



# Notitie

## Kenmerken

<b>Project</b>	21288 Potentiëstudie elektriciteit en warmte Wijk bij Duurstede	<b>Datum</b>	12-2-2024
<b>Auteur</b>	T.A. Boschma MSc.	<b>Co-lezer</b>	ing. R.N. Jansen
<b>Onderwerp</b>	Rapport potentiëstudie elektriciteit en warmte Wijk bij Duurstede	<b>Status</b>	Definitief
		<b>Kenmerk</b>	21288-887711

# Rapport potentiëstudie elektriciteit en warmte Wijk bij Duurstede

---

## Inhoud

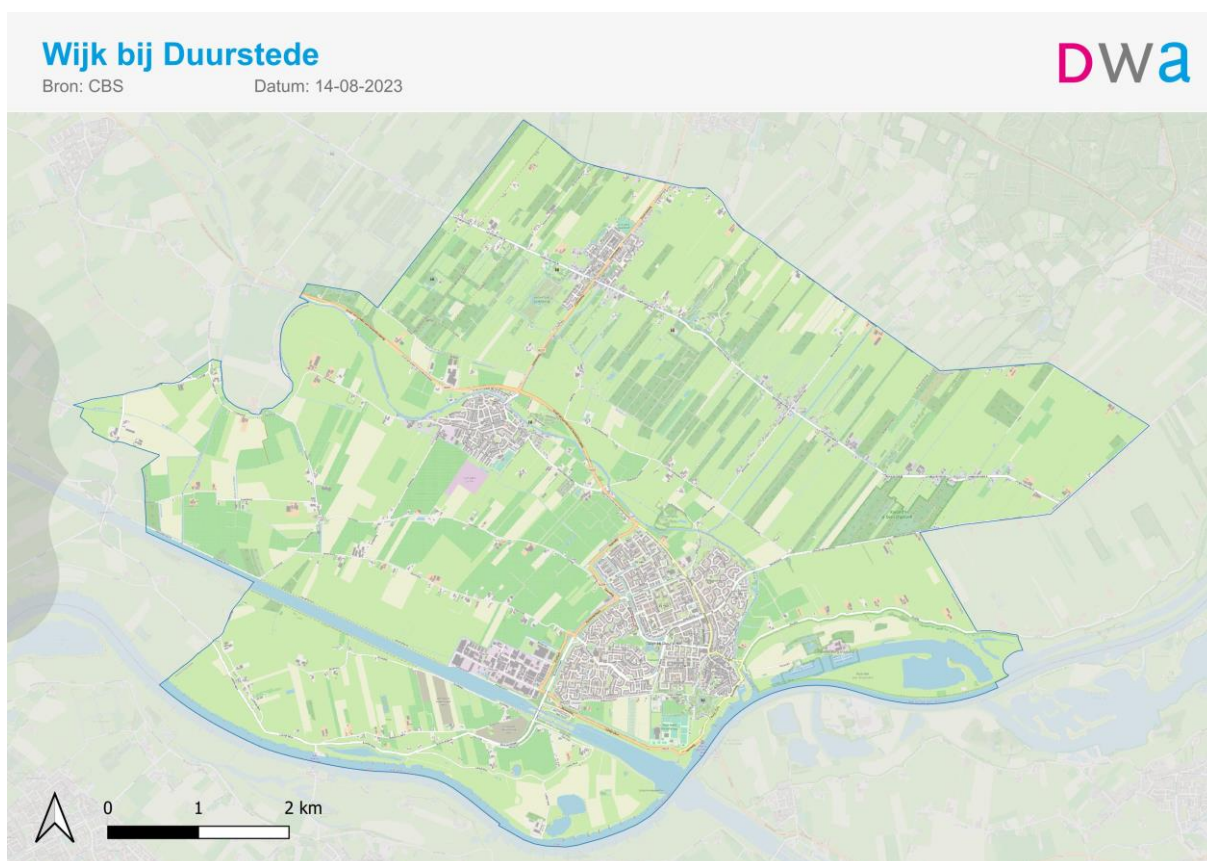
<b>1</b>	<b>Inleiding &amp; aanleiding</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>De opgave</b>	<b>4</b>
2.1	Energiegebruik woningen voor verwarming	6
2.2	Energiegebruik utiliteit (industrie, en overige gebouwen)	7
2.3	Elektriciteitsgebruik in Wijk bij Duurstede	7
2.4	Totale energievraag Wijk bij Duurstede	8
<b>3</b>	<b>Opwekkingspotentieel duurzame elektriciteit</b>	<b>8</b>
3.1	Zon op land en daken	8
3.2	Wind op land; grote windturbines	9
3.3	Wind op land; kleine windturbines	10
3.4	Waterkracht	11
3.5	Kernenergie: grote reactoren	11
3.6	Kernenergie: small modular reactors	11
3.7	Overzicht technieken energieopwekking	12
3.8	Warmte	13
<b>3.8.1</b>	<b>Geothermie van ondiep naar diep</b>	<b>13</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Zonnewarmte</b>	<b>15</b>
<b>3.8.3</b>	<b>Warmte uit oppervlaktewater (TEO)</b>	<b>16</b>
<b>3.8.4</b>	<b>Warmte uit afvalwater (TEA)</b>	<b>18</b>
<b>3.8.5</b>	<b>Warmte uit drinkwater (TED)</b>	<b>18</b>
<b>3.8.6</b>	<b>Restwarmte hoge en lage temperatuur</b>	<b>19</b>
<b>3.8.7</b>	<b>Biogas</b>	<b>19</b>
<b>3.8.8</b>	<b>Verbranden biomassa</b>	<b>20</b>
<b>3.8.9</b>	<b>Omgevingswarmte</b>	<b>20</b>
<b>3.8.10</b>	<b>Samenvattende tabel</b>	<b>20</b>
3.9	Verwarmingstechnieken	21
<b>3.9.1</b>	<b>Lucht-water warmtepomp</b>	<b>21</b>
<b>3.9.2</b>	<b>Bodem warmtepompen</b>	<b>23</b>
<b>3.9.3</b>	<b>Pelletkachel</b>	<b>24</b>
<b>3.9.4</b>	<b>Waterstof ketel</b>	<b>25</b>
<b>3.9.5</b>	<b>Infraroodpanelen</b>	<b>26</b>
<b>3.9.6</b>	<b>Zeer lage temperatuur warmtenet (gevoed door TEO/TEA)</b>	<b>27</b>
<b>3.9.7</b>	<b>Middentemperatuur warmtenet (gevoed door TEO/TEA/geothermie)</b>	<b>28</b>
<b>3.9.8</b>	<b>Overzichtstabellen</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>Vervoer</b>	<b>32</b>
<b>Bronnenlijst</b>	<b>52</b>	

## 1 Inleiding & aanleiding

Op basis van de Parijsakkoorden en de hieruit volgende invulling door de verschillende Europese landen zullen woningen in Nederland aardgasvrij verwarmd moeten worden in 2050. En zal nagenoeg alle benodigde energie in 2050 fossielvrij opgewekt moeten worden. Ook de gemeente Wijk bij Duurstede heeft hier invulling aan gegeven, bijvoorbeeld door het opstellen van een transitievisie waarbij de route naar aardgasvrije verwarming, van de gebouwen in de gemeente, en de duurzame opwek van elektriciteit binnen de gemeentegrenzen wordt uitgestippeld. Een belangrijk onderdeel hierin is het meenemen van de bewoners in keuzes en overwegingen. Om hiermee te starten wil de gemeente eerst goed duidelijk hebben welke mogelijkheden er zijn voor het aardgasvrij verwarmen van de gebouwen en voor de opwek van CO<sub>2</sub>-neutrale elektriciteit in Wijk bij Duurstede. In dit rapport wordt hier een eerste stap in gezet: bestaande onderzoeken zijn gecombineerd, en waar nog tekorten waren is op hoofdlijnen onderzocht wat de potentie van de verschillende warmtebronnen is. Hierbij is in eerste instantie gekeken naar de technische potentie van verschillende bronnen. Omdat het verwarmen van woningen uit meer bestaat dan alleen de warmtebron is vervolgens een potentie van elektriciteitsopwekking verzameld, en zijn tot slot verschillende technieken voor het verwarmen van de woningen beschreven met de verschillende eigenschappen. Hierdoor worden voor- en nadelen van de technieken inzichtelijk.

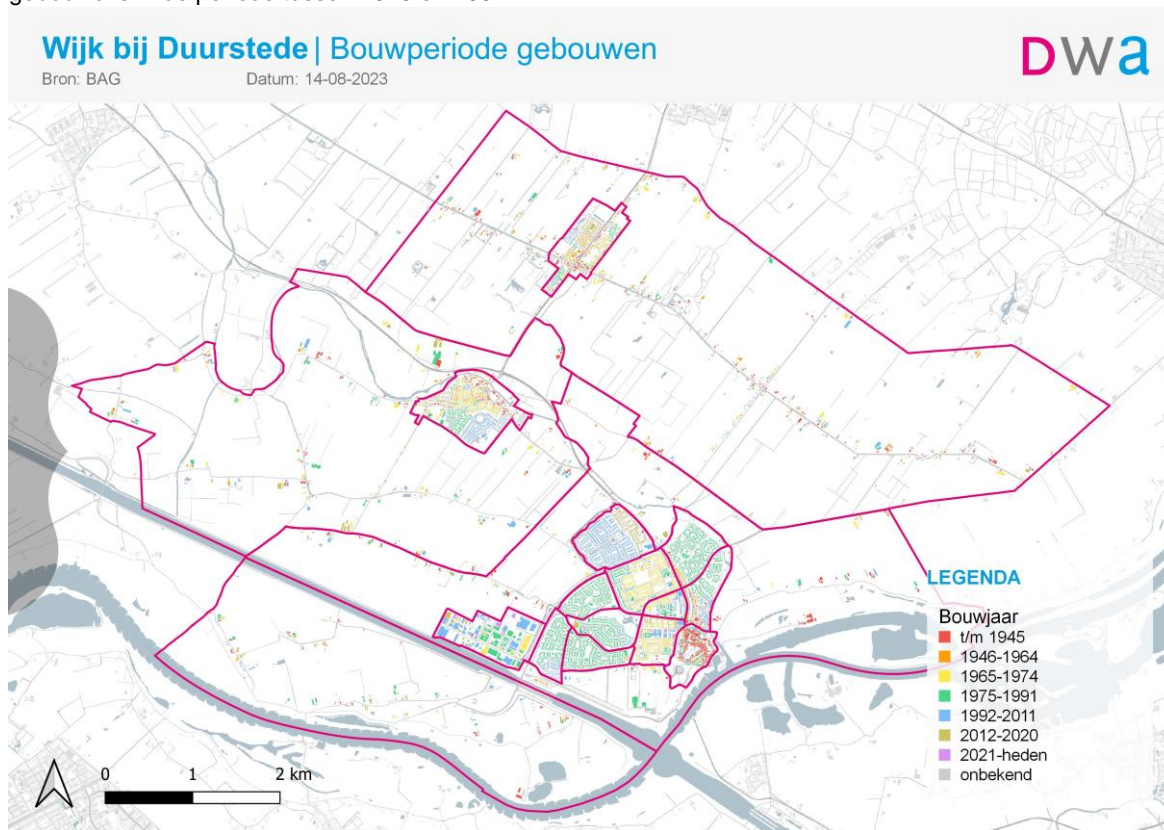
## 2 De opgave

Wijk bij Duurstede bestaat uit drie kernen: Wijk bij Duurstede, Cothen en Langbroek. In onderstaande afbeelding is de gemeente weergegeven.



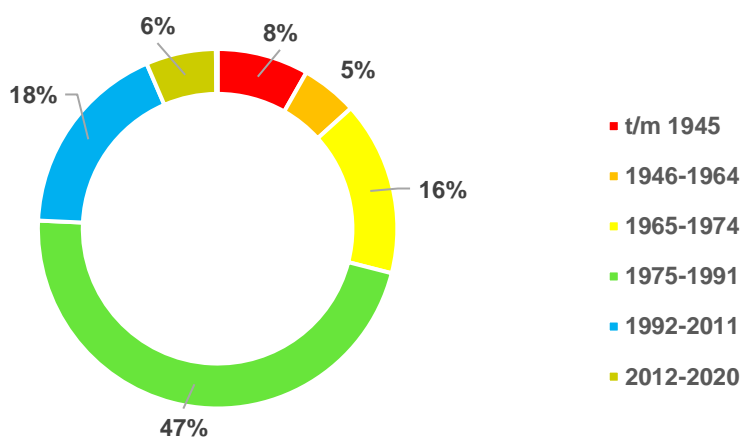
Afbeelding 2-1: overzichtskaatr Wijk bij Duurstede

Dit onderzoek richt zich op twee onderdelen: de opwek van duurzame elektriciteit voor processen, verwarming, dagelijks gebruik en vervoer, en aardgasvrije verwarming van gebouwen. Om de benodigde energie voor het aardgasvrij verwarmen van de gebouwen, en de mogelijke technieken hiervoor in kaart te brengen is het van belang om de staat van de bebouwing scherp te hebben. Een goede inschatting hier voor is de bouwperiode van de gebouwen. Duidelijk is dat de gebouwen, in het buitengebied en de kernen Cothen en Langbroek per buurt zeer gevarieerde bouwperiodes hebben. In Grafiek 2-1 wordt duidelijk dat het merendeel van de woningen gebouwd is in de periode tussen 1975 en 1991.



Afbeelding 2-2: Overzicht leeftijd gebouwen Wijk bij Duurstede

## Bouwperiode woningen Wijk bij Duurstede

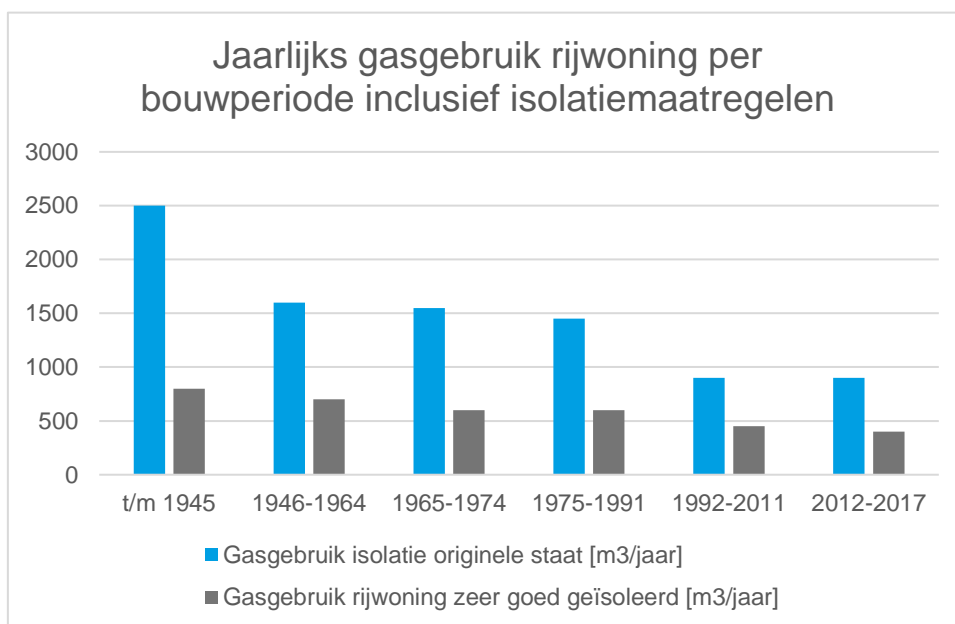


Grafiek 2-1: Overzicht bouwperiode woningen Wijk bij Duurstede



## 2.1 Energiegebruik woningen voor verwarming

Op basis van eerder onderzoek van Overmorgen en Wijk bij Duurstede<sup>i</sup> wordt het gemiddelde gasgebruik per woning geschat op 1.200 m<sup>3</sup>/jaar. Om deze aantallen te controleren is hier naast ook een eigen berekening gemaakt van het gasgebruik voor koken en verwarmen. Hierbij is voor iedere bouwperiode een gasgebruik per woning ingeschat. Dit is gebaseerd op het meest voorkomende woningtype (een rijwoning), en kenmerkende eigenschappen van de woningen uit deze bouwperiode. Zo gaan we er bij voorbeeld van uit dat woningen van voor 1945 geen vloerisolatie hebben, maar woningen na 1991 dit wel hebben. De uitgangspunten hiervoor zijn bijgevoegd in Bijlage 1. De uitkomsten van de gasverbruiken zijn vervolgens bijgeschaald om aan te sluiten op het gemiddelde gasgebruik zoals dat bekend is op postcode-zes niveau van het CBS. Hierdoor hebben we het juiste startpunt, maar kunnen we ook de voordelen van extra isolatie per bouwperiode goed inschatten. Het gemiddeld gasgebruik van de woningen wordt op dit moment ingeschat op 1.400 m<sup>3</sup>/jaar op basis van deze rekenmethode. Dit zullen we daarom ook gebruiken als uitgangspunt voor het vervolg van de berekeningen. Voordat het energiegebruik voor verwarming van de woningen verduurzaamd zal worden is het ten eerste van belang om het energieverbruik te verlagen. Dit kan door isolatie en gedragsaanpassingen. Een verlaging van het energiegebruik door isolatie en gedragsaanpassingen kan positieve gevolgen hebben voor bewoners doordat zij kosten besparen, zonder dat zij inleveren op comfort in de woning. In onderstaande grafiek is de mogelijke besparing in het gasgebruik door isolatie per bouwperiode weergegeven. De besparing is deels afhankelijk van de mogelijkheid om isolerende maatregelen toe te passen: zo gaan we er van uit dat een woning uit 1945 niet tot op het zelfde niveau geïsoleerd kan worden als een woning uit 1995, en de vorm van de woningen. Oudere woningen hebben over het algemeen minder grote raampartijen dan tegenwoordig, welke een grote verliesfactor zijn.



Grafiek 2-2: Overzicht jaarlijks gasgebruik per bouwperiode

Het gedrag van bewoners is hier naast ook een grote component voor het besparen van energie. Zo blijkt uit onderzoek dat het mogelijk is dat woningen zelf meer energiegas gebruiken nadat het energielabel verbeterd is; bewoners gaan er dan van uit dat de woning van zich zelf al erg zuinig is<sup>ii</sup>. Daarom blijft het van groot belang om in te blijven zetten op duurzame gedragingen wanneer een bewoner energie wil besparen.

Wanneer we uitgaan van een gemiddelde ketel in Nederland, nemen we aan dat dit met een efficiëntie van 90% gebruikt wordt. Dat betekent dat er jaarlijks 325.000 GJ aan warmte nodig is voor de woningen in de hele gemeente Wijk bij Duurstede, wanneer er niet geïsoleerd wordt. Dit getal is van belang om het nut van verschillende warmtebronnen zoals beschreven in de volgende hoofdstukken goed te kunnen inschatten. Wanneer er wel geïsoleerd zal worden tot een hoog niveau in de gehele gemeente daalt de energievraag van de woningen tot ongeveer 120.000 GJ.

