lage temperatuur netwerken in de gebouwde omgeving. Er moeten wel verdere stappen gezet worden om de techniek klaar te maken voor marktimplementatie. Hierbij zal de focus liggen op het verlagen van (onderhouds)kosten door onder andere standaardisering en automatisering, maar ook naar de randvoorwaarden zoals de publieke opinie, wetgeving en organisatorische structuren. In onderstaande sectie geven we aanbevelingen voor de vier innovatieve technieken en het gecombineerde netwerk om warmtenetwerken verder te ontwikkelen richting marktimplementatie.

Netwerkmateriaal

Het binnen TKI WINST ontwikkelde kunststof prefab leidingsysteem is op kleine schaal gedemonstreerd in Nederland (Capelle) en Denemarken. De ervaringen van leverancier, aannemer, warmtebedrijf en bewoner worden zorgvuldig bekeken in de komende periode.

In de nabije toekomst wordt toegewerkt naar een grootschalige toepassing in een wijk waar gas wordt vervangen door warmte. Mogelijk kan dat in een van de aangewezen proeftuinen, waar de uitdagingen matchen met de geboden oplossing. Door stapsgewijs grotere gebieden aan te sluiten in het veld zal de kennis van het netwerkmateriaal en de manier van aanleggen toenemen. Dit moet leiden tot een verdere daling van kosten en aanlegtijd.

Daarnaast is nog verder onderzoek nodig naar:

- Implementatie van isoleermoffen, waar niet meer met de open vlam wordt gewerkt (mogelijk koudkrimp of lasmoffen).
- Toevoegen van netbewaking, waarmee schade/vochtintreding gedetecteerd kan worden.
- Aanleg techniek die het grondwerk vergemakkelijkt, te denken van aan zuig- en/of boortechnieken.
- Standaardiseren van aanleg van gelast kunststof in de stadsverwarming (NTA).

Decentrale warmte opslag in TCM

Dit project heeft aangetoond dat decentrale warmte opslag van nut is in de lage temperatuur netwerken (40/25 netwerk) waar huisaanpassingen voorzien waren. De toegevoegde waarde van deze opslag techniek is aangetoond, maar nog niet geoptimaliseerd binnen dit project. Het was lastig de waarde (economisch en milieu technisch) van lokale opslag systemen te kwantificeren in een globaal model. In de komende fase zal dit in meer detail moeten gebeuren, zodat de opslagcapaciteit van het decentrale warmte-opslag systeem beter gedimensioneerd kan worden.

Omdat de TCM vooral zijn waarde heeft in lage temperatuur netwerken, zal er goed gezocht moeten worden naar materialen die op deze lage temperatuur geladen kunnen worden, zodat het merendeel van de warmte uit het netwerk gehaald kan worden en er geen extra systemen zoals zonnecollectoren geïnstalleerd moeten worden. Of dat de decentraal geïnstalleerde zonnecollectoren gebruikt kunnen worden om decentraal in te voeden.

Daarnaast is nog verder onderzoek nodig naar:

- Verhogen van vermogen van de opslag om de korte termijn buffer te vermijden
- Verlagen van de oplaadtemperatuur met behoud van energiedichtheid
- Door verdere ontwikkeling het verlagen van de CAPEX van de batterij
- Testen van de batterij in representatieve test omgeving en daarna bij eindgebruikers.

MTO / HTO

Deze studie heeft laten zien dat een MTO en HTO een prima oplossing bieden om een gedeelte van de piekvraag in het warmtenetwerk op te vangen. In de komende periode zal dit verder gekwantificeerd moeten worden aan de hand van onderstaande verbeterpunten:

Koppel het bovengronds model aan het ondergronds model
In deze studie is een eerste verkenning uitgevoerd van de toepasbaarheid en haalbaarheid van energieopslag in combinatie met lage temperatuur warmtenetten. De analyse is uitgevoerd aan de hand van een jaarbelastingduurkromme van de warmtevraag. De ondergrondse opslag is meegenomen in de analyse aan de hand van een aantal kengetallen. In de praktijk zal er continu interactie zijn tussen het warmtenet en de warmtevraag. Geadviseerd wordt om een meer gedetailleerde analyse uit te voeren aan de hand van het vraagprofiel en om daarbij het ondergronds model te koppelen aan het bovengronds model. Dit zal een meer gedetailleerd inzicht geven in de toepasbaarheid en haalbaarheid van opslag in combinatie met een lage temperatuur warmtenet. Een dergelijk model kan ook ingezet worden bij projecten om reeds in een vroeg stadium de haalbaarheid te toetsen en het systeemconcept project specifiek te optimaliseren.

