Bijlage bij de Beleidsnota Warmte

Bronnenstrategie voor duurzame warmte

Gemeente Utrecht

Utrecht.nl

Colofon

Opstellers

Els van der Roest

Mirjam Harmelink

Vera Haaksma

Review

Op dit document en onderliggende analyses is een review gedaan door De Warmtetransitiemakers in december 2024.

In opdracht van

Duurzame Stad

Ontwikkelorganisatie Ruimte

Informatie

energie@utrecht.nl

Datum

30 juni 2025

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting **4**

1 Aanleiding – Waarom een bronnenstrategie? **6**

1.1 Leeswijzer 6

2 Uitgangspunten & startsituatie **8**

2.1 Uitgangspunten 8

2.2 Opgave – de warmtevraag in 2020 en 2050 9

3 Overzicht beschikbare duurzame warmtebronnen **12**

3.1 Piek en basislast bronnen 12

3.2 Warmteopslag 13

3.3 Warmtebronnen en elektriciteitsvraag 21

4 Welke bronnen zijn geschikt voor welke toepassing **22**

5 Scenario's voor de inzet van duurzame warmtebronnen in collectieve warmtesystemen **28**

6 Bronnen voor het stadsbrede warmtenet **29**

6.1 Resultaten basislastbronnen 31

6.2 Resultaten piek en buffers 32

7 Bronnen voor buurtwarmtenetten **35**

8 Bronnen voor nieuwbouw & bedrijventerreinen **40**

9 Te ondernemen acties **44**

BIJLAGE 1: Financiële analyse **48**

Rekenmethode & kosten kentallen 48

Gevoeligheidsanalyses 51

Samenvatting

De gemeente Utrecht werkt aan een toekomstbestendig energiesysteem dat duurzaam, betrouwbaar en betaalbaar is en ons onafhankelijker maakt. Om dit te realiseren, is het nodig om niet alleen energie te besparen en de infrastructuur aan te passen, maar ook de warmtebronnen te verduurzamen. Deze bronnenstrategie richt zich vooral op de inzet van bronnen voor collectieve warmtesystemen, maar benoemt ook individuele toepassingen waar relevant.

Bij de uitwerking van deze strategie zijn een aantal uitgangspunten gehanteerd: 1) nieuwbouwwoningen zijn standaard voorzien van lage temperatuurverwarming, 2) biomassa is een tijdelijke oplossing die waar mogelijk op termijn wordt afgebouwd, 3) waterstof wordt alleen ingezet als piekvoorziening voor het stadsbrede warmtenet, 4) de temperatuur van het water in bestaande warmtenetten wordt verlaagd, 5) bedrijventerreinen verduurzamen hun warmtevoorziening met lage temperatuurbronnen, en 6) warmtebronnen met een laag het ruimte- en elektriciteitsgebruik hebben de voorkeur.

De warmtevraag in Utrecht bedroeg in 2020 circa 8,5 PJ. Voor 2050 wordt, ondanks energiebesparing in de bestaande gebouwen en afname van de warmtevraag door klimaatverandering, een vergelijkbare warmtevraag verwacht door de toevoeging van 85.000 nieuwbouwwoningen en nieuwe bedrijventerreinen. De verwachte warmtevraag in 2050 komt uit op 7,8 PJ, waarvan 5,5 PJ voor de bestaande bouw en 2,3 PJ voor nieuwbouw en bedrijventerreinen gebouwd na 2020.

In principe zijn er genoeg duurzame warmtebronnen in Utrecht om in de toekomstige warmtevraag van Utrecht te voorzien. Echter, veel bronnen moeten nog worden ontwikkeld en de temperatuur van de beschikbare warmte is te laag voor direct gebruik. Dit betekent dat elektriciteit nodig is om ze op de juiste temperatuur te krijgen.