## 2.2 Energiegebruik utiliteit (industrie, en overige gebouwen)

Hiernaast zijn er ook nog ongeveer 760 gebouwen die niet als woning gebruikt worden, maar wel gas en elektriciteit gebruiken. De energievraag van deze gebouwen is gemodelleerd door de energievraag zoals deze eerder bepaald is voor het bedrijventerrein Broekweg-Langshaven uit te breiden naar de overige utiliteitsgebouwen. Omdat de warmtevraag van industriële gebouwen sterk kan verschillen van de overige utiliteitsgebouwen, is er aan de hand van CBS data bepaald hoeveel gebouwen een industriefunctie of een utiliteitsfunctie hebben. Hiermee is, in combinatie met de bekende hoeveelheid aardgasverbruik voor woningen vanuit het CBS, bepaald welk deel van de totale verwarmingsinput van aardgas in de gebouwde omgeving toegeschreven kan worden aan utiliteitsgebouwen, en welk deel toegeschreven wordt aan de woningen. Aan de hand van deze verhouding op het bedrijventerrein en door de rest van de gemeente is een inschatting gemaakt van de warmtevraag door industrie en utiliteit in de rest van de gemeente. Hoewel dit een grove aanname is, denken we dat dit een goede methode is, omdat het energiegebruik op het bedrijventerrein goed in kaart is gebracht. Het aardgasgebruik van industrie en landbouw wordt in het scenario inclusief gebruik van fossiele brandstoffen nog niet verduurzaamd, omdat dit procesgebonden energie is. In tweede scenario is ook de energie die hier voor wordt toegeschreven in de klimaatmonitor meegenomen in de totale verduurzaming.

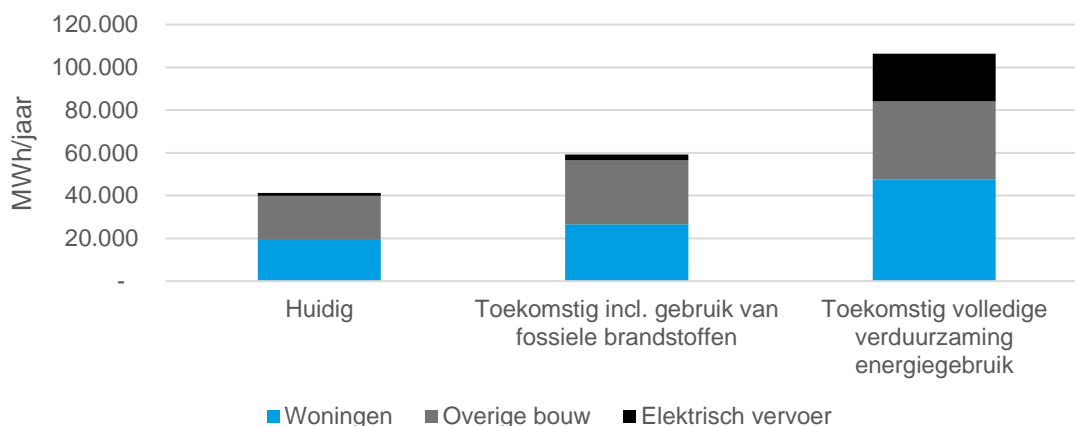
## 2.3 Elektriciteitsgebruik in Wijk bij Duurstede

Het elektriciteitsgebruik zal in de komende jaren toenemen, door een vergaande elektrificatie van de maatschappij<sup>iii</sup>. De grootte van de elektriciteitsvraag is afhankelijk van meerdere factoren, zoals bijvoorbeeld het elektrisch vervoer en de elektrificatie van woningen. Hoewel de toekomstige elektriciteitsvraag nog onbekend is, proberen we een zo goed mogelijk beeld te scheppen door een tweetal scenario's voor het jaar waarin energieneutraliteit het doel is voor te spiegelen.

In het **eerste scenario** gaan we uit van een geleidelijke groei van de verduurzaming: woningen die nu met een cv-ketel verwarmd worden zullen vanaf 2026 over stappen op een hybride warmtepomp, omdat dit noodzakelijk is vanwege de wetgeving, en er zullen geleidelijk meer volledig elektrisch verwarmde woningen komen. Voor de doorrekening aan we uit van het jaar 2030; daarmee nemen we aan dat tussen 2026 en 2030 27% van de cv-ketels is vervangen voor een hybride warmtepomp. Hiernaast hebben 10% van de woningen waar een cv-ketel geplaatst was deze vervangen voor een volledig elektrische warmtepomp. Extra isolatie wordt in dit scenario niet actief meegenomen. Het aantal elektrische voertuigen neemt op basis van de klimaat en energieverkenning voor 2030 toe tot 12%. Omdat deze verkenning in 2022 is uitgevoerd, en de verduurzaming van het vervoer in een stroomversnelling is gekomen, nemen we aan dat 15% van alle auto's in Wijk bij Duurstede in 2030 elektrisch zullen zijn.

In het **tweede scenario** kijken we naar de elektriciteitsvraag wanneer alle fossiele brandstoffen uit het systeem gehaald zijn. De woningen en utiliteitsgebouwen zijn extra geïsoleerd en worden met warmtepompen (relatief inefficiënte systemen om geen onderschatting van de elektriciteitsvraag te maken) verwarmd. Nieuwbouwwoningen zijn zeer duurzaam gebouwd, en voor een deel van de woningen zal ook hernieuwbouw gepleegd zijn. Ook zal al het vervoer op de weg elektrisch zijn. Dit omvat dus zowel het personenvervoer als het vrachtvervoer op de weg. Hoewel dit geen realistisch scenario is binnen 10 jaar (de klimaat en energieverkenning van het planbureau van de leefomgeving verwacht 1,1 miljoen elektrische auto's in 2030 in Nederland ten opzichte van 600.000 nu) geeft dit wel een doorkijk naar toekomstige elektriciteitsvragen. In grafiek 2-3 zijn de uitkomsten weergegeven.

## Gebruik elektra Wijk bij Duurstede nu en bij energieneutraal



Grafiek 2-3: Overzicht toekomstige elektriciteitsvraag

### 2.4 Totale energievraag Wijk bij Duurstede

De totale energievraag in Wijk bij Duurstede is een optelsom van de energievraag voor het verwarmen van de woningen, de overige gebouwen, de processen, maar óók van de elektriciteitsvraag van alle gebouwen en het vervoer in de gemeente. Om dit te bepalen zijn een tweetal scenario's bepaald; toekomstig, inclusief gebruik van fossiele brandstoffen, en een toekomstig beeld waarbij alles volledig geëlektrificeerd is. In het scenario inclusief gebruik van fossiele brandstoffen worden de woningen verder geïsoleerd, zonder dat hierbij grote campagnes en grootschalige aanpakken worden gebruikt. Hierdoor wordt het elektragebruik van de woningen en overige bouw iets lager: de woningen die nu al een warmtepomp hebben zullen minder stroom gaan gebruiken. De groei van elektrisch vervoer volgt de huidige lijn van groei, en neemt langzaam toe. In het scenario waar al het energiegebruik volledig geëlektrificeerd is, wordt er geen fossiele brandstof meer gebruikt voor het verwarmen van, en koken in, woningen, overige gebouwen en vervoer. Omdat er op dit moment nog aardgas gebruikt wordt voor het verwarmen van de woningen, en dit in de toekomst geëlektrificeerd zal worden, moet er een aanname gemaakt worden van de efficiëntie van het elektrisch verwarmen van de woningen om tot een totale elektriciteitsvraag in de toekomst te komen. Het uitgangspunt voor nu is een COP van 3,5. Dat wil zeggen dat er met één deel elektriciteit, drie delen warmte gemaakt worden. Hiermee kan een inschatting gemaakt worden van de benodigde elektriciteit die opgewekt zal moeten worden voor een energieneutraal Wijk bij Duurstede. In bijlage 6 is een korte berekening weergegeven voor de benodigde elektriciteit wanneer er géén verduurzaming zal plaatsvinden. Hierbij wordt er dus níet geïsoleerd, en zullen de woningen met een warmtepomp met een slechte efficiëntie verwarmd moeten worden. Omdat woningen het grootste deel van de energievraag voorstellen, heeft dit een sterke invloed op de totale energievraag. Dit scenario wordt als onrealistisch gezien, maar is toegevoegd in de bijlage om een weergave te geven van de effecten hiervan.

## 3 Opwekkingspotentieel duurzame elektriciteit

### 3.1 Zon op land en daken

De techniek voor het opwekken van stroom door zonnepanelen (of PV-panelen) is jarenlang in ontwikkeling geweest. Inmiddels zijn zonnepanelen gemeengoed in woonwijken en op gebouwen. De zonnepanelen wekken stroom op door inkomend zonlicht om te zetten in elektriciteit, op een onderhoudsarme wijze. De opwek van stroom door zonnepanelen wordt op gedeeld in twee hoofdonderdelen:

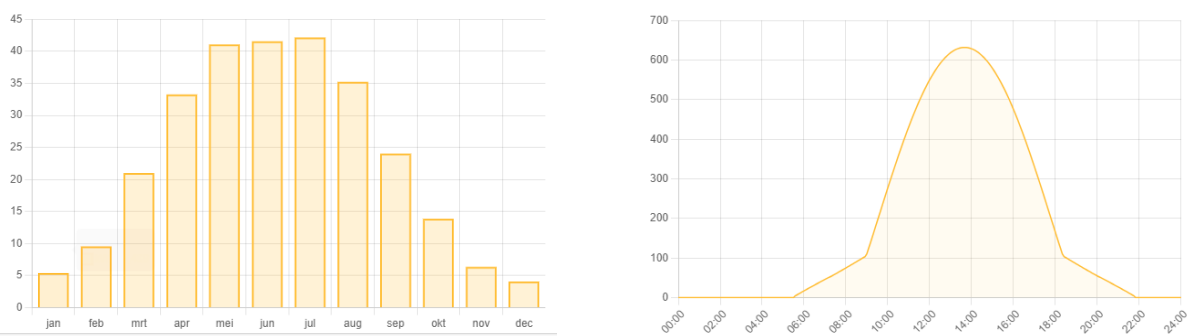
- Zonnepanelen op daken
- Zonnepanelen op land.

Het merendeel van de installaties op daken is een redelijk individuele en kleinschalige oplossing waarbij woningen of gebouwen voor de eigen energievoorziening voorzien. Hiernaast is het ook mogelijk om grootschalige installaties op daken te plaatsen wanneer de dakconstructie hier geschikt voor is. Voorbeelden hier



van zijn installaties op zwembaden, sporthallen of grote bedrijfsloodsen. Op land is het een grootschalig systeem, vaak ook zichtbaar in het landschap waarbij er stroom voor vele woningen opgewekt wordt. Dit gaat ten koste van landbouwgrond, natuur en ruimte voor woningbouw, maar onder bepaalde voorwaarden kan hier soms voor gekozen worden; bijvoorbeeld wanneer een gebied niet gebruikt kan worden voor de eerder genoemde categorieën, of te weinig opbrengt met landbouw. De potentie hiervan is bepaald in eerdere onderzoeken: Zon op land in het beleidskader zonnevelden: 103.000 MWh.

Zon op daken is geanalyseerd in de analyse zonnepanelen 2023 van de provincie Utrecht<sup>iv</sup>: 75.000 MWh, waarvan inmiddels ongeveer 24% is gerealiseerd. Hierbij moet vermeld worden dat de daadwerkelijke opbrengst per zonnepaneel sinds de eerste ontwikkeling er van sterk is toegenomen. In de afgelopen jaren is deze groei iets afgezwakt, maar zet nog wel langzaam door, waardoor ook deze potentie nog verder kan toenemen. Een nadeel van deze potentie is dat deze vooral in de het voorjaar en de zomermaanden beschikbaar is, en in de winter minder vaak beschikbaar is. Niet alleen door het weer, maar ook doordat de zon schuin op de zonnepanelen staat, en hierdoor minder energie opbrengt. In figuur 3-1 is de energieopbrengst van één paneel per maand, maar ook per uur over een dag weergegeven. Ook in de dagelijkse opbrengst zien we een duidelijke piek; rond het middaguur wordt het meeste opgewekt. Er wordt op dit soort momenten vaak meer opgewekt dan dat er gebruikt wordt. En in sommige gevallen zelfs meer opgewekt dan dat het stroomnet aan kan. In dit soort gevallen zullen de zonnepanelen afgesloten worden, en wordt er geen stroom opgewekt. Zonder batterijen en slimme sturing is het niet eenvoudig om deze piek, goed te kunnen verdelen over de dag. Voor het verdelen van de piek door het jaar worden grootschaligere opties onderzocht.



Figuur 3-1: energieopbrengst één zonnepaneel per maand en op 15 juni 2022

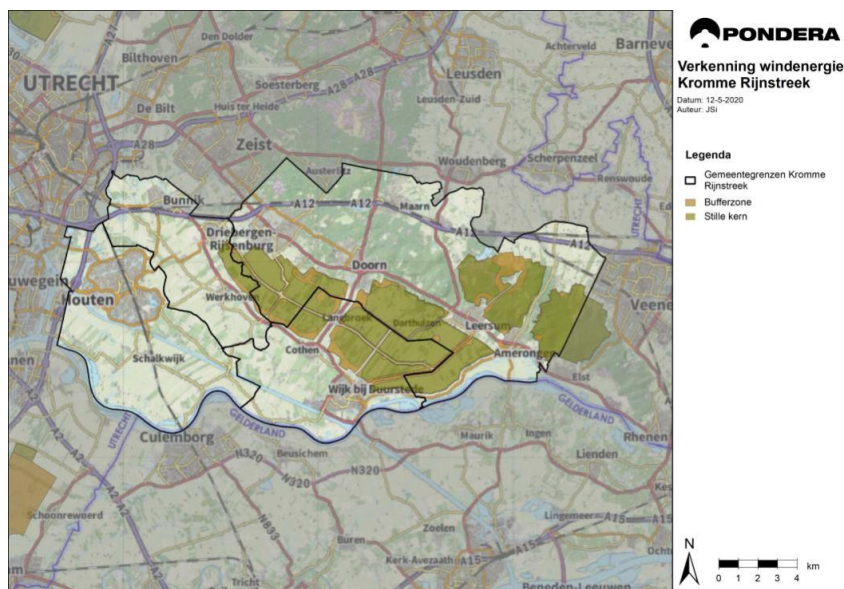
### 3.2 Wind op land; grote windturbines

Windturbines kunnen hinder voor de leefomgeving veroorzaken in de vorm van geluid en slagschaduw. De rijksoverheid formuleert op dit moment nieuwe milieunormen voor windturbines. De norm die nu ter inzage voorligt is dat de afstand tot een geluidgevoelig object (zoals woningen) minstens 2 keer tiphoogte (het hoogste punt van de windmolen wanneer er een wiek recht om hoog staat) moet zijn. Dat betekent voor een grote windturbine een afstand van 500 meter. Buiten deze afstand kan er, eventueel met beperkte mitigerende maatregelen, doorgaans aan de normen voor windturbinegeluid worden voldaan. Grotere windturbines produceren niet per definitie meer geluid dan kleinere windturbines vanwege de wettelijke eisen die hieraan gesteld worden<sup>v</sup>. Grotere windmolens kunnen wel meer energie produceren. In Nederland is het verplicht om bij de planning van een windpark een berekening van het geluidsniveau te maken voor geluidgevoelige objecten. Dit akoestisch onderzoek dient om aan te tonen dat de geluidsnormen voor windturbines niet overschreden worden. Een windmolen mag gemiddeld niet meer dan 47 decibel geluid geven bij de woning. 's Nachts mag dit niet meer dan gemiddeld 41 decibel zijn. Dit wordt gemeten op de gevel van de woning. Doordat windmolens afhankelijk zijn van de windsnelheid is er niet altijd even veel productie. Over het algemeen zien we, dat in het voor- en najaar er meer energieproductie door windmolens is. Wanneer we naar de variatie over een dag kijken zien we dat boven land de wind 's avonds vaak gaat liggen en dan dus ook de productie door windenergie daalt.

#### Stiltegebieden

De Provincie Utrecht heeft in de Omgevingsvisie 14 stiltegebieden aangewezen. In deze gebieden wordt de stilte en rust gehandhaafd. Figuur 3-2 laat zien dat er meerdere stiltegebieden binnen het projectgebied liggen. Ter bescherming van de stiltegebieden zijn regels in de Omgevingsverordening opgenomen om geluid producerende activiteiten te beperken. De stiltegebieden bestaan uit een stille kern en een bufferzone stiltegebied. Het is zeer

onwaarschijnlijk dat een moderne windturbine binnen het stiltegebied voldoet aan het behouden van de gestelde eisen in een stiltegebied. Plaatsing van windturbines in of in de directe nabijheid van stiltegebieden zal daarom niet of zeer beperkt mogelijk zijn<sup>vi</sup>.



Figuur 3-2: Verkenning windenergie in Kromme Rijnstreek

Op basis van de beperkende factoren concludeert Pondera dat er 12 windturbines binnen de gemeentegrenzen van Wijk bij Duurstede technisch mogelijk zijn. Wanneer er windturbines binnen de stiltegebieden geplaatst wordt kunnen dit er nog eens 24 extra zijn. Omdat realiseren van windturbines in stiltegebieden zeer onwaarschijnlijk is nemen we deze in de potentiëstudie niet mee. Uitgaande van de voorbeeldturbines (Vestas V-150, tiphoogte ca 240 m) uit het rekenvoorbeeld levert een turbine jaarlijks netto 14,5 GWh op. Dit is voor 12 stuks in totaal 174.000 MWh per jaar. De technische potentie hiervan is daarom dus zeer groot, en mogelijk ook groter dan noodzakelijk is binnen de gemeente.

### 3.3 Wind op land; kleine windturbines

Kleine windturbines zijn windturbines tussen de 11 en 20 meter ashoogte. Deze kunnen alleen worden geplaatst op boerenerven of industrieterrein Broekweg om daar in de eigen energievraag te kunnen voorzien. De milieueffecten van windturbines kleiner dan 20 meter zijn zeer beperkt vergeleken met moderne grote windturbines (opbrengst ca 25 – 35 MWh per jaar). Hinder voor de leefomgeving, externe veiligheid en de landschappelijke effecten beperken zich doorgaans tot het eigen perceel, dat in het buitengebied over het algemeen relatief ruim bemeten is. Overige milieueffecten zijn tevens zeer beperkt of niet aanwezig voor kleine windturbines zoals de effecten op ecologie, luchtvaart en cultuurhistorie<sup>vi</sup>. In het onderzoek van Pondera wordt de elektriciteitsopbrengst van een veelvoorkomend type kleine windturbine doorgerekend. Hieruit volgt dat er ongeveer 600 kleine windturbines noodzakelijk zijn om evenveel elektriciteit op te brengen als één enkele grote windturbine<sup>vi</sup>. Vanwege de geringe businesscase, en de beperkte opbrengst verwacht Pondera niet dat er veel kleine windturbines geplaatst zullen worden in de gemeente. De bijdrage aan de verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening wordt hiermee ook als zeer beperkt ingeschat<sup>vi</sup>. Daarmee is de komst van kleine windturbines niet volledig uitgesloten. In sommige gevallen, zoals boerenbedrijven of locaties waar netcongestie kan ontstaan en partijen wel willen uitbreiden of energiezuikerheid willen, kan een kleine windturbine in combinatie met opslag uitkomst bieden. In dit geval liggen er echter wel andere beweegredenen dan energieneutraliteit ten grondslag aan de bouw van de kleine windturbine.