Optimaliseer de MTO cases op basis van de opslagtemperatuur
In deze studie wordt in de MTO warmte opgeslagen met een temperatuur van 55°C. Dit maakt het mogelijk om relatief lang door te gaan met directe warmtelevering bij koppeling met een 40/25°C warmtenet. Mogelijk wordt de MTO meer kosteneffectief door temperaturen van 45°C op te slaan. De mate van directe warmtelevering neemt dan af, maar voordelen zijn dat goedkopere materialen gebruikt kunnen worden en dat waterbehandeling niet noodzakelijk is.

Onderzoek de gevoeligheid van diverse parameters
In dit onderzoek zijn reeds verschillende cases onderzocht. Het inzicht in de toepasbaarheid van opslag kan verder onderzocht worden door de gevoeligheid van verschillende parameters te onderzoeken. Belangrijke parameters zijn onder andere de omvang van de warmtevraag, de opslagtemperatuur, het opslagrendement, de investeringskosten, onderhouds- en beheerskosten, energiekosten en systeemrendement van de warmtepomp.

Lage temperatuur aardwarmte

Op dit ogenblik is de economische haalbaarheid van de winning van Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA) afhankelijk van de beschikbaarheid van SDE-subsidie voor de afnemer van de aardwarmte. Om op termijn te komen tot een commercieel aantrekkelijke winning van LTA zonder subsidie moet nog een aantal stappen gezet worden in de ontwikkeling van de techniek en mogelijk ook in de regelgeving rond ondiepe geothermie. Hiervan zijn de belangrijkste punten:

- Het omlaag brengen van de kosten van het boren en completeren van ondiepe geothermische doubletten door het verder ontwikkelen van een speciale LTA boorinstallatie.
- Het optimaliseren van het put ontwerp voor ondiepe geothermie met het oog op andere risico's dan bij diepe geothermie.
- Het reduceren van onzekerheden en kosten door meerdere projecten achter elkaar als een campagne uit te voeren.
- Het verbeteren van het mechanisme van het bundelen van warmtevraag.
- Het vergroten van de kennis van de geologie van Nederland voor dieptes tussen 500 en 1500 meter onder maaiveld en het in kaart brengen van de geologie van Nederland in die gebieden die door gebrek aan kans op steenkool en olie- en gas, geologisch minder intensief zijn onderzocht ("witte vlekken").

Implementatie van een laag temperatuur netwerk

Wij concluderen op basis van de gegevens verzameld in dit project, dat lage temperatuur netwerken economisch en technisch haalbaar zijn. Enkel zal het nodig zijn om verschillende onderdelen in het netwerk nog beter uit te werken en te kijken of een nog verdere verduurzaming van het net mogelijk is. Op het technische vlak zal er op onder andere onderstaande punten verdere stappen gezet kunnen worden:

- De piekvoorziening verduurzamen, welke op dit moment nog met een centrale gasketel geregeld is. Er zijn op dit moment een aantal opties bekend, maar de sterktes en zwaktes van deze oplossingen naast de CAPEX en OPEX zijn nog niet onderzocht.
- Het introduceren van seizoen fluctuaties in het model. Hierbij kan gedacht worden aan stooklijnen, maar ook aan verwachte groene energie productie over het jaar heen. Dit zal effect hebben op de totale CO_2-reductie met de toekomstige netwerken.
- Decentraal invoeren van warmte uit zonnecollectoren of andere lokale duurzame bronnen.
- Verder uitwerken van plannen om door stapsgewijze reductie van de netwerktemperatuur (of driepijpsysteem) de duurzaamheid van het netwerk te verhogen en de eindgebruikers mee te krijgen.