Er is een breed scala aan duurzame lokale warmtebronnen bekeken, waaronder geothermie, aquathermie (uit afval-, oppervlakte- en drinkwater), restwarmte, zonthermie, luchtwarmtepompen, elektroboilers en waterstof. Elke bron heeft zijn eigen kenmerken qua temperatuur, elektriciteitsverbruik, ruimtegebruik, kosten en zekerheid van realisatie. Warmteopslag speelt een belangrijke rol in een duurzaam energiesysteem om duurzame bronnen optimaal te benutten en vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen. Naast kortdurende opslag in warmtebuffers speelt seizoensopslag via WKO-systemen een belangrijke rol. Daarnaast kunnen ook innovatievere technologieën zoals middentemperatuur en hoge temperatuur opslag (MTO & HTO) in de toekomst een rol gaan spelen voor seizoensopslag van warmte.

Er zijn vier scenario's uitgewerkt voor de inzet van duurzame warmtebronnen voor **het stadsbrede warmtenet**. De scenario's variëren in de mate van uitbreiding van het stadsbrede warmtenet en de beschikbaarheid van middentemperatuur- en hoge temperatuurbronnen. In alle scenario's speelt aquathermie uit afvaltwater (TEA) en oppervlaktewater (TEO) een belangrijke rol. De inzet van geothermie zou een goede toevoeging zijn, maar binnen de gemeentegrenzen lijkt de ondergrond ongeschikt voor geothermie waardoor de inzet zeer onzeker is. Biomassa kan alleen worden uitgefaseerd als er voldoende alternatieve warmtebronnen beschikbaar zijn. Warmtebuffers en piekvoorzieningen blijven noodzakelijk, waarbij waterstof mogelijk een rol speelt. Thermische energie uit lucht (TEL) is voornamelijk nodig als er geen MT/HT bronnen zoals geothermie of restwarmte beschikbaar komen. In dit geval zal de elektriciteitsvraag voor de warmtevoorziening sterker toenemen en nemen de (nationale) kosten toe.

Voor **buurtwarmtenetten** is de inzet van in de buurt aanwezige (lokale) bronnen belangrijk, waaronder aquathermie, kleinschalige lokale restwarmte (datacenters, supermarkten, sportvelden etc), zonthermie of PVT aangevuld met (grootschalige) luchtwarmtepompen. Opslag van energie in WKO-systemen is

een belangrijk onderdeel in buurtwarmtenetten om energievraag en aanbod in balans te brengen en duurzame bronnen maximaal te kunnen benutten. De ondergrondse ruimte is echter beperkt, vooral in dichtbebouwde gebieden. Ook voor buurtwarmtenetten is een piek- en back- up voorziening noodzakelijk. Een mogelijk scenario is het op termijn koppelen van buurtwarmtenetten en/of koppeling van verschillende buurtwarmtenetten aan het huidige stadsverwarmingsnet.

Nieuwbouw en bedrijventerreinen hebben veelal voldoende aan lage temperatuur warmte en maken idealiter gebruikt van collectieve WKO-systemen in combinatie met restwarmte, TEO en PVT voor het in balans houden van de warmte en koude in de bodem. Toepassing van seizoensopslag, zoals collectieve warmte-koudeopslag in de bodem (WKO) leidt tot efficiëntere inzet van duurzame warmtebronnen. Individuele oplossingen zoals bodem- of luchtwarmtepompen zijn ook mogelijk, maar vragen meer ruimte en elektriciteit.

Voor bedrijventerreinen ligt in deze bronnenstrategie de nadruk op de warmtevraag, maar kunnen energiebehoeften (verwarming, mobiliteit, processen/procesgas) ook in meer samenhang worden bekeken zoals wordt gedaan in een Energy Hub.

Tot slot worden er diverse acties voorgesteld om de inzet van duurzame warmtebronnen te stimuleren.

- We sturen als gemeente actief op thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) en stemmen daarover af met andere gemeenten, net als over mogelijke geothermie potentie buiten de gemeentegrenzen.
- We onderzoeken de mogelijkheden voor het inzetten van waterstof als piekvoorziening in het warmtenet.
- We onderzoeken de mogelijkheden en noodzaak van gebruik van het tweede watervoerend pakket voor bodemenergie en warmteopslag op hogere temperaturen (MTO en HTO).
- We faciliteren en beïnvloeden waar mogelijk de verdere benutting van thermische energie uit afvalwater, restwarmte en warmteopslag. Voor grootschalige luchtwarmtepompen faciliteren we op de korte termijn (tot 2030) maximaal één locatie.
- Ten slotte volgen we de ontwikkelingen op het gebied van elektroboilers, zonthermie en thermische energie uit drinkwater (TED).