### 3.4 Waterkracht

Gezien er langs de gemeente enkele waterstromen lopen om warmte uit te winnen, is het ook mogelijk om hier elektriciteit uit te winnen. Waar de grote waterkrachtcentrales vaak gebaseerd zijn op een hoogteverschil, en het neer laten storten van water, is het ook mogelijk om met minder grote stroomsnelheden elektrische stroom uit het bewegende water te winnen. Hiervoor is onderzoek uitgevoerd door Deltares in 2009<sup>vii</sup>. Hierin is onderzocht of het mogelijk is om bij bestaande kunstwerken (zoals stuwen, sluisen en bruggen) in de rivier technieken toe te passen zijn waarmee elektriciteit te winnen is. In Wijk bij Duurstede zijn er schutsluizen met spuifunctie aanwezig, hierdoor is de stroomsnelheid van het water hoger wanneer deze open gezet wordt, waardoor er elektriciteit gewonnen kan worden. Bij de prinses Irenesluis in Wijk bij Duurstede is er een flink hoogteverval van het water over de sluisen bekend. Hier zou een generator van het type 'archimedes-type' toegepast kunnen worden<sup>viii</sup>. Door hier water over te laten ontsnappen is er bij een debiet van 20 m<sup>3</sup>/seconde een vermogen van 1,5 MW haalbaar. Op basis van de gemiddelde waterkrachtcentrales in Nederland levert dit jaarlijks ongeveer 4.000 MWh aan energie op<sup>ix</sup>. Omdat hier uitgegaan wordt van oude onderzoeken voor de potentiebepaling is het mogelijk dat de potentie hoger is, in vergelijking met andere technieken zal deze naar verwachting echter marginaal blijven. Vanwege de hoge kostprijs (9 cent per kWh voor een ideale plaats, hoger voor een niet ideale plaats, zoals deze; geschat op 18 cent per kWh.) voor elektriciteit opgewekt door kleinere waterkrachturbines is een generator ter plaatse van de Irenesluis naar verwachting niet rendabel genoeg om te ontwikkelen wanneer er ook nog andere technieken voor handen zijn<sup>ix</sup>.



Figuur 3-3: Voorbeeld Archimedes generator

### 3.5 Kernenergie: grote reactoren

De potentie van een kernreactor is moeilijk in te schatten; de potentiële energie is erg afhankelijk van de grootte en het type reactor. De Nederlandse regering wil voor 2040 nog een tweetal kernreactoren bouwen in Nederland. Deze hebben een gezamenlijk totaal vermogen van 24.000.000 MWh. Om de potentie van kernenergie uit grote reactoren goed in te schatten is er daarom voor gekozen om de energetische potentie van één reactor over te nemen voor Wijk bij Duurstede. Dit komt dus neer op een energieopbrengst van 12.000.000 MWh. Hierbij moet wel vermeldt worden dat het plaatsen van een grote kernreactor geen gemeentelijk, maar landelijk beleid en het Rijk bevoegd gezag is. De overheid wijst voorkeurslocaties aan waar mogelijk grote kernreactoren geplaatst worden. De aanwezigheid van infrastructuur en vooral voldoende koelwater speelt daarbij een rol. De overheid heeft er voor nu voor gekozen om te onderzoeken of het mogelijk is om de twee nieuwe reactoren bij de huidige locatie in Borsele te plaatsen. Dit omdat ook de opslag voor radioactief afval hier in de buurt is. Het alternatief voor deze locatie is de eerste Maasvlakte<sup>x</sup>. Dus hoewel een grote kernreactor veel energie kan opleveren, en ook veel kan bijdragen aan de Nederlandse elektriciteitsvraag, is het geen onderdeel van een energieneutraal Wijk bij Duurstede vanwege het ontbreken van belangrijke randvoorwaarden.

### 3.6 Kernenergie: small modular reactors

De term 'small modular reactor' is een verzamelnaam van verschillende soorten reactoren<sup>xi</sup>. De 'S' in SMR staat voor 'small'. De SMR's hebben een relatief klein vermogen vergeleken met gangbare grote kernreactoren, met elektrische vermogens van een paar MW tot meestal 300 MW. Een bepaalde categorie SMR's met heel kleine vermogens (tot enkele tientallen MW, micro-range) wordt wel gepresenteerd als oplossing voor gedecentraliseerde toepassingen, waarbij elektriciteit en warmte geleverd kunnen worden. Deze SMR's zijn opgedeeld in vier categorieën<sup>xii</sup>:

- Lichtwater SMR
- Microrange SMR
- Gesmoltenzout SMR
- Diverse overige geavanceerde SMR's.

Voor een verdere technische toelichting van deze typen SMR's wordt verwezen naar het rapport van NRG uit 2023<sup>xii</sup>. In dit rapport is vooral de haalbaarheid van groot belang. Meerdere rapporten, zoals het rapport van NRG, maar ook een onderzoek van stichting KernVisie<sup>xiii</sup> beschrijven de vergunningsverlening als een onzekerheid in het proces. Het huidige vergunningenstelsel is ingericht op grote eenheden van bestaande kernreactoren. Voor de eerste twee categorieën, die wat meer op de conventionele technieken gebaseerd zijn,

wordt te zijner tijd een vergunningsverleningstraject van minimaal 5-7 jaar verwacht, mits de techniek voldoende bewezen en volwassen is, én alle belangrijke voorzieningen (expertise, capaciteit, financiering) voldoende beschikbaar zijn. Voor de laatste twee categorieën is op dit moment nog te veel onduidelijk om een inschatting te kunnen maken van de doorlooptijd van vergunningverlening. De technische potentie van een small modular reactor is in te schatten door het vermogen van een reactor te vermenigvuldigen met het aantal uren dat een centrale per jaar aan staat. Voor een kerncentrale is dit ongeveer 8000 uur per jaar <sup>xiv</sup>, in de overige periode staat de centrale uit voor bijvoorbeeld onderhoud. Wanneer we uit gaan van een grotere microrange reactor (22 MW, Last energy <sup>xii</sup>), levert dit een jaarlijkse potentie van 176.000 MWh op. Wanneer er uit gegaan wordt van grotere lichtwater SMR, zoals van Rolls-Royce stijgt de potentie nog verder. Echter wil je wel dat de reactor zo veel mogelijk uren per jaar draait; dit leidt tot de hoogste efficiëntie. Een veel grotere kernreactor zal vaker afgeschaald moeten worden waardoor er minder vollasturen per jaar gedraaid kunnen worden. Vanwege de modulaire aard van de SMR is het ook mogelijk om meerdere kleinere SMR neer te zetten, om zo het ruimtelijke vraagstuk te kunnen verdelen. De kosten hiervan zullen wel hoger zijn dan één grotere SMR. De technische potentie hiervan is daarom dus zeer groot, en mogelijk ook groter dan noodzakelijk is binnen de gemeente. De bruikbare potentie hiervan wordt voor nu op 0 MWh gezet voor 2030, vanwege de grote onzekerheid die er op dit moment nog is rond small modular reactors. In de toekomst kunnen deze kleine reactoren, afhankelijk van het landelijke beleid een rol gaan spelen in de verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening.

### 3.7 Overzicht technieken energieopwekking

Tabel 3-1 geeft een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de verschillende technieken, de potentiële kostprijs van stroomopwekking met deze technieken en de potentie. De gebruikte bronnen voor de bepaling van de kostprijs en de technische potentie staan in Bijlagen 2 en 5.

Tabel 3-1: Overzicht technieken energieopwekking

Elektriciteitsbron	Ruimtegebruik per vermogen	Inpassing in landschap	Snelheid van realisatie	Overlast	Decentraal mogelijk	Externe brandstof noodzakelijk	Kostprijs	Technische potentie [MWh]
Zon op land	Hoog	Ten koste van landbouw of natuur	Hoog	Reflectie	Ja	Nee	0,05-0,07	103.000
Zon op dak	Hoog	Geen conflicten	Hoog	Reflectie	Ja	Nee	0,07	75.000
Wind op land groot	Laag	Op voldoende afstand van woningen, wegen en natuur	Gemiddeld	Horizonvervuiling Geluid Slagschaduw	Ja	Nee	0,03-0,09	174.000
Wind op land klein	Laag	Op voldoende afstand van woningen, wegen en natuur	Hoog	Horizonvervuiling Slagschaduw	Ja	Nee	0,25-0,35	Marginaal
Waterkracht	Hoog	Afhankelijk van waterstromen & hoogteverval	Laag	-	Nee	Nee	0,08-0,12	4.000
Kernenergie; grote reactoren	Zeer laag	Afstand tot bebouwing waarborgen	Zeer laag	Horizonvervuiling	Nee	Ja	0,05-0,08	12.000.000

Kernenergie; small modular reactors	Laag	Wettelijke kaders nog niet scherp gesteld	Laag	Horizonvervuiling	Deels	Ja	Onbekend	352.000
---	------	--	------	-------------------	-------	----	----------	---------

### 3.8 Warmte

In dit hoofdstuk lichten we de verschillende warmtebronnen kort toe, en onderzoeken we de potentie hiervan, zoals dit in voorgaand hoofdstuk voor de elektriciteitsbronnen gedaan is. Tot slot lichten we de voor- en nadelen van de verwarmingstechnieken toe.

#### 3.8.1 Geothermie van ondiep naar diep

##### Bodemwarmte

Ook uit de bodem kan warmte onttrokken worden, dit gebeurt door middel van bodemlussen. Een bodemlus is een techniek om warmte te winnen uit de ondiepe bodem 1 -100 meter diep. Hierbij wordt een gesloten buis de bodem in geboord, ofwel horizontaal, ofwel verticaal, en gevuld met een water en antivries mengsel. De vloeistof in de buis neemt de temperatuur over van de omgeving, de bodem. De bodemtemperatuur is gedurende het jaar betrekkelijk constant en rond de 12°C. Zo kan er met een bodemlus in de winter warmte worden gewonnen en in de zomer koude. Een warmtepomp waardeert de warmte op naar 40°C of hoger om de woning te verwarmen.

Een voordeel van een bodemlus gekoppelde warmtepomp ten opzichte van een luchtwarmtepomp is dat het rendement voor verwarmen 's winters hoger is en er in de zomer (passief) gekoeld kan worden, vrijwel zonder elektriciteitsverbruik. Een nadeel van de techniek is dat er voor bestaande bouw vaak twee bodemlussen per woning nodig zijn met een onderlinge afstand van 8 meter om interferentie te voorkomen. Dit vraagt om voldoende tuinoppervlak per woning. Bodemlussen zijn een individuele techniek; voor hoogbouw, of industriegebieden met een grote warmtevraag zijn bodemlussen minder geschikt dan een open WKO-systeem (zie volgende paragraaf), vanwege de grote vermogens die noodzakelijk zijn. Er zijn gebieden waar de bodem helemaal niet aangeboord mag worden en slechts tot een bepaalde diepte. Omdat deze gebieden het zelfde zijn voor bodemwarmte, warmte koude opslag, en ondiepe geothermie zijn deze alleen in deze laatste paragraaf weergegeven om herhaling te voorkomen. Risico is dat onderliggende (drink)waterlagen worden vervuild als niet de juiste afdichtingstechniek is toegepast.

##### Warmte koude opslag

Bij warmte-koudeopslag wordt warmte en koude gewonnen uit een afgesloten waterpakket in de bodem op een diepte tussen de 100-500 meter en via een warmtenet getransporteerd naar de woningen/panden. Het temperatuurniveau is tussen de 8°C en 15°C. Het is gunstig wanneer de panden aangesloten op dit warmtenet zowel koude- als een warmtevraag hebben. Bij een WKO-systeem moet namelijk evenveel warmte onttrokken worden aan de bodem als er in wordt teruggebracht. Wanneer er meer warmte wordt onttrokken dan teruggebracht raakt de bron uitgeput. Wanneer er een onbalans is tussen de warmte en koudevraag, kan deze worden hersteld door warmte en/of koude toe te voegen uit een externe bron, bijvoorbeeld oppervlaktewater of elektrisch. Dit noemen we regeneratie. Als de benodigde regeneratie omvangrijk is, is een WKO-systeem minder rendabel. Hoe dichter de warmte- en koudevraag dus bij elkaar liggen, hoe gunstiger het rendement van een eventuele businesscase. Bij goed beheer gaan WKO-systemen 30 jaar mee. Een WKO warmtenet wordt dus toegepast daar waar zowel een warmte- als koudevraag is. Dit geldt bijvoorbeeld voor kantoorpanden, verzorghuizen of hotels maar ook sommige industrie. Ook goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen hebben een grotere koudevraag dan bestaande woningen. Maar het aandeel aan koudevraag ten opzichte van warmte blijft klein.

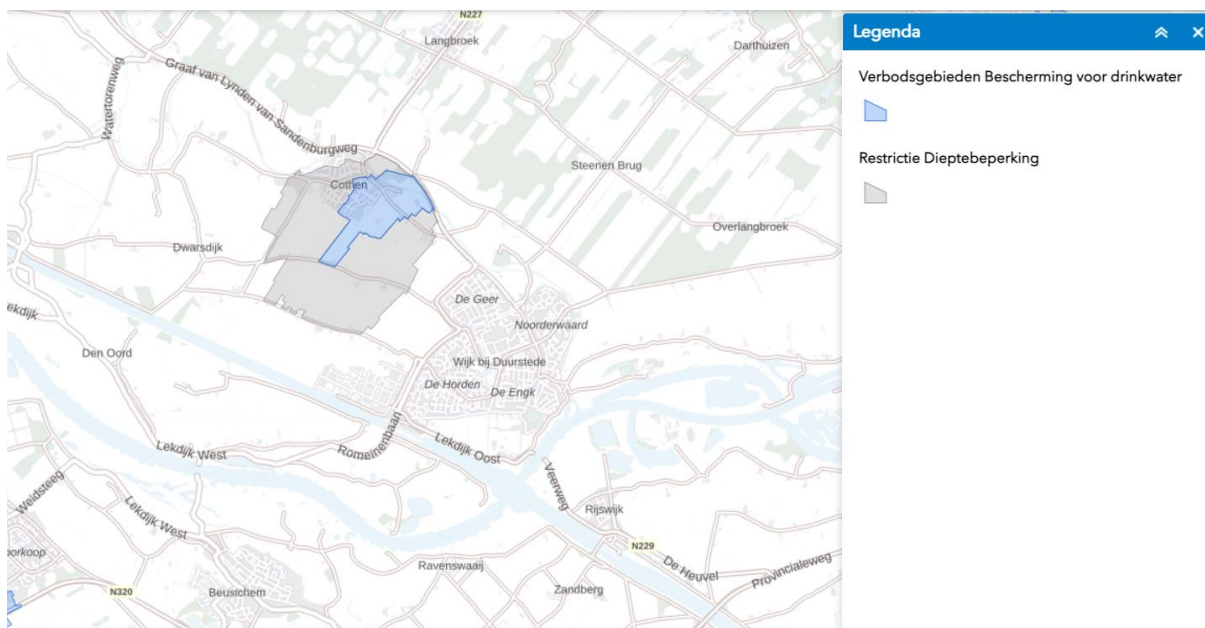
##### Ondiepe geothermie

Ondiepe geothermie is het boren tot een diepte tussen de 500 en 1.500 meter. Op deze diepte wordt grondwarmte onttrokken met een temperatuur tussen de 15°C en 40°C. Wanneer het water 40°C is, kan de warmte via een warmtenet rechtstreek worden gebruikt voor het verwarmen van goed geïsoleerde woningen in combinatie met individuele boilers voor het tapwater. Bij andere temperaturen of woningtypen zal de warmte eerst opgewaardeerd worden met een (centrale) warmtepomp. In tegenstelling tot een WKO-systeem hoeft er bij ondiepe geothermie geen balans te zijn in de koude- en warmteonttrekking.



Omdat ondiepe geothermie hoge investeringskosten vraagt, is er een minimale gegarandeerde afzet nodig om de techniek financieel haalbaar te laten zijn. Voor ondiepe geothermie is de minimale schaalgrootte tussen de 1.000 en 2.500 woningen afhankelijk van de brondiepte. Daarnaast is een hoge woningdichtheid (oftewel warmtevraagdichtheid) een vereiste om de kosten van het warmtenet te beperken.

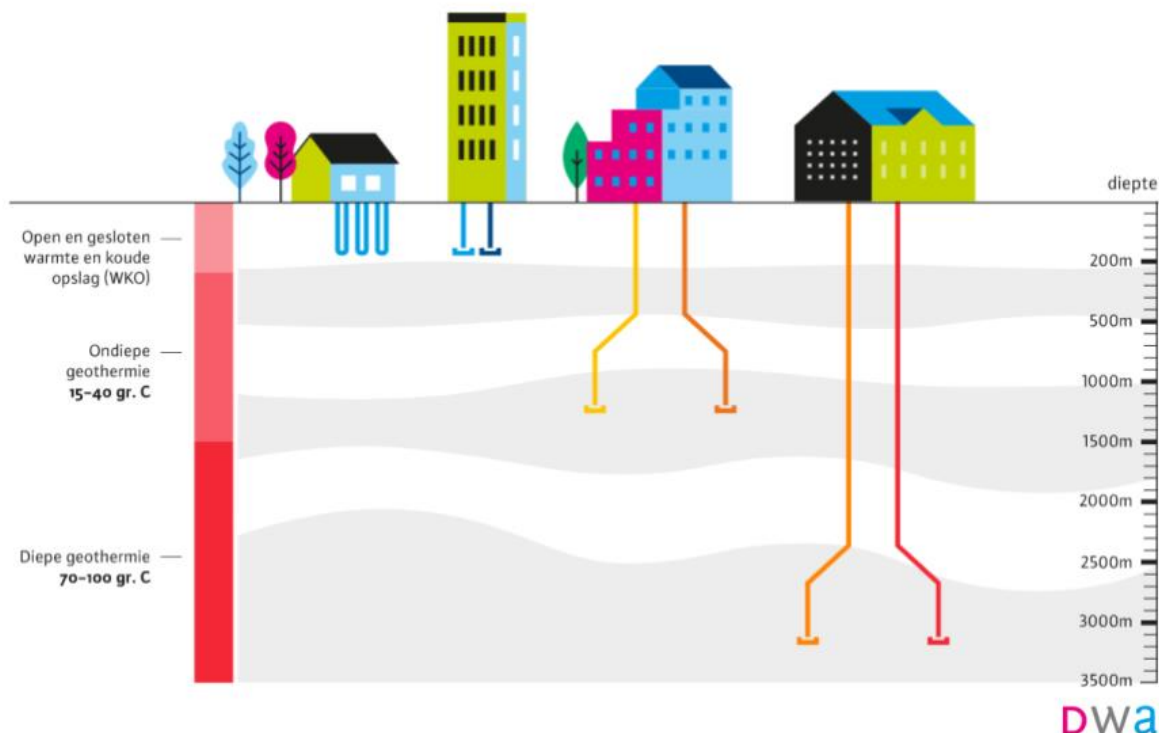
Binnen de gemeente zijn meerdere beperkende factoren. Er is een beschermingsgebied voor drinkwater, en er is een restrictiebepijking voor de maximale diepte. Beiden zijn weergegeven op onderstaande kaart, en bevinden zich rond Cothen. Binnen het verbodsgebied mogen er geen geothermiebronnen of WKO-bronnen (zie ook subparagraaf 3.1.10) gemaakt worden. Vanwege de lage bouwdichtheid en verschillende bouwperiodes in Cothen was is een geothermiesysteem zeer waarschijnlijk niet mogelijk. Het verbodsgebied en de dieptebeperking zullen dus vooral invloed hebben op het slaan van WKO-systemen.



Afbeelding 3-1: Overzicht restrictiegebieden geothermie

### Diepe en ultradiepe geothermie

Wanneer er nog dieper wordt geboord, spreekt men van diepe geothermie (1.500 tot 4.000 meter) en ultra diepe geothermie (dieper dan 4.000 meter). Diepe geothermie wordt al langer toegepast in sectoren met een continue, hoge warmtevraag zoals de glastuinbouw en kan temperaturen leveren tot 100°C (stoom). Net als bij ondiepe geothermie, is een minimale afzet een vereiste voor het ontwikkelen van een geothermische boring. Woningen lenen zich al minder voor deze techniek, omdat de warmtevraag sterk fluctueert tussen de zomer en winter. Voor een geothermische boring wordt in het algemeen uitgegaan van een minimale afzet van 4.000 tot 5.000 woningen. Omdat er verlies optreedt in transport en een hoogtemperatuurwarmtenet duur is, moeten deze woningen dicht bij elkaar en dicht bij de bron staan. Er is een technische potentie van 5.500.000 GJ voor geothermie binnen de gemeente Wijk bij Duurstede<sup>xv</sup>. Hoewel de technische potentie hoog is, wordt er binnen de gemeente geen diepe of ultradiepe geothermie verwacht op basis van de lage bebouwingdichtheid in de verschillende kernen.