Naast de technische ontwikkelingen zal het ook noodzakelijk zijn op organisatorisch vlak verbeteringen door te voeren. In de gehele verduurzaming vraagstuk is dit van belang, maar zeker ook bij een collectieve oplossing als een warmtenet. Hierbij moet gedacht worden aan:

- Onderzoek beter de isolatie naar energielabel B qua timing en noodzaak. Afhankelijk van specifieke situaties en comfort eisen zou met een hogere isolatie ook al gewerkt kunnen worden.
- Onderzoek of de comfort eisen, zoals gegarandeerd verwarmen naar 21ºC bij een x-aantal dagen strenge vorst van -10ºC of lager, noodzakelijk zijn. De extra kosten in isolatie en warmte-aanbod zijn erg hoog voor een situatie die zich zelden voordoet.
- Verbeteren van de datastructuur: landelijk energie atlassen zijn onvolledig, mede vanwege het lastig verkrijgen van data zoals BAG gegevens (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) van gemeentes. Hierdoor is het in kaart brengen van huidige vraag, lokale bronnenpotentieel en locatie specifieke kosten gecompliceerd.
- Onderzoek naar financieringsmogelijkheden van de gevraagde investeringen voor huiseigenaren, bewoners, netbeheerders, etc.

8 REFERENTIES

[1] „Klimaat Akkoord 2019, Climate Agreement".

[2] „PBL en ECN, Nationale Energieverkenner 2017".

[3] „Warmtetarieven ACM, 2019: https://www.acm.nl/nl/warmtetarieven," [Online].

[4] „CBS 2018, kerncijfers wijken en buurten, https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/," [Online].

[5] „CE Delft and IF Technology, 2018, Weg van gas Kansen voor de nieuwe concepten Lage Temperatuur Aardwarmte en Mijnwater".

[6] „If Technology, 2016, Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem".

[7] „CE Delft en Deltares, 2018, Nationaal potentieel van aquathermie. Analyse en review van de mogelijkheden".

[8] „KWA, 2016, Het elektrisch energieverbruik en het warmteaanbod van koelinstallaties voor een veertigtal bedrijfssectoren".

[9] „PBL, 2017, Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland".

[10] „SKB, 2013, Position Paper Hogetemperatuuropslag".

[11] „RVO Nationaal Expertisecentrum Warmte, https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2," [Online].

[12] „RVO, https://wkotool.nl/," [Online].

[13] „https://www.clo.nl/indicatoren/nl055606-energielabels-woningen," [Online].

[14] „Arcadis, 2013, AgentschapNL_20130618_Maatwerkadvies Bestaande Woningbouw 2013".

[15] „CEDelft en DNV GL, 2014, Scenario-ontwikkeling energievoorziening 2030".

[16] „ECN, 2013, Energiebesparing: een samenspel van woning en bewoner. Analyse van de module Energie WoON 2012".

[17] I. V. Majcen, „Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings: What causes the differences?," *Energy Policy,* vol. 61, pp. 460-471, 2013.

[18] „RVO, Verkenner Hoge Ambities, https://energiebesparingsverkenner.rvo.nl/#," [Online].

[19] „ Nieman en MilieuCentraal, 2018, Verkenning tool aardgasvrije bestaande woningen".

BIJLAGE A. LIJST MET AFKORTINGEN

afkorting	
BTW	Belasting Toegevoegde Waarde (omzetbelasting)
COP	Coefficient of performance
CV	Centrale verwarming
HWC	Hulpwarmtecentrale
HT	Hoge temperatuur
HTO	Hoge temperatuur opslag
LS	Laag spanningsnet
LT	Lage temperatuur
LTA	Lage temperatuur aardwarmte
MS	Midden spanningsnet
MTO	Midden temperatuur opslag
SCOP	Seasonal coefficient of performance
TCM	Thermochemische materialen
TEA	Thermische energie uit afvalwater
TED	Thermische energie uit drinkwater
TEO	Thermische energie uit oppervlaktewater
WACC	Weighted average cost of capital (kapitaalkosten)
WEQ	Woning equivalent
WKO	Warmte-koude opslag
WINST	Warmte Infrastructuur Nederland met verlaagde Systeem Temperatuur
WP	Warmtepomp
ZT	Zonthermie