Rond 2030 evalueren welke bronnen beschikbaar zijn en vindt een herijking van het beleid plaats.

1 Aanleiding – Waarom een bronnenstrategie?

In Utrecht werken we aan een duurzame, betrouwbare en betaalbare warmtevoorziening. Daarbij hoort energiebesparing, aanpassing van de infrastructuur (uitbreiding van het bestaande warmtenet, aanleg van nieuwe (lokale) buurtwarmtenetten) en verduurzaming van de bronnen. In Figuur **1** staat een overzicht van de totale warmtevoorziening van bron tot aan gebruiker. Voor het realiseren van een CO_2 vrije warmtevoorziening is het noodzakelijk om voor alle collectieve en individuele oplossingen duurzame bronnen in te zetten in zowel de nieuwbouw als de bestaande bouw. Deze bronnenstrategie richt zich met name op collectieve warmtebronnen, maar benoemd individuele oplossingen als optie daar waar relevant.

Duurzame warmtebronnen zijn niet altijd direct te gebruiken in een gebouw of warmtenet, er is eigenlijk altijd een installatie of een omzetting nodig om de energie uit de bron om te zetten naar een bruikbare vorm. Bij levering van warmte is deze bruikbare vorm vaak warm water, dit noemen we dan de energiedrager. Een lucht-waterwarmtepomp bijvoorbeeld gebruikt lucht als bron en de warmtepomp zet deze om naar warm water wat een gebouw kan verwarmen. Daarvoor is ook elektriciteit nodig, een ander type energiedrager met als bron bijvoorbeeld zon of wind. Biomassa als bron voor warmte betekent dat de biomassa wordt verbrand in een ketel om warm water te maken. En bij een elektroboiler wordt een vat met water met behulp van elektriciteit naar een hogere temperatuur gebracht en is de energiedrager elektriciteit met als bron weer bijv. zon of wind.

In Figuur **1** wordt een overzicht gegeven van het toekomstige duurzame energiesysteem. In het rode deel van de figuur is aangegeven hoe warmtebronnen uiteindelijk warmte leveren in een gebouw. Naast bronnen en omzettingen, is daar ook opslag opgenomen. Warmteopslag wordt aan het systeem toegevoegd om de warmtevraag en het warmteaanbod beter op elkaar aan te laten sluiten. Samen zorgen deze drie onderdelen (bron, omzetting/installatie en opslag) voor levering van warmte op een bepaalde temperatuur via infrastructuur bij een gebouw. Deze bronnenstrategie gaat daarom niet alleen over de bronnen, maar ook over de vorm waarin deze aan een gebruiker worden geleverd, waar omzetting en opslag een onderdeel van kunnen zijn.