Afbeelding 3-2: Schematisch overzicht geothermiediepten

### 3.8.2 Zonnewarmte

Het winnen van warmte uit zonlicht (zonthermie) is een techniek die al een lange tijd toegepast wordt, in de vorm van zonnecollectoren en zonneboilers. Hierbij wordt er op het dak van een woning of bijgebouw een zonnecollector geplaatst. Het inkomende zonlicht verwarmt hierbij water<sup>xvi</sup>. Dit water wordt vervolgens opgeslagen in een voorraadvat waaruit het weer onttrokken wordt op momenten dat het warme water nodig is. De technische potentie van zonnewarmte kan berekend worden door de oppervlakte van de alle daken te nemen, en dit te vermenigvuldigen met de inkomende zonnewarmte en een efficiëntiefactor. Deze technisch beschikbare warmte kan echter niet allemaal ingezet worden: de meeste warmte is in de zomer beschikbaar, terwijl de grootste warmtevraag juist 's winters is. Daarom wordt de potentie op twee manieren ingeschat: wanneer woningen een individuele oplossing kiezen en alleen warmte voor eigen gebruik opslaan binnen de woning, en wanneer er een collectief systeem wordt ontwikkelt met grootschalige opslag, zoals wko-bronnen. Ter plaatse van Cothen gaan we er vanuit dat alleen individuele oplossingen mogelijk zijn vanwege de beperkingen in de bodem als gevolg van de drinkwateronttrekking.

#### Individuele woningen

De technische potentie van zonnewarmte wordt bepaald door de zoninstraling op een dak, en de geschiktheid om hier ook warmte uit te onttrekken. Dit wordt beïnvloed door de ligging van de woning, maar ook door het aantal woningen onder één dak (grondgebonden woningen of gestapelde bouw). Voor de bepaling van de technische potentie is er daarom voor gekozen om alleen op de daken van grondgebonden woningen een zonnecollector te projecteren. De grootte hiervan is genomen op 5 m<sup>2</sup>. Op veel daken zal meer geplaatst kunnen worden, maar dit zal zeer waarschijnlijk niet gebruikt kunnen worden in individuele systemen. Op basis van deze methode wordt de technische potentie geschat op ongeveer 47.000 GJ per jaar<sup>xvii</sup>. De bruikbaarheid wordt echter beperkt door de inzetbaarheid van de warmte: een eenvoudig systeem met een kleine opslag zorgt er voor dat de warmte vooral 's zomers beschikbaar is. Hierdoor is de jaarlijkse bruikbaarheid van zonthermie binnen de gemeente door individuele systemen ongeveer: 27.000 GJ<sup>xviii</sup>. Hiernaast zijn ook individuele seizoensopslagsystemen voor warmte van zonthermie in ontwikkeling; hierbij wordt er bijvoorbeeld in de zomerperiode gewonnen warmte opgeslagen in een grote waterzak in de kruipruimte van een woning. Dit zorgt voor een grotere bruikbaarheid van de zonnewarmte. Omdat deze technieken nog sterk in ontwikkeling en financieel niet rendabel zijn wordt deze voor nu niet meegenomen in de potentieberekening.

## Collectieve systemen

In een collectief systeem wordt de gewonnen zonnewarmte terug geleverd aan een groot warmtenetwerk, vaak wordt de zonnewarmte dan ook op één centrale locatie opgewekt<sup>xviii</sup>. Een centrale locatie werkt zo als één grote bron die warmte in het net voedt. Om een goede inschatting te maken van de capaciteit van warmtelevering met zonnewarmte is het belangrijk om het bruikbaar dakoppervlak hiervoor goed in kaart te brengen. Het bruikbare dakoppervlak voor zonnewarmte is in principe gelijk aan het dakoppervlak voor elektriciteitsopwekking met zonnepanelen. Daarom is er hier voor gekozen om het onderzoek van de duurzaamheidskaart naar centrale opwek van elektriciteit met zonnepanelen<sup>xix</sup> te gebruiken voor een inschatting van de potentie van zonthermie op deze daken. Op basis van dit onderzoek is de technische potentie voor zonthermie op daken ongeveer 170.000 GJ per jaar. Voor collectieve systemen zijn echter twee onderdelen van essentieel belang: voldoende afnemers, en de mogelijkheid tot opslag van warmte. Buiten de kern van Wijk bij Duurstede zijn deze twee onvoldoende aanwezig: In de buitengebieden zijn er onvoldoende afnemers, en in Cothen is het niet mogelijk om warmte op te slaan in de bodem vanwege de restrictiebeperking. Wanneer de potentie in deze gebieden wordt weggenomen blijft er een bruikbare potentie over van 70.000 GJ per jaar. Belangrijk is wel om te beseffen dat het dakoppervlak grotendeels maar één keer gebruikt kan worden; om een hoge temperatuur warmte op te wekken met zonnecollectoren plaats je óf zonthermie, óf PV-panelen. Nieuwe ontwikkelingen (PVT -panelen) maken het mogelijk om zowel warmte als elektriciteit uit de omgeving te winnen. De temperatuur die gewonnen wordt is hierbij vaak lager, maar biedt wel kans om meer energie uit de omgeving te winnen dan wanneer alleen PV-panelen of alleen zonthermie geplaatst wordt. De potentie voor opwek met zonthermie op collectieve systemen is een stuk hoger dan voor de individuele systemen; dit is tweeledig: voor de individuele systemen wordt er nu van uitgegaan in de berekening dat er alleen voor de eigen woning voldoende vermogen opgewekt wordt; dus ook al is meer dakoppervlak, wordt de schaarse ruimte op het dak (die ook in concurrentie is met PV-panelen) niet verder gebruikt voor de opwek van warmte. Hiernaast is het beschikbare oppervlakte en de mogelijke plaatsing voor collectieve systemen beter.

### 3.8.3 Warmte uit oppervlaktewater (TEO)

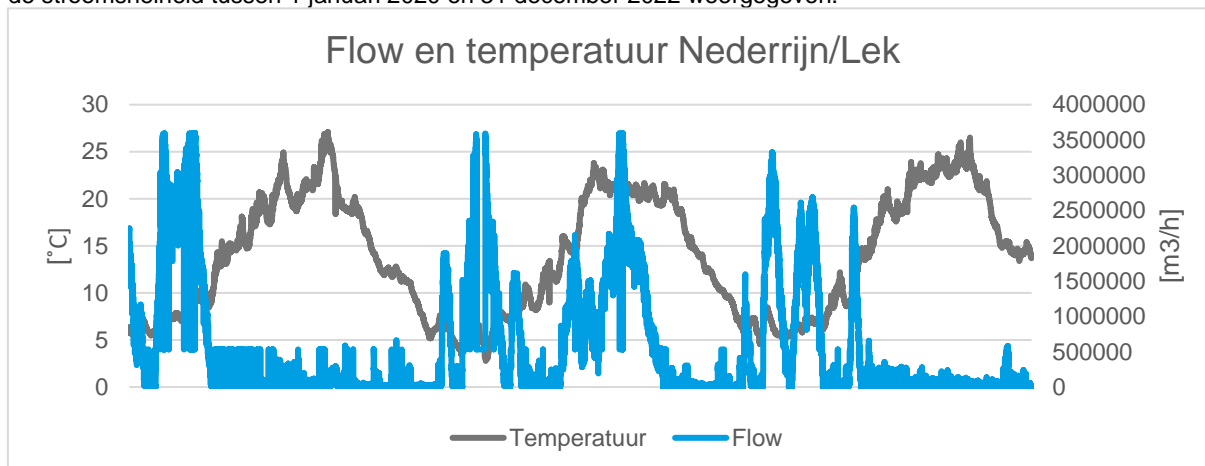
Bij thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) wordt warmte onttrokken uit een rivier, kanaal of meer. In Nederland zijn open waterlichamen alleen in de zomer voldoende warm ( $>15^{\circ}$ ) om op een efficiënte wijze warmte aan te onttrekken. Er is daarom seizoensopslag nodig om de warmte in de winter te kunnen gebruiken. Dit wordt veelal gedaan in een WKO-systeem (zie 3.8.10). Ook bij TEO wordt een warmtepomp gebruikt om de warmte op te waarden voordat het naar de woning gaat. TEO wordt meestal toegepast met een collectieve systeem en via een warmtenet naar de woningen/panden getransporteerd. Omdat TEO dus vraagt om 1) een warmtenet vanaf de waterbron, 2) opslag, 3) een warmtepomp en 4) een warmtenet naar de woning, is het een duur warmtealternatief. Alleen voor gebieden met hoge bebouwingsdichtheid en oude bebouwing waar geen andere hoogtemperatuurbron is, kan een hoogtemperatuur TEO warmtenet een goede optie zijn; in een dergelijk gebied is er geen ruimte is voor individuele systemen en de kosten van isolatie liggen vaak te hoog om met een laagtemperatuurtechniek te verwarmen. Daarnaast wordt warmte uit oppervlaktewater benut om de thermische balans in een WKO te realiseren door toevoeging van warmte/koude uit oppervlaktewater. Bij TEO is de locatie van de warmtebron van groot belang. Deze kan niet te ver liggen van de afzet omdat er warmteverlies optreedt in het transport door de leidingen. Daarnaast betekent een grotere afstand grotere infrastructurele investeringskosten voor het warmtenet. Een afstand van 500 – 1.000 meter is over het algemeen rendabel genoeg.

Nabij Wijk bij Duurstede liggen er rivieren of kanalen: De Nederrijn/Lek, het Amsterdam-Rijnkanaal en de Kromme Rijn. Voor het bepalen van de warmtepotentie van oppervlakte water is het belangrijk om te weten of dit water stroomt, of stil staat. Van de Nederrijn/Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal gaan we voor nu uit dat deze stromen. Voor de Kromme Rijn is de stroomsnelheid zodanig laag dat we er voor de potentieberekening er van uit gaat dat dit water stil staat.

### Nederrijn/Lek

Op basis van de temperatuur van het water, en de stroomsnelheid van het water bezit het water energie. Dit kan er uit gehaald worden door gebruik te maken van warmtewisselaars. Hiermee wordt het water een klein beetje afgekoeld, en kan de warmte weer gebruikt worden voor warmtepompen, of andere technieken. Om de stroomsnelheid van de Nederrijn/Lek te bepalen is het meetpunt in de Lek bij Hagestein gebruikt, om de temperatuur te bepalen is de temperatuurmeting van Amerongen gebruikt. Nu is het niet de bedoeling om al het water uit de Nederrijn/Lek via warmtewisselaars te laten lopen; dat zou slechte gevolgen hebben voor de

biodiversiteit in de rivier. Daarom gaan we er vanuit dat er maximaal 10% van het water via een warmtewisselaar geleid wordt; de overige 90% van het water stroomt gewoon verder. In onderstaande grafiek is de temperatuur en de stroomsnelheid tussen 1 januari 2020 en 31 december 2022 weergegeven.

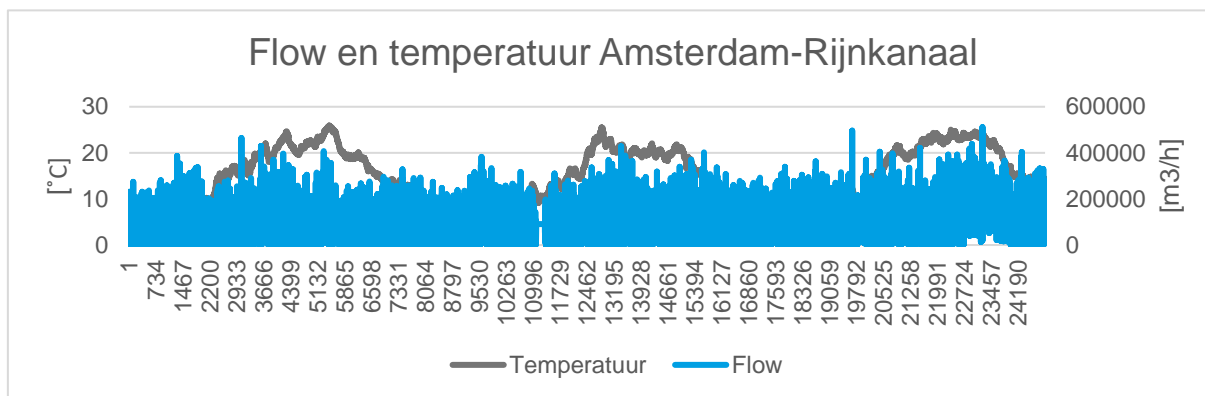


Figuur 3-4: Flow en temperatuur Nederrijn/Lek 2022<sup>xx</sup>

De beschikbare energie is afhankelijk van het samen vallen van temperatuur en debiet, of flow. We zien in bovenstaande grafiek dat de temperatuur jaarlijks stijgt rond de zomerperiode, maar dat tegelijkertijd ook de flow daalt op dit moment. Vanaf een temperatuur van ongeveer 15 graden is het mogelijk om warmte uit het water te onttrekken in aan een WKO te leveren. De flow daalt in deze perioden tot ongeveer 100.000 m<sup>3</sup>/h.

### Amsterdam-Rijnkanaal

Om de potentie van het Amsterdam-Rijnkanaal te bepalen is dezelfde methodiek gehanteerd als voor de Nederrijn/Lek. De meetpunten zijn wel anders; voor de stroomsnelheid is Wijk bij Duurstede gebruikt, en de temperatuur is gemeten bij Maarsse. In onderstaande grafiek zijn de resultaten hiervan weergegeven.



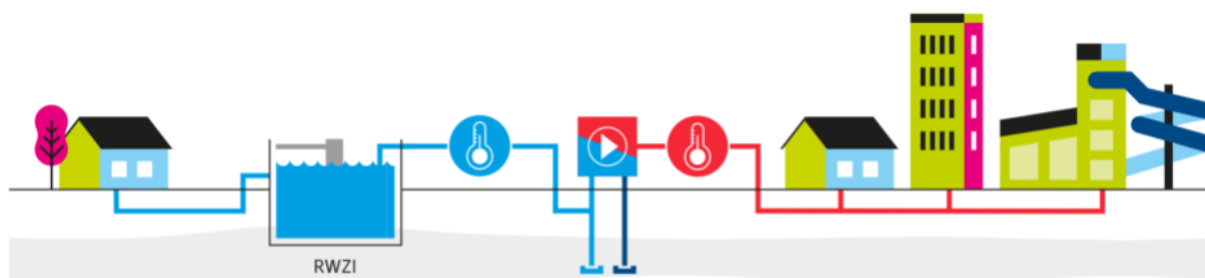
Figuur 3-5: Flow en temperatuur Amsterdam-Rijnkanaal 2022<sup>xx</sup>

### Kromme Rijn

Ter plaatse van de gemeente stroomt ook de Kromme Rijn. De energiepotentie van de Kromme Rijn is gemiddeld als stilstaand water. Dit is een worst-case scenario, want de energetische potentie van stilstaand water is lager dan de potentie van stromend water. Wanneer het water stil staat werkt het als een grote zonnecollector in de open lucht; de ingestraalde energie vanuit de zon kan onttrokken worden uit het water, waarmee een warmtebron aangevuld kan worden. Ook hier geldt weer dezelfde beperking als voor zonthermie; het moment van beschikbaarheid van warmte komt slecht overeen met het moment waarop de warmte gevraagd wordt (zomer tegenover de winter). Daarom is ook hier een opslagmogelijkheid noodzakelijk. De potentie van de energie uit oppervlakte water is hier alleen bepaald naast de kernen Wijk bij Duurstede en Cothen; hier is het namelijk ook mogelijk om de warmte af te geven, een TEO systeem is namelijk niet te maken voor individuele woningen. De technische potentie komt hiermee uit op 38.000 GJ. Per jaar. Echter is het zeer waarschijnlijk niet mogelijk om deze warmte ook daadwerkelijk te gebruiken, omdat de Kromme Rijn een natuurlijk gebied is. De voorkeur voor het winnen van warmte ligt daarom voor nu eerder bij de stromende rivieren binnen de gemeente.

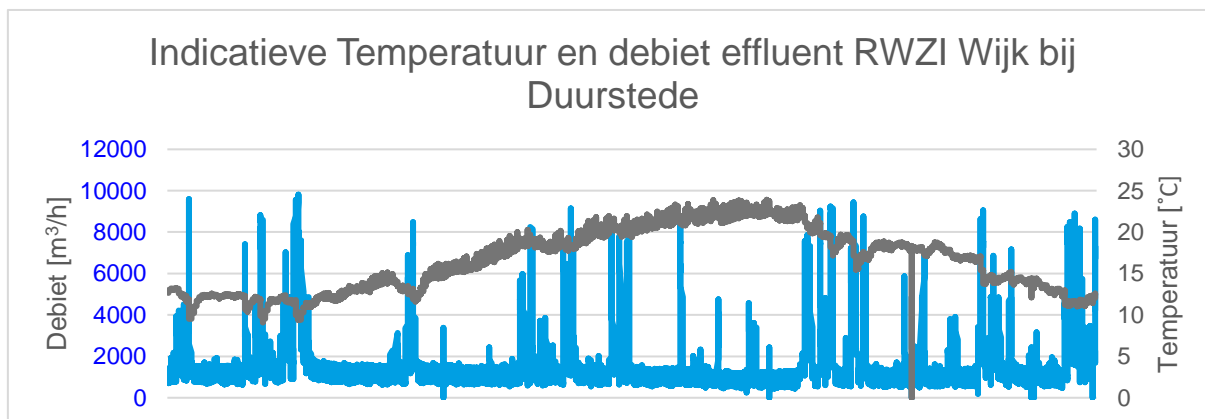
### 3.8.4 Warmte uit afvalwater (TEA)

Bij thermische energie uit afvalwater wordt warmte onttrokken aan afvalwater. Er zijn verschillende bronnen van afvalwater waarvan de grootste ons riolsysteem. De warmte kan op verschillende plekken gewonnen worden, zoals rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI), pompgebouwen of rioolbuizen of bij de bron zelf zoals een productiebedrijf. TEA lijkt in vele opzichten op TEO, maar onderscheidt zich op één belangrijk punt: de temperatuur van het afvalwater is veel stabiel gedurende het jaar - 12 graden in de winter tot 20 graden in de zomer bij de RWZI. Dit betekent dat opslag geen vereiste is. Korte termijn opslag is vaak wel een vereiste wanneer de momenten van afvalwaterproductie niet overeenkomen met de momenten van warmtevraag.



Afbeelding 3-3: Schematisch overzicht werking warmte uit afvalwater

Om de potentie van de warmte uit afvalwater te kunnen bepalen is de stroomsnelheid van het schone water (effluent) en de temperatuur hiervan van belang. Exacte data hiervan is nog niet bekend, maar kan mogelijk opgehaald worden bij het waterschap. Voor de eerste ruwe inschatting van de potentie zijn karakteristieke stroomsnelheden en temperaturen voldoende. De maximum stroomsnelheid van het effluent is wel bekend; aan de hand hiervan en bekende stroomsnelheden van de RWZI in Eindhoven is de stroomsnelheid per uur ingeschat. De temperatuur van het effluent is bepaald aan de hand van de gemiddelde temperatuur van de RWZI van Eindhoven en Harderwijk. Hieruit volgt de onderstaande grafiek als indicatieve stroomsnelheden en temperaturen van het effluent in Wijk bij Duurstede.