BIJLAGE B. UITGANGSPUNTEN DEMOWIJKEN

Centrale aannames

- Elektriciteit wordt opgewekt met een constant duurzaamheidsaandeel
- COP voor bronnen is constant, wel wordt er gerekend met een Seasonal Coefficient of Performance (SCOP)
- Energiebelasting voor grootverbruikers o.b.v. belastingschijf 170.000 – 1.000.000 m^3 gas per jaar en 50 – 10.000 MWh elektriciteit
- Alle gegeven prijzen zijn offerteprijzen excl. btw
- Ontbrekende kosten:
  - Project engineering van overall project (wel meegenomen voor de verschillende componenten)
  - Exploitatiekosten op te richten warmtebedrijf (facturatie, management, administratie, …)
  - Aanpassen inpandig leidingwerk vanaf voordeur tot afleverset (bijv. In het geval afleverset op zolder geïnstalleerd wordt)
  - Financieringslasten
  - BTW

Kentallen alle demowijken

Wat	Uitgangspunt [laag; **midden**; hoog]	Bron
Percentage duurzame elektriciteit (2030)	50% - **63%** - 76%	NEV 2017 [2]
Elektriciteitsprijs huishoudens	147 - **161** – 197 EUR/MWh	NEV 2017 met huidige belastingtarieven [2]
Elektriciteitsprijs industrie	48 – **62** – 98 EUR/MWh	NEV 2017 met huidige belastingtarieven [2]
Gasprijs huishoudens	53 – **58** – 60 EUR/MWh	NEV 2017 met huidige belastingtarieven [2]
Gasprijs industrie	23 – **40** – 42 EUR/MWh	NEV 2017 met huidige belastingtarieven [2]
CO_2-prijs	14 – **16** – 75 EUR/ton	NEV 2017 met huidige belastingtarieven [2]

Wat	Uitgangspunt	Bron
Doorstroomverwarmer	€1.000 (±30%)	Inclusief buffer
Boosterwarmtepomp	€2.500 (±30%)	Itho Boosterwarmtepomp, incl. buffer
TCM	€4.000 (-75% - +100%)	TNO/TUe
Zonnecollectoren	€1.700 (±30%)	TNO/Tue
Afleverset warmtenet	€1.650 (±30%)	Maatregelen EPA-Maatwerkadvies Bestaande Woningbouw 2013 [14]
Lage temperatuur convectoren per m^2	32 €/m^2 (±30%)	Vesta 2.0
Lucht-water warmtepomp	€8.000 (±30%)	kennis.greenhome.nl/
Bodemwater-water warmtepomp	€15.000 (±30%)	kennis.greenhome.nl/
Netverzwaring bij lucht-water warmtepomp	4x €862= €3.500 (±30%)	Scenario-ontwikkeling energievoorziening 2030, CE Delft/DNV GL (2014) [15]

		CAPEX High = netverzwaring LS + MS Bodem/water-WP 1kWe verzwaring, lucht 4kWe
Netverzwaring bij bodemwater warmtepomp	€862 (±30%)	Scenario-ontwikkeling energievoorziening 2030, CE Delft/DNV GL (2014) [15] CAPEX High = netverzwaring LS + MS Bodem/water-WP 1kWe verzwaring, lucht 4kWe
CV-ketel	2.000 (±10%)	

Wat	Uitgangspunt	Bron
Lucht-water-warmtepomp	SCOP Ruimtewater 3 SCOP Tapwater 2 OPEX 3%	Consortium
Bodemwater-water-warmtepomp	SCOP Ruimtewater 5 SCOP Tapwater 3 OPEX 3%	Consortium
CO_2-warmtepomp	SCOP Ruimtewater 3,5 SCOP Tapwater 3,5 OPEX 3%	Consortium
Boosterwarmtepomp	SCOP Tapwater 3,75 OPEX 3%	Consortium
Doorstroomverwarmer	2/3 warmte uit net (bij 40 graden net) 1/3 warmte uit elektriciteit rendement: 95% OPEX 1%	Consortium
Centrale HWC	CAPEX: 100 €/kW (±20%) OPEX: 3%	DNV GL
Centrale elektrische boiler	CAPEX: 200 €/kW (±20%) OPEX: 3%	DNV GL

BIJLAGE C. KENTALLEN DEMOWIJK A

Wat	Uitgangspunt	Bron
Warmtevraagprofiel	Gemeten profiel van deze wijk. Geschaald o.b.v. aantal woningen. 36 GJ/woning/jr	Warmteleverancier
Aantal woningen	1650: 1000 appartementen, 650 rijtjeshuizen. Grotendeels eigendom van woningcorporatie.	Warmteleverancier
Isolatieniveau	Energielabel C/D	Warmteleverancier
Restwarmteprijs	7 €/GJ (±20%)	Warmteleverancier
Duurzaamheid restwarmte	Laag: 273% Midden: 90% Hoog: COP 15	DNV GL: EPC-normen: Laag: o.b.v. STEG Midden: o.b.v. restwarmte 90% duurzaam Hoog: restwarmte COP 15 elektrisch
Besparing ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → B	16,7%	ECN (2013). [16] Majcen, Itard, Vischer (2013). [17] Energiebesparingsverkenner. [2]
Besparing ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A	33%	ECN (2013). [16] Majcen, Itard, Vischer (2013). [17] Energiebesparingsverkenner. [2]
Besparing ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A++	75%	ECN (2013). [16] Majcen, Itard, Vischer (2013). [17] Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten appartement ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → B	€5.500 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2] Hoge Ambities RVO. [18] Verkenning Tool Aardgasvrije Bestaande Woningen. [19]
Kosten appartement ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A	€11.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten appartement ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A++	€25.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten rijtjeshuis ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → B	€6.500 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2] Hoge Ambities RVO. [18] Verkenning Tool Aardgasvrije Bestaande Woningen. [19]
Kosten rijtjeshuis ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A	€13.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten rijtjeshuis ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A++	€30.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]

Wat	Uitgangspunt	Bron
LTA 8,1 MWth met WP naar 70 °C	M€12 investering (±30%) COP: 3,0 O&M: 2%	IF Technology / V&SH
LTA 2 MWth met WP naar 40 °C	M€5,6 investering (±30%) COP: 4,7 O&M: 3%	IF Technology / V&SH
LTA 6,8 MWth met WP naar 40 °C	M€10 investering (±30%) COP: 4,7 O&M: 2%	IF Technology / V&SH
TEO (incl. WKO) 2 MWth zonder WP	M€2,9 investering (±30%) O&M: 2%	IF Technology
WP voor TEO naar 70 °C	M€1,0 investering (±30%) Overall systeem COP: 2,8 O&M: 2%	DNV GL
WP voor TEO naar 40 °C	M€0,5 investering (±30%) Overall systeem COP: 4,4 O&M: 2%	DNV GL
MTO 3,2 MWth / 3,2 GWh voor 40/25 net	M€2,8 investering (±30%) O&M: 3% Opslagrendement (seizoen): 77%	IF Technology

Wat	Uitgangspunt	Bron
Warmtenet 70/40 bij energielabel B	M€6,6 investering (±30%) 13% Netverlies CAPEX-factor[14]: x3	Thermaflex
Warmtenet 70/40 bij energielabel A++	M€4,5 investering (±30%) 18% Netverlies CAPEX-factor: x3	Thermaflex
Warmtenet 40/25 bij energielabel A	M€9,0 investering (±30%) 10% Netverlies CAPEX-factor: x3	Thermaflex
Warmtenet 40/25 bij energielabel A++	M€6,0 investering (±30%) 15% Netverlies CAPEX-factor: x3	Thermaflex
Warmtenet 20/10 bij energielabel A	M€4,0 investering (±30%) 2% Netverlies CAPEX-factor: x5	Thermaflex

[14] CAPEX van het warmtenet wordt aangenomen gelijk te zijn aan een vaste factor maal de kosten van het materiaal.

Warmtenet 20/10 bij energielabel A++	M€3,0 investering (±30%) 3,5% Netverlies CAPEX-factor: x5	Thermaflex

BIJLAGE D. KENTALLEN DEMOWIJK B

Wat	Uitgangspunt	Bron
Warmtevraagprofiel	Gemeten profiel van demowijk A. Geschaald naar gasverbruik van deze wijk.	Warmteleverancier demowijk A
Warmtevraag	Totaal gasverbruik, 45 GJ/woning/jr	Alliander
Aantal woningen	445 woningen: 100 appartement, 345 2-onder-1 kap. Ongeveer 50% eigendom van woningcorporatie.	Bewoners
Isolatieniveau	Energielabel C/D	Bewoners
Restwarmteprijs Parenco	8 €/GJ (±20%)	Bewoners
Duurzaamheid restwarmte	Laag: 273% Midden: 90% Hoog: COP 15	DNV GL: EPC-normen: Laag: o.b.v. STEG Midden: o.b.v. restwarmte 90% duurzaam Hoog: restwarmte COP 15 elektrisch
Besparing ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → B	16,7%	ECN (2013). [16] Majcen, Itard, Vischer (2013). [17] Energiebesparingsverkenner. [2]
Besparing ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A	33%	ECN (2013). [16] Majcen, Itard, Vischer (2013). [17] Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten appartement ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → B	€5.500 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2] Hoge Ambities RVO. [18] Verkenning Tool Aardgasvrije Bestaande Woningen. [19]
Kosten appartement ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A	€11.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten rijtjeshuis ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → B	€6.500 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2] Hoge Ambities RVO. [18] Verkenning Tool Aardgasvrije Bestaande Woningen. [19]
Kosten rijtjeshuis ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel C/D → A	€13.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]