Figuur 3-6: Indicatieve temperatuur en flow effluent in 2022 RWZI Wijk bij Duurstede

### 3.8.5 Warmte uit drinkwater (TED)

De laatste vorm van aquathermie is thermische energie uit drinkwater (TED). Dit is een nieuwe techniek die nog niet veel is toegepast. De potentie van TED in deze locatie is nog onbekend. Hiervoor zal in overleg getreden moeten worden met het drinkwaterbedrijf binnen de gemeente. Zij kunnen aangeven óf, en hoeveel warmte er eventueel te winnen is uit de drinkwaterleidingen binnen Wijk bij Duurstede. Op basis van de bekende gegevens is het wel mogelijk om een kwalitatieve inschatting te maken van de potentie voor drinkwaterwinning uit TED op deze locatie. Het grootste pompstation voor drinkwaterwinning binnen de gemeente bevindt zich nabij Cothen. Vanuit hier zullen dus ook de drinkwaterleidingen vertakken richting het afzetgebied. Vanwege de verschillende



bouwperiodes van de gebouwen en de lage bebouwingsdichtheid in Cothen wordt het niet aannemelijk geacht dat hier een warmtenet op basis van TED mogelijk is. Wanneer er een onderzoek uitgevoerd wordt naar warmtenetten in Wijk bij Duurstede en er zijn geen direct aanwijsbare bronnen in de buurt, is het mogelijk om hier nogmaals te kijken naar potentie van TED in samenwerking met het drinkwaterbedrijf.

### 3.8.6 Restwarmte hoge en lage temperatuur

Restwarmtebronnen komen in veel vormen en maten voor. Het is de warmte die 'overblijft' na bijvoorbeeld een productieproces. Deze warmte kan zich bevinden in een gas of vloeibare stroom en de temperatuur verschilt per bron. Restwarmte wordt via een warmtenet getransporteerd naar de woningen. Restwarmte van een hoge temperatuur kan direct worden toegepast in woningen zonder gebruik van een warmtepomp en vraagt weinig tot geen aanpassingen in de woning. Dit is financieel dus een heel gunstig scenario (bij een voldoende hoge bebouwingsdichtheid). Bij een lagere temperatuur restwarmte moet deze eerst met een (individuele of centrale) warmtepomp worden opgewaardeerd. In onderstaande afbeelding is een overzicht van restwarmtebronnen binnen de gemeente weergegeven. Deze zijn in kaart gebracht voor verschillende overheidsprojecten, en verzameld in de warmteatlas<sup>xxi</sup>. In Wijk bij Duurstede zijn er enkele kleinere laag-temperatuur restwarmtebronnen. Het gaat hier vaak om koelwarmte van supermarkten, zoals de Jumbo in het noorden van de kern Wijk bij Duurstede. De technische potentie van laag- en midden temperatuur warmte in de gemeente is in totaal: 20.000 GJ. Hoog-temperatuur restwarmte is op basis van de warmteatlas van het RVO niet beschikbaar binnen de gemeente. De daadwerkelijke bruikbaarheid hiervan is pas te bepalen wanneer er overleg is geweest met de eigenaren van deze warmtebronnen. Een risico bij het gebruik van restwarmte is dat bij vertrek van het bedrijf, de bron dus ook verdwijnt. Niet alle bedrijven zijn bereid een overeenkomst aan te gaan met betrekking tot levergarantie voor een specifiek aantal jaren.



Afbeelding 3-4: Overzicht restwarmtebronnen

### 3.8.7 Biogas

Biogas is het gas dat vrijkomt bij de vergisting van natte biomassa zoals mest en GFT-afval. Biogas zelf kan niet worden gebruikt met onze huidige apparatuur, omdat er naar ratio te veel koolstofdioxide, stikstof- en zwaveloxiden in het gas zitten. Deze kunnen worden verwijderd om zo biogas om te zetten naar groengas: gas dat 1:1 aardgas kan vervangen. Dit opwaarderen van biogas naar groengas kost ongeveer 5% van de energetische waarde van het totale volume aan groengas en de kosten van een dergelijke installatie zijn hoog. Maar hiermee kan het gas worden gebruikt in onze bestaande aardgasleidingen, wat vele voordelen oplevert. Het aanbod aan biogas is op dit moment beperkt en vervult (volgens de sector) in 2030 ongeveer 5% van onze huidige gasconsumptie<sup>xxii</sup>.

De vraag is: moeten dit gas ingezet voor de gebouwde omgeving? De industrie en zwaar transport hebben deze brandstof mogelijk ook nodig. Deze sectoren hebben weinig tot geen alternatieven, omdat zij de hoge ontbrandingstemperatuur van gas nodig hebben. De meeste Woningen daarentegen kunnen al verwarmd worden met een temperatuur van 40°C. Voor monumentale gebouwen kan het een keuze zijn om hier groengas aan te blijven leveren. Het is hierbij wel de vraag of het verstandig is om deze beperkte bron nu al in zijn geheel te

reserveren voor de gebouwde omgeving. De invloed van een verhoogde vraag naar biogas vanuit de industrie, en een lagere afzet met een groot gasnet (het gasnet moet aangelegd en onderhouden worden voor de monumentale gebouwen) kan ook gevolgen hebben voor de marktprijs van biogas waardoor dit straks niet meer betaalbaar is voor woningeigenaren.

Groengas als transitiewarmtebron in combinatie met een hybride warmtepomp is wel een goede keuze. Dit maakt het mogelijk om woningen die zich niet in één keer laten verduurzamen, of waarvoor er nu nog geen betaalbare warmtetechnieken.

### 3.8.8 Verbranden biomassa

Vaste biomassa, zoals hout, gebruiken voor het verwarmen van woningen is omstreden. Het is een goedkope optie (bij resthout en snoeiafval) en levert hoogtemperatuurwarmte, maar er komt fijnstof en CO<sub>2</sub> vrij bij verbranding. Er zijn vraagtekens over het effect op de CO<sub>2</sub>-uitstoot door biomassa: op papier is dit energieneutraal, maar onder andere het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) en de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) waarschuwen dat biomassa in de praktijk een grotere uitstoot dan kolen kan hebben, met name als niet alleen snoeiafval wordt verbrand<sup>xxiii</sup>.

Daarnaast is er in Nederland veel te weinig biomassa beschikbaar om in onze warmtevraag te kunnen voorzien. Met name in stedelijk gebied is het zeer de vraag waar de biomassa vandaan komt. Bij het ontwikkelen van een biomassacentrale is het dan ook van groot belang dat over een lange periode een toestroom van lokale restbiomassa gegarandeerd kan worden. Zo moet voorkomen worden dat er biomassa uit andere landen moet worden gehaald of minder duurzame biomassa wordt gebruikt.

Op individueel niveau kan verbranden van biomassa een oplossing zijn zolang gekozen wordt voor kachels met een zo schoon mogelijke verbranding (bijv. pelletkachels). Op grote schaal en als hoofdverwarming is dit geen wenselijke oplossing: deze kachels moeten immers ook branden wanneer de weersomstandigheden zodanig zijn dat het fijnstof niet goed weggevoerd kan worden uit de lucht. Kachels met een zeer hoge verbrandingstemperatuur en met filter zorgen voor effectievere en schonere verbranding maar ook bij hout en pellets geldt de beperkte beschikbaarheid van de brandstof.

### 3.8.9 Omgevingswarmte

#### Buitenlucht

Luchtwarmtepompen onttrekken warmte uit de buitenlucht en waarden deze warmte elektrisch op naar een temperatuur van minimaal 40°C. Dit doet het onder een gunstig rendement; gemiddeld levert één deel elektriciteit, drie tot vier delen warmte op. Voor de luchtwarmtepomp neemt dit rendement, afhankelijk van het koudemiddel en de werking van de warmtepomp af bij koude winters. In de meest extreme gevallen kan het zelfs voorkomen dat er tijdelijk volledig elektrisch verwarmd wordt, omdat de warmtepomp anders bevriest. De warmte wordt afgegeven in de woning via lucht of water (radiatoren).

Bij een temperatuur van 40°C moet de woning goed geïsoleerd zijn om warmteverlies/-verval te beperken en ook bij koude winterdagen een comfortabel binnenklimaat te hebben. Voor alle nieuwbouwwoningen vanaf 2015 is de techniek, zonder aanvullende maatregelen, toepasbaar. Woningen die gebouwd zijn na 1992, zijn met beperkte maatregelen geschikt te maken voor toepassing van deze techniek. Dit betekent veelal het vullen van de spouwmuur en het vergroten van de oppervlakte aan warmteafgifte doormiddel van vloerverwarming of grotere radiatoren of convectoren. Tussen 1992 en 2018 zijn er ongeveer 1.850 woningen gebouwd die nog aangesloten zijn op het aardgasnet. Wanneer deze allen overstappen op een lucht-water warmtepomp bespaart dit ongeveer 2.000.000 kubieke meter aardgas per jaar. Wanneer een tussenstap wordt gemaakt naar een hybride warmtepomp is er ook een flinke besparing mogelijk, tot 70% van het aardgasgebruik<sup>xxiv</sup>.

### 3.8.10 Samenvattende tabel

In tabel 3-2 is voor de verschillende warmtebronnen een overzicht gemaakt van de belangrijkste eigenschappen. Hierbij is onder andere gekeken naar:

- Energie inhoud; hoeveel energie is er jaarlijks te verkrijgen van een bron?
- Toepasbaarheid voor oudere woningen; is de beschikbare energie van een zodanig niveau dat dit direct inzetbaar is voor oudere woningen?

- Toepasbaarheid voor buitengebied; is de beschikbare energie van een soort dat het eenvoudig in het buitengebied toepasbaar is, waar de woningdichtheid minder groot is.

In de bijlage is de wijze van berekenen van de potentie voor de verschillende bronnen weergegeven.

Tabel 3-2: Overzicht warmtebronnen

Bron	Potentie [GJ/jaar]	Toepasbaarheid oude woningen	Individueel toepasbaar	Schaalgrootte < 1000 woningen	Schaalgrootte < 4000 woningen	Ruimtebeslag in woning	Overlast in woning	Keuzevrijheid leverancier
Geothermie	5.500.000	Goed	Nee	Nee	Ja	0,5 m <sup>2</sup> voor afleveret warmte	Geen	Nee
Zonnewarmte - individueel	27.000	Goed	Ja	Nee	Nee	5m <sup>2</sup> op dak 1 m <sup>2</sup> in woning	Geen	Ja
Zonnewarmte - collectief	70.000	Mogelijk	Nee	Ja	Ja	0,5 m <sup>2</sup> voor afleveret warmte	Geen	Nee
Warmte uit oppervlaktewater (TEO)	588.000	Slecht	Nee	Ja	Ja	2 m <sup>2</sup> voor warmtepomp en voorraadvat	Geen	Nee
Warmte uit afvalwater (TEA)	70.000	Slecht	Nee	Ja	Ja	2 m <sup>2</sup> voor warmtepomp en voorraadvat	Geen	Nee
Warmte uit drinkwater (TED)	-	Slecht	Nee	Ja	Ja	2 m <sup>2</sup> voor warmtepomp en voorraadvat	Geen	Nee
Restwarmte lage temperatuur	20.000	Slecht	Nee	Mogelijk	Ja	2 m <sup>2</sup> voor warmtepomp en voorraadvat	Geen	Nee
Restwarmte hoge temperatuur	-	Goed	Nee	Mogelijk	Ja	0,5 m <sup>2</sup> voor afleveret warmte	Geen	Nee
Biogas	294.000	Goed	Nee <sup>1</sup>	Nee	Nee	0,5 m <sup>2</sup> voor gasketel	Geen	Nee
Biomassa (verbranden)	24.000	Goed	Ja	Nee	Nee	1,5 m <sup>2</sup> plus opslag voor biomassa	Fijnstof uitstoot	Deels
Omgevingswarmte	Onbeperkt	Mogelijk	Ja	Deels	Deels	2 m <sup>2</sup> voor warmtepomp en voorraadvat, eventueel buitenunit	Beperkt voor buitenunit lucht warmtepomp	Ja

### 3.9 Verwarmingstechnieken

De bronnen van warmte en de elektriciteit zorgen niet automatisch voor verwarmde woningen; dit gebeurt door een verwarminstechniek. De verwarmingstechnieken zijn in onderstaande sub paragrafen op hoofdlijnen beschreven. Hierbij beschrijven we drie hoofdonderdelen voor iedere techniek:

- 1 Wat is de techniek, en hoe werkt het ongeveer
- 2 Wat merk je in de woning wanneer voor deze techniek gekozen wordt
- 3 Wat merk je in de openbare ruimte wanneer er voor deze techniek gekozen wordt.

Aan het einde van de paragraaf is een tabel opgenomen met daarbij een kwalitatieve score voor belangrijke criteria zoals ruimtegebruik zijn weergegeven. In de bijlage is per techniek een tabel opgenomen waarin toelichting wordt gegeven op de beoordeling van de verschillende technieken. Hierbij zijn ook de kosten voor een 'gemiddelde' rijwoning met label C in Nederland bepaald.

#### 3.9.1 Lucht-water warmtepomp

##### Wat is een buitenluchtwarmtepomp?

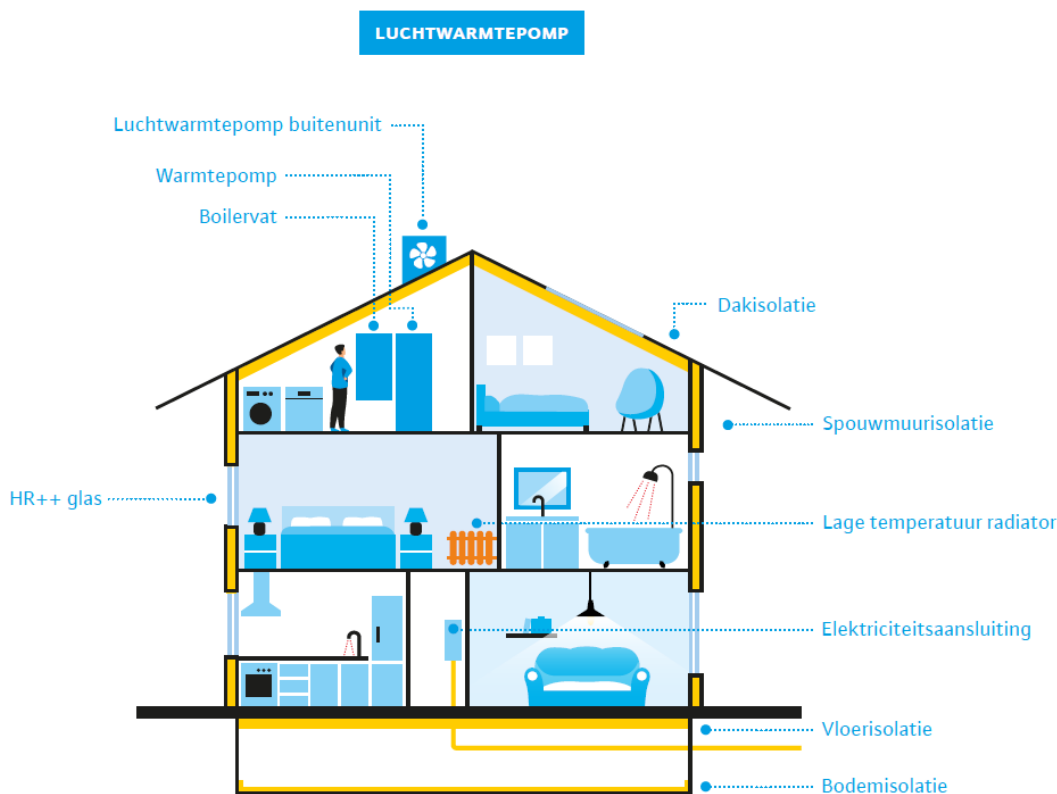
Een buitenluchtwarmtepomp haalt warmte uit de buitenlucht en verwarmt daarmee je woning op een hogere temperatuur (40 – 45°C) via radiatoren of vloerverwarming. Dat doet de buitenluchtwarmtepomp heel efficiënt met een rendement van 300 tot 400%. Dat wil zeggen; voor iedere gebruikte hoeveelheid energie, in de vorm van elektriciteit, wordt drie tot vier keer zo veel warmte gemaakt. Ter vergelijking: een nieuwe CV-ketel heeft vaak een efficiëntie van ongeveer 108%. Die warmtepomp maakt ook warm water voor in de keuken of badkamer. Als je ook op inductie kookt, is je woning daarmee aardgasvrij.

<sup>1</sup> Moet opgewaarderd worden en in gasnet gevoed worden

### Wat merk je in je woning?

In de woning komt een warmtepomp inclusief warmtapwatervat die samen zo groot zijn als een flinke koel-vriescombinatie. De meeste warmtepompen hebben een 'buitenunit'. Dat is een kast, vergelijkbaar met een airco, op het dak. De buitenluchtunit kan ook op de garage, aan de gevel of op de grond.

Een afstand tussen de buitenunit en de burens is van belang, zodat zij daar geen last van hebben. Wettelijk mag het geluid bij de burens niet harder dan 40 dB zijn. Het geluid van de buitenunit komt ongeveer overeen met dat van een airco. Er komen leidingen tussen de buitenunit en de warmtepomp. Als er geen ruimte is voor een buitenluchtunit zijn er ook alternatieven, zoals een warmtepomp die via buizen buitenlucht aanzuigt.



Dwa

Afbeelding 3-5: overzicht luchtwarmtepomp

### Wat merk je in de buurt?

Het installeren van een warmtepomp heeft geen direct effect in de buurt. Veel verschillende buitenunits op de daken of aan de gevels geven een veranderd straatbeeld. Hiernaast maken de buitenunits altijd een beetje geluid. Hiervoor zijn regels opgesteld om eventuele overlast van geluidsproductie zo veel mogelijk te beperken.

### Lucht-lucht warmtepomp

#### Wat is een lucht-lucht buitenluchtwarmtepomp?

Een lucht-lucht buitenlucht warmtepomp is een type warmtepompsysteem dat wordt gebruikt voor het verwarmen en koelen van gebouwen. Het werkt door warmte uit de buitenlucht te onttrekken en deze warmte te gebruiken om een binnenruimte te verwarmen. Dit doet het met een rendement van ongeveer 300%. In tegenstelling tot een lucht-water warmtepomp wordt de warmte nu niet af gegeven via radiatoren of convectoren, maar via de lucht. In de zomer kan het proces worden omgekeerd om warmte uit de binnenruimte te verwijderen en naar buiten af te voeren, waardoor de ruimte wordt gekoeld.

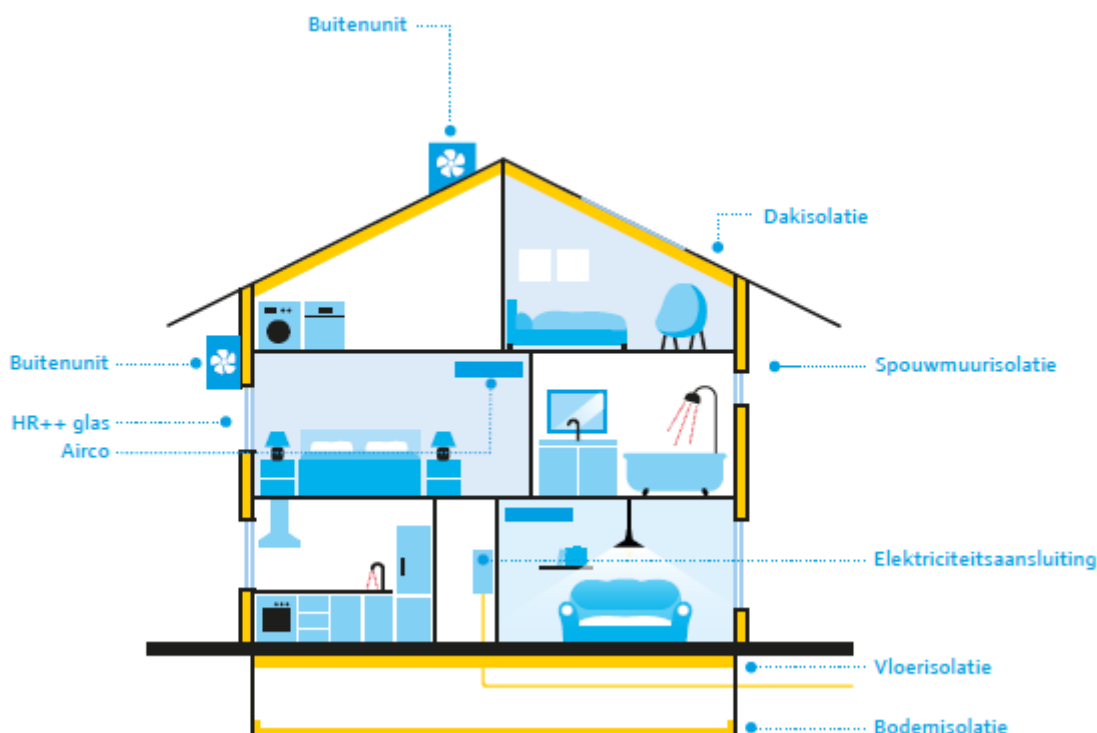
Een nadeel van de lucht-lucht buitenwarmtepomp is dat deze alleen gebruikt kan worden voor het verwarmen en koeling van de woning. Het maken van warm tapwater is hiermee niet mogelijk, waardoor het ook geen eindoplossing is voor een volledig aardgasvrije verwarming van de woningen.