Wat	Uitgangspunt	Bron
LTA 7,3 MWth met WP naar 70°C	M€11,6 investering (±30%) COP: 3,0 O&M: 2,8%	IF Technology / V&SH
LTA 1,8 MWth met WP naar 40 °C	M€5,4 investering (±30%) COP: 4,7 O&M: 3%	IF Technology / V&SH

LTA 6,1 MWth met WP naar 40 °C	M€9,5 investering (±30%) COP: 4,7 O&M: 3,4%	IF Technology / V&SH
WKO + dry-coolers met WP naar 70 °C	M€1,7 investering (±30%) COP: 2,5 O&M: 4%	Linthorst
WKO + dry-coolers met WP naar 40 °C	M€1,5 investering (±30%) COP: 4,0 O&M: 4%	Linthorst
Warmtepomp voor opwaarderen Parenco restwarmte	500 €/kW COP: 3,8 O&M: 4%	IF Technology

Wat	**Uitgangspunt**	**Bron**
Warmtenet 70/40	M€2,1 investering (±30%) 18% Netverlies CAPEX-factor[15]: x3	Thermaflex
Warmtenet 40/25	M€2,9 investering (±30%) 13% Netverlies CAPEX-factor: x3	Thermaflex

[15] CAPEX van het warmtenet wordt aangenomen gelijk te zijn aan een vaste factor maal de kosten van het materiaal.

BIJLAGE E. KENTALLEN DEMOWIJK C

Wat	Uitgangspunt	Bron
Warmtevraagprofiel	Gemeten profiel van demowijk A. Geschaald naar gasverbruik van deze wijk.	Warmteleverancier demowijk A
Warmtevraag	Totaal gasverbruik, 65 GJ/woning/jr	Stedin jaarverbruik op postcode-6 niveau.
Aantal woningen	2378: 597 2-onder-1 kap 1552 rijtjeshuizen 239 appartementen	
Isolatieniveau	Energielabel F/G	
Besparing ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → B	33%	ECN (2013). [16] Majcen, Itard, Vischer (2013). [17] Energiebesparingsverkenner. [2]
Besparing ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → A	44%	ECN (2013). [16] Majcen, Itard, Vischer (2013). [17] Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten appartement ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → B	€8.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten appartement ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → A	€10.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten 2-onder-1 kap ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → B	€20.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten 2-onder-1 kap ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → A	€30.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten rijtjeshuis ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → B	€14.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]
Kosten rijtjeshuis ruimtewarmtevraag isolatie van energielabel F/G → A	€20.000 (±30%)	Energiebesparingsverkenner. [2]

Wat	Uitgangspunt	Bron
Geothermie 7 MWth 75°C	M€16,5 investering (±20%) COP: 12,0 O&M: 2,8%	IF Technology / V&SH

Retourleiding GEO-centrale inclusief warmtepomp 55°C	M€4,8 investering (±20%) COP: 3,5 O&M: 1,9% 3 €/GJ kosten voor warmte van GEO-retourleiding	DNV GL en energiecoöperatie
Zonthermie 4 MWth	M€3 investering (±50%) O&M: 0,5%	DNV GL
Dag-nacht buffer behorend bij zonthermie	M€0,6 investering (±20%) Rendement: 95% O&M: 3%	DNV GL
TED 2,3 MWth met warmtepomp en WKO voor aansluiting op 70/40 net	M€3,3 investering (±20%) COP: 2,9 O&M: 2,6%	IF Technology
TEA 5,0 MWth met warmtepomp en WKO voor aansluiting op 70/40 net	M€5,9 investering (±20%) COP: 2,9 O&M: 3,7%	IF Technology
TEO 2,6 MWth met warmtepomp en WKO voor aansluiting op 70/40 net	M€3,5 investering (±20%) COP: 2,9 O&M: 2,7%	IF Technology
TED 2,3 MWth met warmtepomp en WKO voor aansluiting op 40/25 net	M€3,2 investering (±20%) COP: 2,9 O&M: 2,6%	IF Technology / DNV GL
TEA 5,0 MWth met warmtepomp en WKO voor aansluiting op 40/25 net	M€5,6 investering (±20%) COP: 2,9 O&M: 3,7%	IF Technology / DNV GL
TEO 2,6 MWth met warmtepomp en WKO voor aansluiting op 40/25 net	M€3,4 investering (±20%) COP: 2,9 O&M: 2,7%	IF Technology /DNV GL
Warmtepomp voor extra uitkoelen Geothermie 3,5 MWth	M€1,4 investering (±20%) COP: 4,3 O&M 3%	DNV GL

Wat	**Uitgangspunt**	**Bron**
Warmtenet 70/40	M€18,8 investering (±30%) 13% Netverlies CAPEX-factor[16]: x3	Thermaflex

[16] CAPEX van het warmtenet wordt aangenomen gelijk te zijn aan een vaste factor maal de kosten van het materiaal.

Warmtenet 40/25	M€22,5 investering (±30%) 9% Netverlies CAPEX-factor: x3	Thermaflex
Warmtenet 70/40/25	M€33 investering (±30%) 17% Netverlies CAPEX-factor: x3	Thermaflex

BIJLAGE F. KENTALLEN VAN CONCEPTEN UIT HOOFDSTUK 4

De volgende tabellen geven een overzicht van kentallen voor de financieel meest voordelige warmteconcepten in de drie demowijken. Tabel 11 betreft 70/40 warmtenetten, met isolatie tot energielabel B; Tabel 12 betreft 40/25 netten, met isolatie tot energielabel A. Tabel 13 betreft all-electric concepten met individuele lucht-water warmtepompen en isolatie tot energielabel A. Tabel 14 betreft concepten met individuele gasketels en isolatie tot energielabel B.

Tabel 11: Vergelijking 70/40 warmteconcepten voor drie wijken

70/40 warmtenet concept (energielabel B)						
WIJK	Totale warmtevraag [TJ/jaar]	Warmtebron	Jaarlijkse kosten [EUR/woning/jaar]	CO_2-besparing [%]	Kosten per vermeden CO_2 uitstoot [EUR/ton]	Integrale warmte kosten [EUR/GJ]
A	51	Restwarmte	855	66	546	24
B	17	Restwarmte	1.243	55	796	27
C	123	GEO	1.561	87	388	24

Tabel 12: Vergelijking 40/25 warmteconcepten voor drie wijken

40/25 warmtenet concept (energielabel A)						
WIJK	Totale warmtevraag [TJ/jaar]	Warmtebron	Jaarlijkse kosten [EUR/woning/jaar]	CO_2-besparing [%]	Kosten per vermeden CO_2 uitstoot [EUR/ton]	Integrale warmte kosten [EUR/GJ]
A	44	Restwarmte	1.369	77	756	51
B	14	Restwarmte	1.434	78	725	45
C	106	TEA/TEO	2.004	82	528	36

Tabel 13: Vergelijking all-electric concepten met individuele lucht-water warmtepompen

all-electric met individuele lucht-water warmtepomp (energielabel A)					
WIJK	Totale warmtevraag [TJ/jaar]	Jaarlijkse kosten [EUR/woning/jaar]	CO_2-besparing [%]	Kosten per vermeden CO_2 uitstoot [EUR/ton]	Integrale warmte kosten [EUR/GJ]
A	44	1.735	77	955	66
B	14	1.810	81	768	56
C	106	2.414	81	642	44

Tabel 14: Vergelijking individuele gasketel concepten

individuele gasketel (energielabel B)					
WIJK	Totale warmtevraag [TJ/jaar]	Jaarlijkse kosten [EUR/woning/jaar]	CO_2-besparing [%]	Kosten per vermeden CO_2 uitstoot [EUR/ton]	Integrale warmte kosten [EUR/GJ]
A	51	1.239	12	4.343	40
B	17	1.408	13	3.770	36
C	123	1.911	28	1.466	30