### Wat merk je in je woning?

In de woning komen afgiftesystemen zoals deze ook bekend zijn van airco's. Deze blazen in de winterperiode warmere lucht de woning in, en in de zomerperiode koudere lucht wanneer daar om gevraagd wordt. Deze warmtepompen hebben in principe altijd een buitenunit. Dat is een kast, vergelijkbaar met de standaardbuitenunit van een airco, op het dak. De buitenluchtunit kan ook op de garage, aan de gevel of op de grond. Een afstand tussen de buitenunit en de burens is van belang, zodat zij daar geen last van hebben. Wettelijk mag het geluid bij de burens niet harder dan 40 dB zijn. Er komen leidingen tussen de buitenunit en de warmtepomp.

### Wat merk je in de buurt?

Het installeren van een warmtepomp heeft geen direct effect in de buurt. Veel verschillende buitenunits op de daken of aan de gevels geven een veranderd straatbeeld. Hiernaast maken de buitenunits altijd een beetje geluid. Hiervoor zijn regels opgesteld om eventuele overlast van geluidsproductie zo veel mogelijk te beperken.



Afbeelding 3-6: overzicht lucht-lucht warmtepomp

### 3.9.2 Bodem warmtepompen

#### Wat is een bodemwarmtepomp?

Een bodemwarmtepomp haalt warmte van zo'n 10°C uit de bodem en verwarmt je woning door middel van een warmtepomp daarmee op een hogere temperatuur (40 – 45°C) via radiatoren of vloerverwarming. De bodemwarmtepomp haalt die warmte uit de grond met (verticale) gesloten bodemcollectoren. Dat verwarmen doet de bodemwarmtepomp heel efficiënt met een rendement van 400 tot 600%. Dat wil zeggen; voor iedere gebruikte hoeveelheid energie, in de vorm van elektriciteit, wordt vier tot zes keer zo veel warmte gemaakt. De bodemwarmtepomp maakt ook warm water voor in de keuken of badkamer.

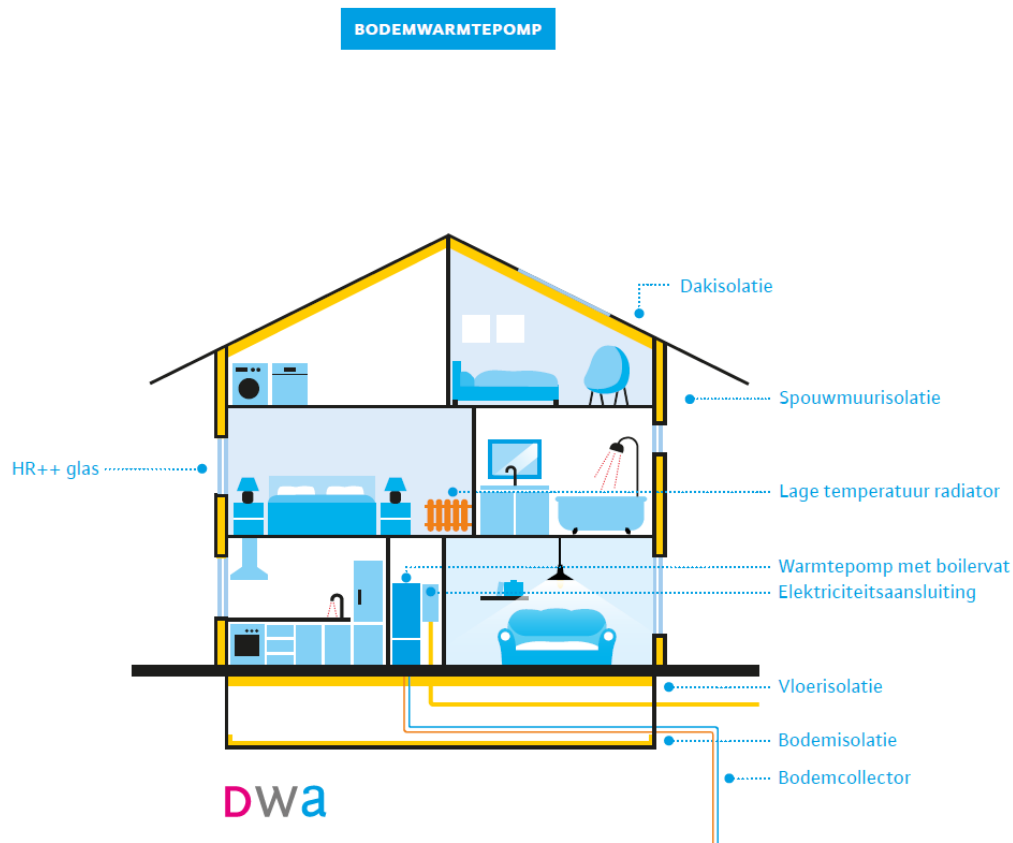
#### Wat merk je in je woning?

In de woning komt een warmtepomp inclusief warmtapwatervat dat samen zo groot is als een flinke koel-vriescombinatie. Als dat beter past, kunnen warmtepomp en warmtapwatervat ook naast elkaar staan. Voor de bodemcollector komt een grote boorwagen een aantal gaten boren in de tuin. Elk gat heeft een breedte van ongeveer 3 tot 4 cm en is zo'n 100 tot 150 meter diep. Daarna moet de tuin wel opgeknapt worden, maar je ziet er later niets van terug. Deze leidingen hebben in principe geen verder onderhoud meer nodig. Leidingen verbinden de bodemcollector met de warmtepomp. Voor de warmtepomp komen er mogelijk extra groepen in de meterkast.



### Wat merk je in de buurt?

Het installeren van dit type warmtepomp heeft geen direct effect in de buurt, omdat deze warmtepomp geen buitenunit heeft. De boorwagen (ongeveer de grootte van een bestelbusje) moet wel naar de tuin kunnen rijden. Ook moet er ruimte beschikbaar zijn voor een kleine graafmachine, en twee kleine tijdelijke afvalcontainers voor de opvang van boorwater en modder.



Afbeelding 3-7: overzicht bodemwarmtepomp

### 3.9.3 Pelletkachel

#### Wat is een pelletkachel?

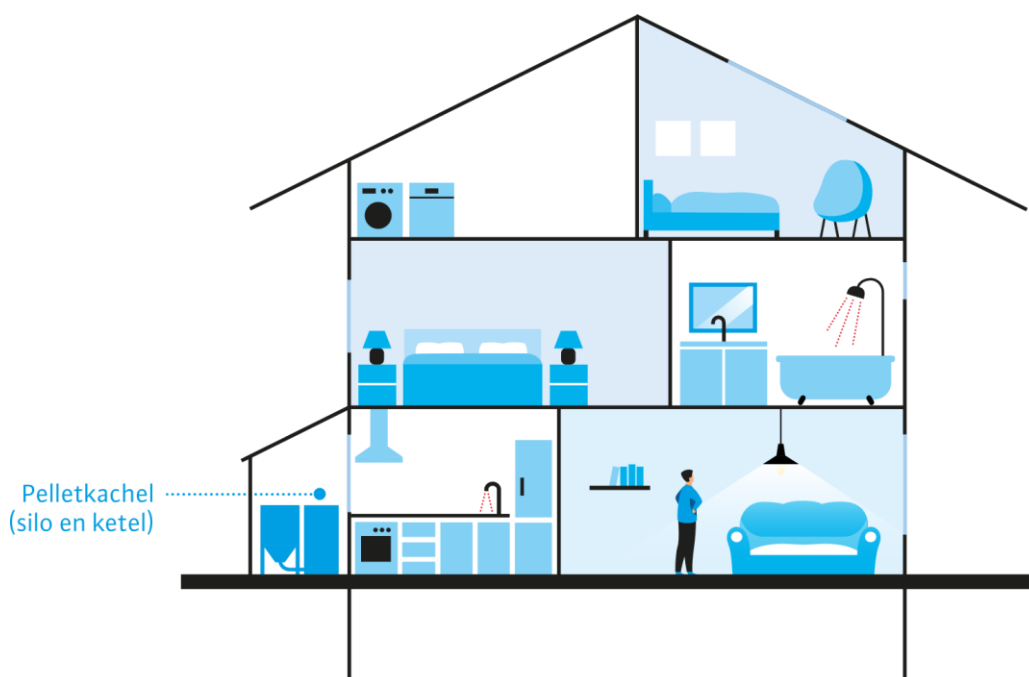
Met een pelletkachel (of biomassaketel) kun je je huis zonder aardgas verwarmen. In plaats daarvan verbrand je houtpellets. Pellets zijn korrels van hout. Een losse kachel, zoals een open haard verwarmt meestal één kamer. Een biomassaketel is een cv-ketel voor je verwarming én warm water, maar dan op hout in plaats van gas. De efficiëntie van een pelletkachel ligt rond de 80% van de energie die erin gestopt wordt in de vorm van hout (snippers).

### Wat merk je in je woning?

Een pelletkachel kan ingezet worden als hoofdverwarming of als bijverwarming. De temperatuur die deze kachels opwekken is hoog genoeg om woningen van warmte te kunnen voorzien zonder extra isolatiemaatregelen. Een pelletkachel aangesloten op het centrale verwarmingssysteem en verwarmd de hele woning. Wanneer dit als hoofdverwarming gebruikt wordt is er een forse ruimtereservering noodzakelijk voor de hout voorraad. Meestal in de schuur of buitenberging. Een gemiddeld huis verbruikt over een jaar 5.200 kilo houtpellets (Milieucentraal).

### Wat merk je in de buurt?

Buren kunnen te maken krijgen met hogere concentraties fijnstof en hier overlast van ervaren. Zeker op momenten wanneer het buiten windstil en mistig is blijft de vervuiling van de houtstook hangen in de omgeving. Kinderen, ouderen en mensen met een longaandoening zijn extra gevoelig voor deze luchtvervuiling.



Dwa

Afbeelding 3-8: overzicht pelletkachel

### 3.9.4 Waterstof ketel

#### Wat is een waterstofketel?

Een waterstofketel is een hr-ketel waarbij de bron geen aardgas is, maar (duurzaam opgewekte) waterstof. Waterstof is op zichzelf niet duurzaam, maar is een energiedrager, net als dat elektriciteit of aardgas dat is. Gelukkig kunnen we waterstof wel duurzaam maken: door gebruik te maken van groene stroom kunnen we in grote fabrieken duurzame waterstof maken: 'groene waterstof'.

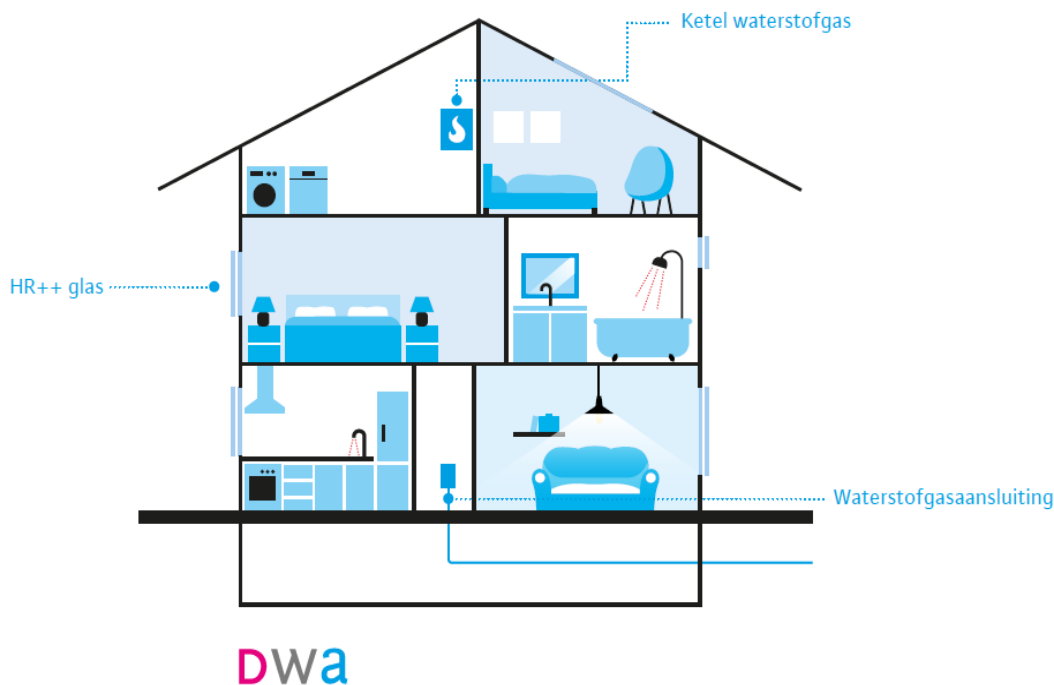
#### Wat merk je in je woning?

In de woning merk je weinig tot niets. De huidige hr-ketel wordt vervangen door een waterstofketel. Ook deze ketel kan hoge temperaturen maken wanneer dat noodzakelijk is. Mogelijk moeten er wat leidingen in de woning gecontroleerd en eventueel vervangen worden, wanneer deze niet geschikt zijn om waterstof te vervoeren. Dit gebeurt vaak onder een hogere druk dan het aardgas. Verder verandert er technisch gezien zeer weinig ten opzichte van de gasgestookte hr-ketel.

#### Wat merk je in de buurt?

De uitrol van waterstofketels is een project dat in grote gebieden zal moeten gebeuren. Waterstof kan, met enkele

kleine aanpassingen, in de toekomst namelijk over het huidige aardgasnet vervoerd worden. Alleen kan in het aardgasnet niet aardgas én waterstof op hetzelfde moment vervoerd worden. Daarom zullen grote groepen woningen gelijktijdig overstappen van het aardgas naar waterstof. Hiervoor moeten de leidingen in de straat mogelijk aangepast worden, maar de hoofdstructuur er van kan blijven bestaan.



Afbeelding 3-9: overzicht waterstofketel

### 3.9.5 Infraroodpanelen

#### Wat is een infraroodpaneel?

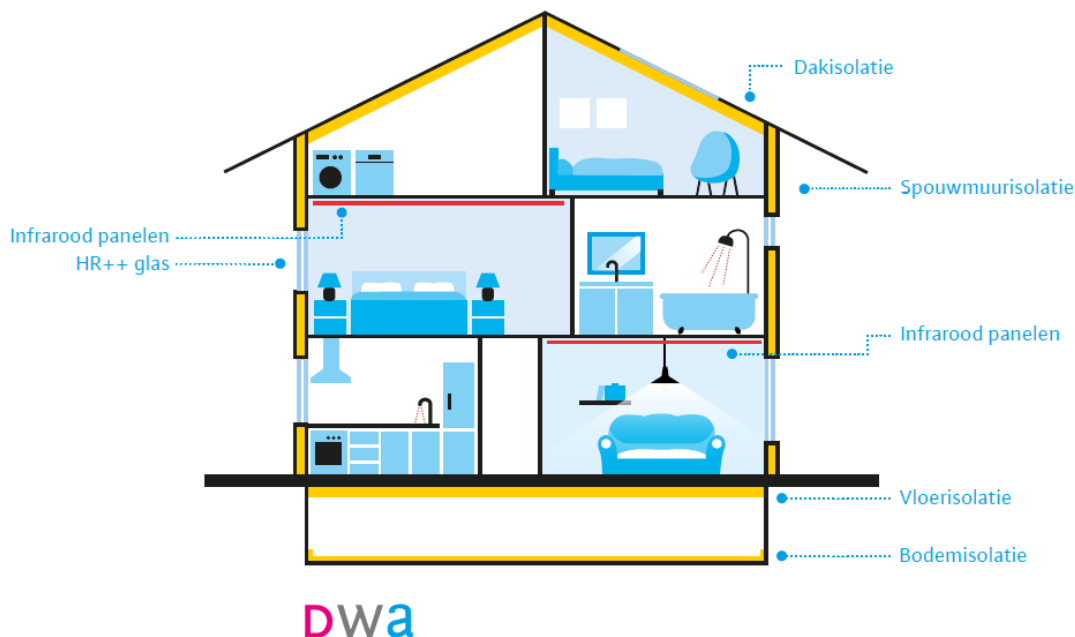
Een infraroodpaneel zorgt voor directe warmtelevering door middel van stralingswarmte. Deze warmte is zeer lokaal en wordt over het algemeen als prettig ervaren. Een voordeel hiervan is dat de warmte alleen op de plaats beschikbaar is waar deze nodig is. Infraroodpanelen zetten elektriciteit een-op-een om in stralingswarmte. De efficiëntie van het paneel wordt daarom nooit hoger dan 100%. Er zijn wel onderzoeken rapporten waarin aangegeven wordt dat het energiegebruik lager is dan wanneer de zelfde hoeveelheid warmte gemaakt zou moeten worden met een CV-ketel of een warmtepomp, omdat de warmte op één plek wordt afgeleverd in op je wordt gestraald. Zekerheid hiervan is er echter niet.

#### Wat merk je in je woning?

In de woning wordt op bepaalde plaatsen een infraroodpaneel geplaatst. Dit kan vast geplaatst worden aan het plafond of aan de muur, maar ook verrijdbaar gehouden worden. De infraroodpanelen hebben alleen een elektriciteitsaansluiting nodig, dus een kabel naar het paneel is noodzakelijk.

#### Wat merk je in de buurt?

Het installeren van infraroodpanelen heeft geen direct effect in de buurt. Vanwege de efficiëntie van de panelen moet het elektriciteitsnet mogelijk verzaamd worden wanneer er veel woningen op deze techniek overstappen.



Afbeelding 3-10: overzicht infraroodpanelen

### 3.9.6 Zeer lage temperatuur warmtenet (gevoed door TEO/TEA)

#### Wat is een zeer lage temperatuur warmtenet?

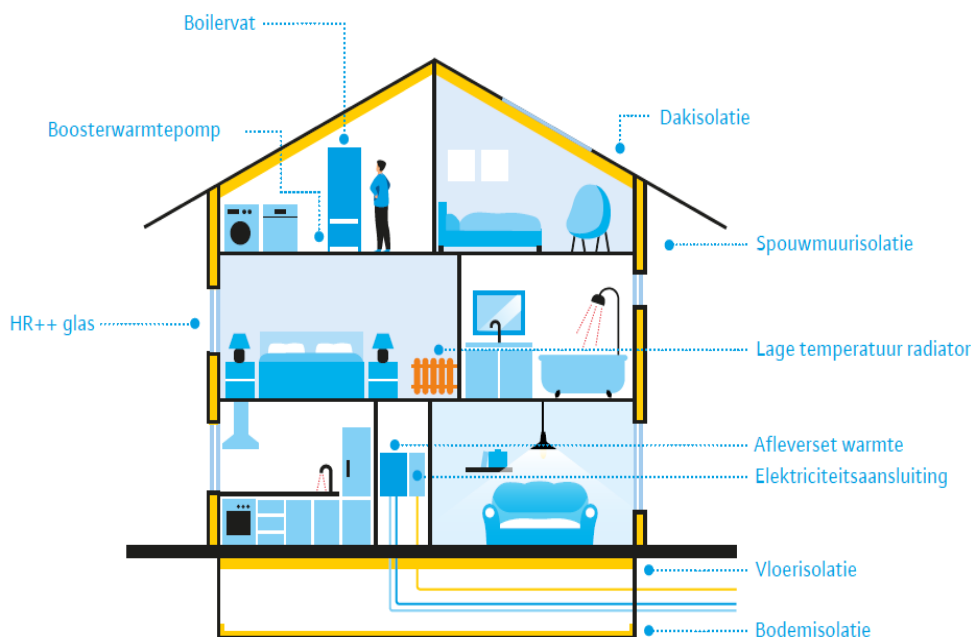
Een zeer lage temperatuur (ZLT) warmtenet levert warmte met een bodemtemperatuur via een collectief leidingnet in de straat naar de woning. Een warmtepomp in je woning waardeert de temperatuur op en geeft die warmte af aan het laagtemperatuur-afgiftesysteem van vloerverwarming, laagtemperatuurradiatoren of laagtemperatuurconvectoren. Koeling is 's zomers ook mogelijk door gebruik te maken van dit zelfde water. Een belangrijk aspect is dat de bodem jaarlijks wel in balans moet blijven. Wordt er meer warmte geleverd dan koude, dan zal de bodem geregenereerd moeten worden.

#### Wat merk je in je woning?

De meeste woningen krijgen extra isolatie en een ander afgiftesysteem. Dat is best ingrijpend, maar de woningen worden comfortabeler en energiezuinig. Ook krijgen alle woningen een warmtepomp inclusief warmtapwatervat dat samen zo groot is als een flinke koel-vriescombinatie. Als dat beter past, kunnen warmtepomp en warmtapwatervat ook naast elkaar staan.

#### Wat merk je in de buurt?

In de straat komt een leidingstelsel van een aanvoerleiding en retourleiding met een aanvoer- en retouraftakking naar elke woning. De leverancier van het warmtenet breekt de straat open en maakt een geul of gat naar de woningen. Dat zorgt tijdelijk voor overlast. Wanneer mogelijk combineert de gemeente dit met andere werkzaamheden in de straat.



DWA

Afbeelding 3-11: Overzicht zeer lage temperatuur net

### 3.9.7 Middentemperatuur warmtenet (gevoed door TEO/TEA/geothermie)

#### Wat is een middentemperatuur warmtenet?

Een MT-warmtenet levert warmte van zo'n 75°C via een collectief leidingnet in de straat via de tuin naar je woning. Die warmte wordt centraal opgewekt en wordt waar mogelijk aangevuld met restwarmte uit de industrie, restwarmte uit afvalwater of geothermie. Een afleveret/warmtewisselaar in de woning geeft die warmte af aan de bestaande centrale verwarming, zoals je radiatoren, vloerverwarming of convectoren. In die afleveret zit ook een warmtemeter die bijhoudt hoeveel warmte je gebruikt.

#### Wat merk je in je woning?

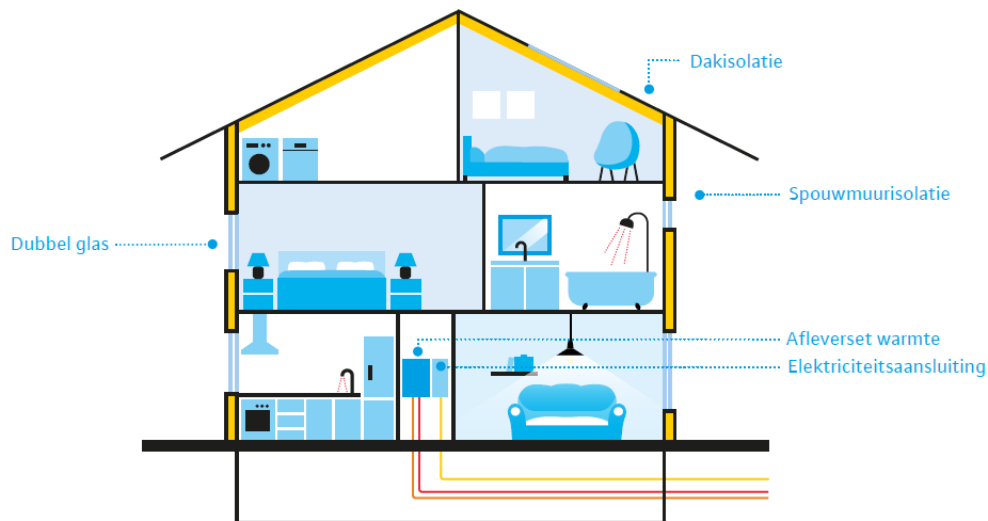
In de woning komt een afleveret. Die komt meestal in de meterkast of op de plek waar nu de cv-ketel hangt. In die afleveret zit een warmtewisselaar en een warmtemeter die je warmtegebruik meet. Dat warmtegebruik komt vervolgens terug op de energiefactuur als gebruikte warmte in Giga Joule. De afleveret is ongeveer 60 cm breed, 60 cm hoog en 20 cm diep. De CV-ketel is niet meer nodig omdat de aangeleverde warmte ook warm genoeg is om warm tapwater mee te maken. De aardgasleiding kan afgesloten en verwijderd worden wanneer er ook elektrisch gekookt wordt. Het is vanwege de hogere aanvoertemperatuur niet nodig om de woning extra te isoleren.

#### Wat merk je in de buurt?

In de straat komt een leidingstelsel van een aanvoerleiding en retourleiding met een aanvoer- en retouraftakking naar elke woning. De leverancier van het warmtenet breekt de straat open en maakt een geul of gat naar de woningen. Dat zorgt tijdelijk voor overlast. Wanneer mogelijk combineert de gemeente dit met andere werkzaamheden in de straat. Ook komt er, afhankelijk van de grootte van het warmtenet, een gebouw met daarin de centrale opwekvoorziening van de warmte. Dit zijn bijvoorbeeld warmtepompen die WKO-water opwarmen tot de juiste temperatuur.



## MIDDEMPERATUUR WARMTENET (70°)



Dwa

Afbeelding 3-12: overzicht middentemperatuurnet

### 3.9.8 Overzichtstabellen

Alle mogelijke technieken voor verwarming worden met elkaar vergeleken aan de hand van een aantal criteria. Dit doen we in onderstaande tabel. Hierin wordt per criterium aangegeven of dit speelt voor deze techniek. Bijvoorbeeld: een zeer laag temperatuurnet, en een middentemperatuurnet hebben invloed op de openbare ruimte in de wijk, waar andere dat niet direct zullen hebben.

Tabel 3-3: overzichtstabel warmtetechnieken

	Huidige situatie met Cv-ketel	Luchtwarmtepomp	Bodemwarmtepomp	Pellet kachel	Waterstofketel	Infraroodpanelen	Laag temperatuur warmtenet	Middentemperatuurnet
Benodigde woningaanpassingen voor isolatie		X	X			X	X	
Ruimtebeslag in de woning		X	X	X			X	
Ruimtebeslag in de wijk							X	X
Geluidsoverlast		X						
Deelname nodig gehele buurt							X	X
Externe exploitant warmtelevering							X	X
Flexibiliteit in moment van aansluiting					X		X	X
'Lokale' warmtebron		X	X				X	X
Aardgasvrij		X	X	X	X	X	X	X
Markrijpe techniek					X			

Om een overzicht te creëren van de investeringskosten voor de verschillende systemen is onderstaande tabel weergegeven. Uitgangspunt hierbij is een rijwoning uit 1970. De kosten van isolatie zijn mogelijk noodzakelijk en daarom optioneel weergegeven. Voor de berekening van de kosten van een warmtenet is er uitgegaan van een warmtenet van 1000 woningen. Duidelijk is dat de huidige CV-ketel qua investeringskosten een stuk lager is dan de toekomstige aardgasvrije verwarmingstechnieken zijn. We zien echter dat door de lagere energielasten, en de stijgende prijs van CV-ketels over de levensduur van de systemen de prijzen dichterbij elkaar liggen.

Tabel 3-4: gemiddelde investeringskosten per warmtetechniek

<b>Verwarmingstechniek</b>	<b>Gemiddelde investeringskosten per woning</b>
CV-ketel	€4.000
Lucht warmtepomp	€10.000 + isolatie afhankelijk van grootte en stat woning. Circa €15.000
Bodem warmtepomp	€30.000 voor bodemwarmtepomp en bodemlussen
Pelletkachel	€10.000
Waterstofketel	€4.000
Infraroodpanelen	€900 per ruimte, niet ingezet als hoofdverwarming
Laag temperatuur warmtenet met individuele warmtepomp	€22.500 + isolatie afhankelijk van grootte en stat woning. Circa €15.000
Middentemperatuur warmtenet op basis van TEO	€25.000

## 4 Vervoer

Het aandeel elektrische voertuigen in Nederland groeit. De toekomstige groei van het aantal elektrische voertuigen is mede afhankelijk van stimuleringsmaatregelen van de overheid en lagere aanschafkosten van de voertuigen. Elektrificatie van het wagenpark draagt bij aan verminderde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, maar biedt ook een kans om de elektrische input in de voertuigen duurzaam op te wekken. Daarnaast draagt een schoner wagenpark bij aan betere luchtkwaliteit. Naast de opwek van voldoende stroom voor het opladen van de voertuigen, heeft elektrisch vervoer ook voldoende oplaadmogelijkheden nodig, dat kan verzwaring van het elektriciteitsnet vereisen. Hier kijken we in deze studie echter niet naar. De eventuele verzwaring van het elektriciteitsnet is namelijk ook sterk afhankelijk van de hoeveelheid stroom die gelijktijdig opgewekt wordt en de huidige staan van het stroomnet.

Om het de verwachte stroomvraag van elektrisch vervoer in kaart te brengen is op basis van de klimaatmonitor berekend hoeveel auto's er ongeveer in Nederland zijn. Hierbij zijn zowel de zakelijke, als particuliere auto's meegenomen. Ook zijn hier zowel volledig elektrische, als hybride (PHEV) auto's meegenomen. De elektrificatie van vrachtwagens is hierin ook meegenomen om een volledig beeld te geven van de noodzakelijke toekomstige elektriciteitsopwekking.

Tabel 4-1: verhouding elektrische auto's

Onderwerp	Nederland	Wijk bij Duurstede
Elektrische auto's	4,5%	2,8%
Hybride auto's	2,6%	2,6%
Totaal aantal auto's	9.300.000	11.500
Totaal elektrisch + hybride auto's	661.000	630

De verwachte verduurzaming van het wagenpark is vervolgens voor drie scenario's bepaald: Wat als de 'gewone' verdere verduurzaming van het wagenpark zoals gemodelleerd in de KEV zich doorzet? Wat als deze verduurzaming iets versneld wordt tot 15% van alle auto's elektrisch, en hoeveel elektriciteit is er nodig wanneer alle auto's volledig elektrisch rijden. Op basis van onderzoek van Vattenfal mogen we hier uit gaan van ongeveer 2.000 kWh per jaar voor het gebruik van elektriciteit door elektrische auto's.<sup>xxv</sup>

Tabel 4-2: verwachte aantallen elektrische auto's in Nederland

Onderwerp	KEV-2030	15% elektrische auto's	Volledig elektrisch
Aantal auto's elektrisch	1.100.000	1.400.000	9.300.000
Aantal auto's niet elektrisch	8.200.000	7.900.000	0
Elektriciteitsvraag auto's (Megawattuur)	2.200.000	2.800.000	17.600.000

De energiebehoefte van vrachtvervoer is bepaald aan de hand van data van het CBS. Hierbij is landelijke data voor gereden kilometers door personenvervoer en zwaar vrachtvervoer omgezet in een percentage gereden kilometers door vrachtvervoer. Aan de hand van beschikbare data over de efficiëntie van vrachtverkeer<sup>xxvi</sup> is hiermee de benodigde energiehoeveelheid bepaald op 4.500 MWh per jaar.

## Bijlage 1 - Uitgangspunten isolatiewaarden woningen

In onderstaande tabellen zijn de uitgangspunten van de huidige en toekomstige isolatiewaarden van woningen weergegeven. Voor de vloer, de gevel, en het dak is de Rc-waarde weergegeven. Voor de beglazing de U-waarde.

De Rc-waarde staat voor 'resistance of construction' oftewel weerstand van de constructie. Een hoger getal betekent hierbij dat er een hogere weerstand is voor het doorlaten van warmte, en het dus beter geïsoleerd is. De U-waarde is de 'warmtedoorgangscoefficiënt'. Dit geeft weer hoe veel warmte er binnen een bepaalde periode door een oppervlakte kan bewegen op basis van het temperatuurverschil; een lagere U-waarde is hierbij dus een teken van betere isolatie.

Huidige kwaliteit isolatie	slecht	matig	matig	matig	goed	goed
Bouwperiode	t/m 1945	1946-1964	1965-1974	1975-1991	1992-2011	2012-2017
vloer	0,15	1,1	1,1	1,1	3,5	3,5
gevel	0,19	1,7	1,7	1,7	3,5	3,5
dak	0,22	1,3	1,3	1,3	4	4
beglazing beneden	2,3 (dubbel glas)	2,3 (dubbel glas)	2,3 (dubbel glas)	2,3 (dubbel glas)	1,8 (HR++ glas)	1,8 (HR++ glas)
beglazing boven	2,3 (dubbel glas)	2,3 (dubbel glas)	2,3 (dubbel glas)	2,3 (dubbel glas)	1,8 (HR++ glas)	1,8 (HR++ glas)
ventilatiesysteem	Natuurlijke ventilatie	Natuurlijke ventilatie	Natuurlijke ventilatie	Natuurlijke ventilatie	Natuurlijke ventilatie	Mechanische ventilatie

Toekomstige isolatie	Zeer goed	Zeer goed	Zeer goed	Zeer goed	Zeer goed	Zeer goed
Bouwperiode	t/m 1945	1946-1964	1965-1974	1975-1991	1992-2011	2012-2017
vloer	5 (isolatie)	5 (isolatie)	5 (isolatie)	5 (isolatie)	5 (isolatie)	5 (isolatie)
gevel	3,5 (isolatie)	4,5 (isolatie)	4,5 (isolatie)	4,5 (isolatie)	4,5 (isolatie)	4,5 (isolatie)
dak	4 (isolatie)	6 (isolatie)	6 (isolatie)	6 (isolatie)	6 (isolatie)	6 (isolatie)
beglazing beneden	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)
beglazing boven	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)	1,2 (triple glas)
ventilatiesysteem	balans met co2	balans met co2	balans met co2	balans met co2	balans met co2	balans met co2

## Bijlage 2 - Energiepotenties voor warmtewinning

Bron	Potentie	Bepalingswijze
Geothermie	5.500.000	0,12 GJ/m <sup>2</sup> op basis van de geothermiekaart van het TNO (thermogis) maal oppervlak gemeente, exclusief restrictiegebieden
Zonnewarmte - individueel	27.000	Aantal grondgebonden woningen (BAG-viewer) in de gemeente vermenigvuldigd met opbrengst per dak op basis van onderzoek TNO. Vervolgens werkelijk gebruikte opbrengst per woning op basis van milieu centraal maal aantal grondgebonden woningen.
Zonnewarmte – collectief	70.000	Oppervlakte bruikbare daken bepaald op basis van onderzoek naar centrale zonnepanelen in Analyse zonnepanelen RESU16. Vermenigvuldigd met opbrengst voor grote centrales op basis van onderzoek TNO.
Warmte uit oppervlaktewater (TEO)	588.000	Berekend aan de hand van temperatuur en stroomsnelheden
Amsterdam rijkkanaal	291.000	Berekend aan de hand van temperatuur en stroomsnelheden
Nederrijn	259.000	Berekend aan de hand van temperatuur en stroomsnelheden
Kromme Rijn	38.000	Oppervlakte Kromme Rijn ter hoogte van de bebouwingkernen * 1 GJ/m <sup>2</sup>
Warmte uit afvalwater (TEA)	70.000	Berekend aan de hand van gemiddelde temperatuur en effluent per dag
Warmte uit drinkwater (TED)	-	Niet berekend
Restwarmte lage temperatuur	20.000	Onderzocht op basis van Warmteatlas RVO
Restwarmte hoge temperatuur	-	Onderzocht op basis van Warmteatlas RVO
Biogas	294.000	Onderzocht op basis van Warmteatlas RVO
Biomassa (verbranden)	24.000	Onderzocht op basis van Warmteatlas RVO
Omgevingswarmte	Onbeperkt	Onbeperkt



## Bijlage 3 - Energiepotenties voor elektriciteitsopwekking

Elektriciteitsbron	Technische potentie [MWh]	Wanneer onderzocht	Bron	Opmerking	Berekeningswijze
Zon op land	71.000		Gebiedstabel beleidskader zonnevelden	Maximaal op basis van huidig beleid (60 ha zonnevelden)	Rapport
Zon op dak	75.000	2023	Analyse zonnepanelen 2023, provincie Utrecht	Reeds 24% gerealiseerd.	Rapport
Wind op land groot	174.000	2020	Pondera	Kan vergroot worden tot het drievoudige wanneer er ook in stiltegebieden geplaatst wordt.	Rapport
Wind op land klein	Marginaal	2020	Pondera		Rapport
Waterkracht	4.000	2009	Deltares		Rapport
Kernenergie; grote reactoren	12.000.000	2023	Berekening, Rijksoverheid	Beperkt door locatiekeuze centrale overheid	Verwachte vollasturen van kerncentrale en het vermogen
Kernenergie; small modular reactors	176.000	2023	Berekening	Beperkt door onzekerheid over wet en regelgeving	Verwachte vollasturen van kerncentrale en het vermogen

## Bijlage 4 - Toelichting technieken voor warmteopwekking

### Lucht warmtepomp

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	Niet van toepassing
	Temperatuur aangeleverd aan woning	50°C
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	1 woning
	Afhankelijkheid	Geluidseisen, de buitenunit mag wettelijk niet te veel geluid produceren op de erfgrans. De eisen hiervan zijn vergelijkbaar met het geluid van een airco.
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	Buitenluchtwarmtepomp, buitenunit en buffervat
	Isolatie	Hoge isolatiegraad nodig, minimaal label B
	Afgiftesysteem	Radiatoren, convectoren of vloerverwarming
	Ruimtegebruik	Ongeveer 2 m <sup>2</sup>
	Koeling	Mogelijk in combinatie met vloerverwarming
Aanpassingen in de straat	Gasnet	Niet noodzakelijk bij elektrisch koken, afsluiten per woning
	Elektriciteitsnet	Verzwaarde aansluiting nodig voor de woningen
	Warmtenet	Niet van toepassing
Bron van warmte	Duurzaamheid	Wanneer de efficiëntie 350% is, stoot dit 0,10 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit. Ter vergelijking, een gasketel stoot voor dezelfde hoeveelheid 0,21 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit.
	Onderhoud	Jaarlijks controleren, ventilatiekanaal eventueel laten schoonmaken.
Financiële haalbaarheid	Investering bewoners	De warmtepomp kost ongeveer €10.000, exclusief subsidies.
	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€3.000, ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
	Extra partijen	Belangrijke derde partijen
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen
Overig		Geluidsproductie van buitenunits kan in de loop der tijd tot overlast zorgen wanneer er veel units aanwezig zijn die slecht onderhouden of slecht gemonteerd zijn. Voor nieuwe warmtepompen geldt dat deze ongeveer evenveel geluid mogen maken als de buitenunit van een airco.

Hybride warmtepomp

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	Niet van toepassing
	Temperatuur aangeleverd aan woning	70°C wanneer gasketel aan staat, lager wanneer warmtepomp warmte levert.
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	1 woning, minimaal label D, hoe beter het energielabel, hoe meer de warmtepomp gebruikt wordt.
	Afhankelijkheid	Geluidseisen, de buitenunit mag wettelijk niet te veel geluid produceren op de erfgrens. De eisen hiervan zijn vergelijkbaar met het geluid van een airco.
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	CV-ketel, buitenluchtwarmtepomp, buitenunit en buffervat
	Isolatie	Gemiddelde isolatiegraad nodig
	Afgiftesysteem	Radiatoren
	Ruimtegebruik	Ongeveer 2,5 m <sup>2</sup>
Aanpassingen in de straat	Koeling	In principe mogelijk in combinatie met vloerverwarming
	Gasnet	Gasaansluiting kan niet verwijderd worden
	Elektriciteitsnet	Verzwaarde aansluiting mogelijk nodig voor de woningen, afhankelijk van verhouding warmtepomp en CV-ketel
Bron van warmte	Warmtenet	Niet van toepassing
	Duurzaamheid	Dit is afhankelijk van de verhouding van inzet van de warmtepomp en de CV-ketel. De orde grootte van uitstoot zal ongeveer 0,15 kg CO <sub>2</sub> /kWh zijn. Ter vergelijking, een gasketel stoot voor dezelfde hoeveelheid 0,21 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit.
	Onderhoud	Jaarlijks laten controleren.
Financiële haalbaarheid	Investering bewoners	De warmtepomp kost ongeveer €10.000, exclusief eventuele subsidies, hier naast zijn de kosten van de CV-ketel.
	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€3.190, ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
Extra partijen	Belangrijke derde partijen	Installateur van techniek. Stedin voor elektriciteitsnet.
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen

## Bodem warmtepomp

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	Niet van toepassing
	Temperatuur aangeleverd aan woning	50°C
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	1 woning, minimaal label B
	Afhankelijkheid	Bodemlussen mogen niet overal geslagen worden, dit is afhankelijk van provinciaal beleid en restrictiegebieden. Op de 's Gravenweg lijken er voor nu geen restrictiegebieden te zijn.
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	Bodemwarmtepomp, bodemlussen en buffervat
	Isolatie	Hoge isolatiegraad nodig
	Afgiftesysteem	Vloerverwarming (of laagtemperatuurconvectoren)
	Ruimtegebruik	Ongeveer 2 m <sup>2</sup>
Aanpassingen in de straat	Koeling	Goed mogelijk in combinatie met vloerverwarming
	Gasnet	Gasaansluiting verwijderen
	Elektriciteitsnet	Verzwaarde aansluiting nodig voor de woningen
	Warmtenet	Niet van toepassing
Bron van warmte	Duurzaamheid	Wanneer de efficiëntie 470% is, stoot dit 0,8 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit. Ter vergelijking, een gasketel stoot voor dezelfde hoeveelheid 0,21 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit.
	Onderhoud	Jaarlijks laten controleren.
Financiële haalbaarheid	Investering bewoners	De warmtepomp kost ongeveer €30.000, exclusief subsidies.
	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€3.500, ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
Extra partijen	Belangrijke derde partijen	Installateur van techniek. Stedin voor elektriciteitsnet.
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen

## Pelletkachel

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	Niet van toepassing
	Temperatuur aangeleverd aan woning	70°C
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	1 woning
	Afhankelijkheid	Er dient voldoende bereikbare ruimte te zijn om de houtpellets op te slaan en af te leveren.
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	Biomassaketel, goede rookgasafvoer, grote opslagruimte en voorraadvat in berging of schuur.
	Isolatie	Geen hoge isolatiegraad nodig
	Afgiftesysteem	Vloerverwarming of radiatoren
	Ruimtegebruik	1,5 m <sup>2</sup> , hier naast moeten nog pellets opgeslagen worden.
Aanpassingen in de straat	Koeling	Niet mogelijk
	Gasnet	Gasaansluiting verwijderen wanneer elektrisch koken toegepast wordt
	Elektriciteitsnet	-
	Warmtenet	Niet van toepassing
Bron van warmte	Duurzaamheid	Dit stoot 0 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit, wanneer uit gegaan wordt van duurzame houtstook. Ter vergelijking, een gasketel stoot voor dezelfde hoeveelheid 0,21 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit.
	Onderhoud	Jaarlijks controleren, ventilatiekanaal en rookafvoer eventueel laten schoonmaken. Maandelijks aslade legen
Financiële haalbaarheid	Investing bewoners	De kosten voor een biomassaketel zijn ongeveer €10.000.
	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€2.800 ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
Extra partijen	Belangrijke derde partijen	Installateur van techniek. Specialist voor onderhoud (ventilatoren en luchtkanalen)
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen

## Waterstof ketel

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	Niet van toepassing
	Temperatuur aangeleverd aan woning	70°C
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	1 woning
	Afhankelijkheid	Alleen collectief mogelijk; zelf produceren van waterstof is niet mogelijk, dus zal het volledige gasnet over moeten stappen op waterstof.
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	Waterstof combi-ketel
	Isolatie	Geen noodzaak om te isoleren, wel aan te raden
	Afgiftesysteem	Geen noodzaak om radiatoren te vervangen
	Ruimtegebruik	0,7 m <sup>2</sup>
Aanpassingen in de straat	Koeling	Niet mogelijk
	Gasnet	Huidig gasnet kan ingezet worden om waterstof te leveren. De leidingen moeten wel gecontroleerd en eventueel vervangen worden in verband met de hogere druk waaronder waterstof vervoerd wordt.
	Elektriciteitsnet	Geen verzwaring nodig voor de woningen
	Warmtenet	Niet van toepassing
Bron van warmte	Duurzaamheid	De duurzaamheid van een waterstofketel hangt erg af van hoe het waterstof geproduceerd wordt, wanneer dit met groene stroom gemaakt wordt, is het een duurzaam alternatief.
	Onderhoud	Jaarlijks laten controleren.
Financiële haalbaarheid	Investing bewoners	€3.800, vergelijkbaar met een CV-ketel.
	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€4.000, ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
Extra partijen	Belangrijke derde partijen	
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is voor experimenten op de markt, maar nog nieuw en in ontwikkeling



## Infraroodpanelen

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	Niet van toepassing
	Temperatuur aangeleverd aan woning	Niet van toepassing
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	1 woning
	Afhankelijkheid	Comforteis bewoners
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	Infraroodpanelen en elektrische boiler
	Isolatie	Geen noodzaak om te isoleren, wel aan te raden
	Afgiftesysteem	Geen noodzaak om radiatoren te vervangen
	Ruimtegebruik	Minimaal, worden over het algemeen aan het plafond of de muur geplaatst.
Aanpassingen in de straat	Koeling	Niet mogelijk
	Gasnet	Niet noodzakelijk bij elektrisch koken, afsluiten per woning
	Elektriciteitsnet	Verzwarend nodig voor de woningen
	Warmtenet	Niet van toepassing
Bron van warmte	Duurzaamheid	Wanneer de efficiëntie 100% is, stoot dit 0,34 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit. Ter vergelijking, een gasketel stoot voor dezelfde hoeveelheid 0,21 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit.
	Onderhoud	Weinig tot geen, eventueel afstoffen.
Financiële haalbaarheid	Investing bewoners	De kosten van infraroodpanelen liggen ongeveer op €900 per ruimte om te verwarmen.
	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€6.000, ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
Extra partijen	Belangrijke derde partijen	Stedin voor elektriciteitsnet
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen

## Zeer lage temperatuur warmtenet

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	De temperatuur van het zeer lage temperatuur warmtenet is ongeveer 12-15°C
	Temperatuur aangeleverd aan woning	40°C
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	Over het algemeen: meer dan 200 woningen. Ook moeten de woningen dichtbij elkaar liggen, zoals rijwoningen of appartementen.
	Afhankelijkheid	Van deze 200 (of meer) woningen, moet 80% van de woningen meedoen; anders wordt de afstand tussen de woningen weer te groot.
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	Waterwarmtepomp en buffervat
	Isolatie	Hoge isolatiegraad nodig, minimaal label A.
	Afgiftesysteem	Vloerverwarming of laagtemperatuurconvectoren
	Ruimtegebruik	2 m <sup>2</sup>
Aanpassingen in de straat	Koeling	Mogelijk in combinatie met vloerverwarming
	Gasnet	Niet noodzakelijk bij elektrisch koken, afsluiten per woning.
	Elektriciteitsnet	Verzwarend nodig door warmtepomp
Bron van warmte	Warmtenet	Aanleggen bronnet
	Duurzaamheid	Wanneer de efficiëntie 550% is, stoot dit 0,09 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit. Dit is hoger dan een bodemlus, omdat de warmte ook nog vervoerd moet worden van de centrale bron naar de woning. Ter vergelijking, een gasketel stoot voor dezelfde hoeveelheid 0,21 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit.
Financiële haalbaarheid	Onderhoud	Jaarlijks laten controleren.
	Investing bewoners	De investering is afhankelijk van de bijdrage aansluitkosten (BAK) die een bedrijf vraagt die het ZLT-warmtenet zal aanleggen. Dit is afhankelijk van de buurt en kansrijkheid van het ZLT-warmtenet.
Extra partijen	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€3.300, ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
	Belangrijke derde partijen	Warmtenetbeheerder. Beheerder wko-bron
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen
Temperatuur	Temperatuur warmtenet	12-15°C

Middentemperatuur warmtenet

Temperatuur	Temperatuur warmtenet	De temperatuur van een middentemperatuur warmtenet is ongeveer 70°C
	Temperatuur aangeleverd aan woning	70°C
Schaalgrootte en afhankelijkheid	Schaalgrootte	Over het algemeen: meer dan 200 woningen. Ook moeten de woningen dichtbij elkaar liggen, zoals rijwoningen of appartementen.
	Afhankelijkheid	Van deze 200 (of meer) woningen, moet 80% van de woningen meedoen; anders wordt de afstand tussen de woningen weer te groot.
Aanpassingen in woning en ruimtegebruik	Techniek	Afleverset
	Isolatie	Geen hoge isolatiegraad nodig, minimaal label D.
	Afgiftesysteem	Radiatoren
	Ruimtegebruik	0,5 m <sup>2</sup>
	Koeling	Niet mogelijk
	Aanpassingen in de straat	Gasnet
Elektriciteitsnet		Zware centrale aansluiting noodzakelijk
Warmtenet		Aanleggen middentemperatuurnet
Bron van warmte	Duurzaamheid	Wanneer de efficiëntie 550% is, stoot dit 0,09 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit. Dit is hoger dan een bodemlus, omdat de warmte ook nog vervoerd moet worden van de centrale bron naar de woning. Ter vergelijking, een gasketel stoot voor dezelfde hoeveelheid 0,21 kg CO <sub>2</sub> /kWh uit.
	Onderhoud	Jaarlijks laten controleren.
Financiële haalbaarheid	Investing bewoners	De investering is afhankelijk van de bijdrage aansluitkosten (BAK) die een bedrijf vraagt die het ZLT-warmtenet zal aanleggen. Dit is afhankelijk van de buurt en kansrijkheid van het ZLT-warmtenet.
	Jaarlasten bewoners (energiekosten, onderhoud en afschrijving techniek)	€3.300, ten op zichte van een €3.200 voor dezelfde woning met een gasketel.
Extra partijen	Belangrijke derde partijen	Warmtenetbeheerder. Beheerder wko-bron
Financieel-technische haalbaarheid	Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen
Temperatuur	Temperatuur warmtenet	12-15°C

## Bijlage 5 - Toelichting technieken elektriciteitsopwekking

Zon op land

Eenheid		Bron
Vermogensafhankelijkheid	Beschikbaar landoppervlak Zoninstraling	
Kostprijs [€/kWh]	0,053-0,07 €/kWh	Projected Costs of Generating Electricity 2020, IEA
Inpasbaarheid in openbare ruimte	Ja, maar ten koste van landbouw of natuur.	
Externe brandstof noodzakelijk	Nee	
Horizonbelasting	Deels	
Decentrale opwekking van stroom	Ja	
Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen	

## Zon op daken

Eenheid	Bron
Vermogensafhankelijkheid	Beschikbaar dakoppervlak Zoninstraling
Kostprijs [€/kWh]	0,07 €/kWh Projected Costs of Generating Electricity 2020, IEA
Inpasbaarheid in openbare ruimte	Ja, op daken particulieren en bedrijven
Externe brandstof noodzakelijk	Nee
Horizonbelasting	Nee
Decentrale opwekking van stroom	Ja
Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen

## Wind op land groot

Eenheid	Bron
Vermogensafhankelijkheid	Hoogte turbine Windsnelheid Vrije ruimte rond turbine
Kostprijs [€/kWh]	0,025-0,088 €/kWh <a href="#">Kleine windmolens   Milieu Centraal</a> Projected Costs of Generating Electricity 2020, IEA
Inpasbaarheid in openbare ruimte	Ja, op voldoende afstand van woningen, wegen en natuur.
Externe brandstof noodzakelijk	Nee
Horizonbelasting	Ja
Decentrale opwekking van stroom	Ja
Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen



## Wind op land klein

Eenheid	Bron
Vermogensafhankelijkheid	Hoogte turbine Windsnelheid Vrije ruimte rond turbine
Kostprijs [€/kWh]	0,25-0,35 €/kWh <a href="#">Kleine windmolens   Milieu Centraal</a>
Inpasbaarheid in openbare ruimte	Ja, op percelen, of in openbare ruimte.
Externe brandstof noodzakelijk	Nee
Horizonbelasting	Deels
Decentrale opwekking van stroom	Ja
Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen

## Waterkracht

Eenheid	Bron
Vermogensafhankelijkheid	Stroming (debiet) water Hoogteverschil in rivieren/kanalen
Kostprijs [€/kWh]	0,08-0,12 €/kWh Factsheet elektriciteit, nationaal programma RES, 30-4-2020
Inpasbaarheid in openbare ruimte	Ja, afhankelijk van locatie waterstromen en hoogteverval
Externe brandstof noodzakelijk	Nee
Horizonbelasting	Nee
Decentrale opwekking van stroom	Nee
Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen

## Kernenergie: grote reactoren

Eenheid		Bron
Vermogensafhankelijkheid	Opgesteld vermogen van reactor Leveringszekerheid brandstof	
Kostprijs [€/kWh]	0,05-0,08 €/kWh	Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2022, EIA
Inpasbaarheid in openbare ruimte	Lastig; afstand tot bebouwing moet gewaarborgd worden.	
Externe brandstof noodzakelijk	Ja	
Horizonbelasting	Ja	
Decentrale opwekking van stroom	Nee	
Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen	

## Kernenergie: Small modular reactors

Eenheid	Bron
Vermogensafhankelijkheid	Opgesteld vermogen van reactor Leveringszekerheid brandstof
Kostprijs [€/kWh]	Onbekend
Inpasbaarheid in openbare ruimte	Lastig; wettelijke kaders zijn nog niet scherp voor dit soort reactoren.
Externe brandstof noodzakelijk	Ja
Horizonbelasting	Deels
Decentrale opwekking van stroom	Deels
Stand techniek	Techniek is op de markt en bewezen, regulering nog onbekend

## Bijlage 6 - Bepaling energievraag zonder verduurzaming, met groei

Tot slot is een korte bepaling voor de energievraag van de gemeente zonder verduurzaming of isolatie van de woningen, maar met een groei van het aantal woningen door de toegenomen woningbouwopgave gemaakt. Dit geeft ook duidelijk de effecten van isolatie in de toekomst weer. Uitgangspunten hierbij zijn:

- Gasgebruik van woningen uit 2021 zoals weergegeven in de klimaatmonitor
- COP van 2,5 voor een warmtepomp; de warmtepompen moeten een hogere temperatuur maken om de ongeïsoleerde woningen te kunnen verwarmen.
- Groei van aantal woningen landelijk wordt gelijkgetrokken voor Wijk bij Duurstede: landelijk verwachtten we 9,25 miljoen woningen in de woningvoorraad<sup>xxvii</sup>, ten opzichte van 8,2 miljoen in 2021<sup>xxviii</sup>.
- Het energiegebruik van de overige bouw en industrie zal gelijk blijven tussen 2021 en 2050.
- Het energieverbruik van elektrisch vervoer stijgt gelijk aan de groei in de woningvoorraad.

Categorie	Energievraag (MWh)	Percentage tov geheel
Woningen	91.936	44%
Overige bouw	44.444	21%
Elektrisch vervoer	70.387	34%

## Bronnenlijst

- 
- <sup>i</sup> Hoe houden we het warm in Wijk bij Duurstede? Wijk bij Duurstede, 7-2021
  - <sup>ii</sup> Gedrag essentieel bij energiezuinig wonen - Uitgelicht (wur.nl), 2019
  - <sup>iii</sup> Klimaat- en Energieverkenning 2023, PBL, 2023
  - <sup>iv</sup> Analyse zonnepanelen 2023, Provincie Utrecht, 17-11-2023, Duurzaamheidskaart.nl
  - <sup>v</sup> Factsheet gezondheidseffecten van windturbinegeluid, RIVM, 10-2023
  - <sup>vi</sup> Verkenning windenergie Kromme Rijnstreek, Pondera, 09-09-2020
  - <sup>vii</sup> Potentie duurzame energie bij kunstwerken, Deltares, 2009
  - <sup>viii</sup> Archimedean Screw Turbines - Western Renewable Energy
  - <sup>ix</sup> Waterkracht | Duurzame ontwikkeling | Diensten (boonstoppel.com)
  - <sup>x</sup> Kernenergie in Nederland | Duurzame energie | Rijksoverheid.nl
  - <sup>xi</sup> Nieuwe ontwikkelingen in kernreactoren | Autoriteit NVS
  - <sup>xii</sup> Small Modular Reactors 2023, Marktanalyse, NRG, 05-2023
  - <sup>xiii</sup> Kleine en middelgrote kernreactoren | Stichting KernVisie
  - <sup>xiv</sup> Kernenergie | Zeeuws Energieakkoord
  - <sup>xv</sup> Thermogis, 2023
  - <sup>xvi</sup> Zonneboiler: bespaar op gasverbruik | Milieu Centraal
  - <sup>xvii</sup> De businesscase voor Zonnewarmte, TNO, 11-10-2022
  - <sup>xviii</sup> Zonnewarmte | Expertise Centrum Warmte
  - <sup>xix</sup> Analyse zonnepanelen 2021, RESU16, 2021
  - <sup>xx</sup> Waterdata, Rijkswaterstaat Waterdata | Rijkswaterstaat
  - <sup>xxi</sup> Warmteatlas, 2023
  - <sup>xxii</sup> Green gas Roadmap Netherlands, Juli 2014
  - <sup>xxiii</sup> Biobrandstof en hout als energiebronnen – effect op uitstoot van broeikasgassen, KNAW, 2015
  - <sup>xxiv</sup> Hybride warmtepomp: minder gasverbruik | Milieu Centraal
  - <sup>xxv</sup> Hoeveel verbruikt een elektrische auto aan stroom? | Vattenfall
  - <sup>xxvi</sup> Volvo's zware elektrische vrachtwagen op de proef gesteld: hij blinkt uit in zowel rijbereik als energie-efficiëntie | Volvo Trucks
  - <sup>xxvii</sup> Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2022-2050 - Steden en randgemeenten groeien verder (pbl.nl)
  - <sup>xxviii</sup> Ruim 73 duizend nieuwbouwwoningen in 2023 | CBS