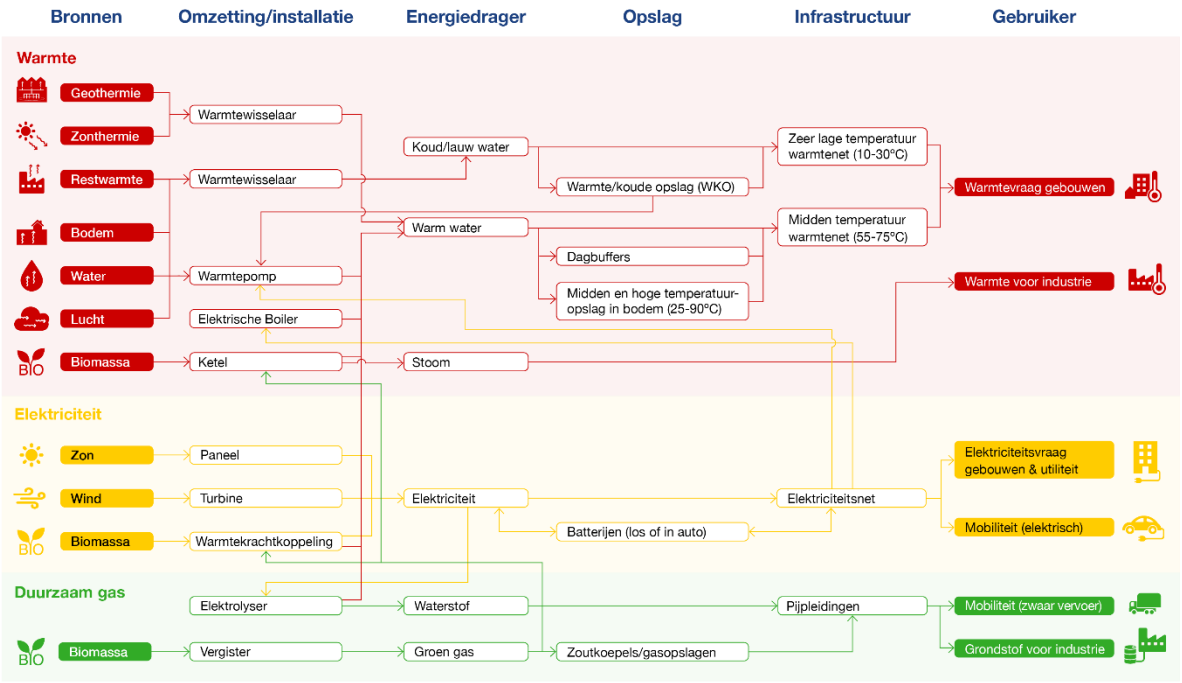
Het doel van de bronnenstrategie is om meer inzicht te geven in welke bronnen, opslagmethoden en omzettingen voor Utrecht het meest kansrijk zijn, en waar en hoe we deze naar verwachting in willen zetten. De infrastructuur wordt verder buiten beschouwing gelaten. De vraag die wordt beantwoord is:

Wat is een mogelijke strategie voor de inzet van duurzame warmtebronnen in Utrecht en welke acties kunnen we daar als gemeente voor nemen?

1.1 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten van de strategie geschetst uit. Ook wordt de startsituatie (de huidige warmtevraag) en de toekomstige warmtevraag (2050) inzichtelijk gemaakt. In hoofdstuk 3 staat een overzicht, inclusief potentieel en karakterisering van beschikbare warmtebronnen in Utrecht. Specifiek komen hier ook elektriciteitsvraag van warmtebronnen en warmteopslag aan de orde. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van logische combinatie van bronnen en type warmtenetten (stadswarmtenetten, buurtwarmtenetten en nieuwbouw/bedrijventerreinen). Op basis van deze informatie worden in

hoofdstuk 5-7 vervolgens verschillende scenario's voor de inzet van duurzame warmtebronnen uitgewerkt voor het stadsbrede warmtenet, buurtwarmtenetten en nieuwbouw en bedrijventerreinen. Tenslotte worden de belangrijkste acties per type net en per bron die volgen uit de bronnenstrategie samengevat in hoofdstuk 9.



Figuur 1 Overzicht van de warmtevoorziening van warmtebron, via omzetting/installatie, drager, opslag en infrastructuur tot aan de gebouwen/gebruikers. In het overzicht worden alleen duurzame bronnen getoond. (MTO = midden temperatuur opslag – 25-60°C, HTO = hoge temperatuur opslag, 60-90°C)

2 Uitgangspunten & startsituatie

2.1 Uitgangspunten

Om te kunnen bepalen welke bronnen van strategisch belang zijn voor de collectieve warmtevoorziening van Utrecht, zijn een aantal uitgangspunten geformuleerd rondom de inzet van bronnen die eerder door de raad zijn vastgesteld en invulling geven aan de principes voor duurzame, betaalbare en betrouwbare warmtevoorziening. In eerdere documenten zijn al een aantal uitgangspunten vastgesteld die in deze bronnenstrategie worden gehandhaafd:

- **Nieuwbouw woningen en nieuwe kantoren/bedrijven worden aangesloten op lage temperatuur verwarmingssystemen.**
  Bij nieuwbouw zijn woningen goed geïsoleerd en geschikt voor lage temperatuur afgifte systemen. Daarnaast zijn lage temperatuurafgifte systemen vaak ook geschikt om te koelen, wat meestal nodig is bij nieuwbouwwoningen en bedrijven. Dit uitgangspunt is al eerder geformuleerd in de Warmtevisie uit 2017.
- **Biomassa is een transitiebrandstof en de inzet van biomassa wordt waar mogelijk afgebouwd.**
  Biomassa wordt in Utrecht gezien als een transitiebrandstof (Raadsbrief Visie biomassa, 2020 & Motie 300), dit sluit ook aan op de visie in de regio (RESU16). Dat betekent dat de inzet van biomassa, als er voldoende andere duurzame bronnen kunnen worden toegevoegd, kan verschuiven van een basislastvoorziening naar een piekvoorziening. Omdat biomassa als energiebron het minst favoriete alternatief is voor fossiele brandstoffen, wordt de inzet van biomassa op termijn verder afgebouwd als er duurzame alternatieve beschikbaar zijn.
- **Waterstof speelt alleen een rol in de piekvoorziening van collectieve warmtevoorzieningen.**
  In de Transitievisie Warmte is de visie op waterstof van Utrecht als bijlage opgenomen. Er zijn veel manieren om waterstof te maken, maar in een duurzame energievoorziening ligt de focus op groene waterstof, die gemaakt wordt uit duurzame elektriciteit. Groene waterstof is daarmee geen energiebron, maar een energiedrager. Onze visie is dat het meest logisch is dat waterstof, als hoogwaardige energiedrager, eerst wordt ingezet voor industrie (voor hoge temperatuur warmte en als grondstof) en zwaar vervoer. De gebouwde omgeving heeft warmte nodig op veel lagere temperatuur, en dus is de inzet van waterstof hier niet noodzakelijk.

  Dit sluit aan bij het verzoek van de (voormalig) minister om waterstof voor woningen niet mee te nemen als warmteoplossing in het warmteprogramma (brief Hugo de Jonge, 2023). De reden is dat er momenteel nog zeer weinig groene waterstof wordt geproduceerd en de verwachting is dat er voor 2035 zeer weinig groene waterstof beschikbaar is waardoor de prijs hoog ligt. Ook daarna is nog niet duidelijk wat precies de prijs van groene waterstof zal zijn. Ook in de regio (RESU16) wordt waterstof niet als oplossing gezien voor de komende tijd. Waterstof kan wel een belangrijke rol vervullen om de piek warmtevraag in de winter in te vullen bij collectieve warmtenetten, waar dit nu nog met aardgas gebeurt (dus piekketels of een stoom en gasturbine (STEG) wordt niet meer gevoed met aardgas maar met groene waterstof)

Aan de al eerder vastgestelde uitgangspunten worden nog een aantal uitgangspunten toegevoegd gebaseerd op meer recente inzichten:

- **Bestaande bronnen worden maximaal benut door de temperatuur in het warmtenet te verlagen van HT (90/70˚C) naar MT (70/40˚C) waar dit mogelijk is**.
  Uit onderzoek van het Energiepaleis blijkt dat 68% van de woningen klaar is voor verwarmen op middentemperatuur (MT – tot 70˚C), en nog 11% energiebesparing nodig is om alle woningen klaar te maken voor MT (Energiepaleis, 2024). Dit betekent dat de temperatuur in het bestaande warmtenet op termijn verlaagd kan worden van hoge temperatuur (HT – 90/70 ºC) naar midden temperatuur (MT- 70/40 ºC). Dit is ook opgenomen in de raadsbrief uitvoeringsvraagstukken warmtetransitie (mei 2022). Bij het verlagen van de warmtevraag en temperatuur is energie besparing noodzakelijk, de doelstellingen en aanpak hiervoor zijn opgenomen in het Programma Energie besparen gebouwde omgeving (2022).
- **Warmtevoorziening op bedrijventerreinen wordt verduurzaamd door inzet van individuele of collectieve LT bronnen (warmte koude opslag of WKO).**
  Dit sluit aan bij de elektrificatie die al is ingezet bij bedrijven, de lage tapwaterbehoefte en het feit dat bedrijven vrij ver uit elkaar staan waardoor MT/HT warmtenetten in verhouding duur zijn. Dit uitgangspunt is opgenomen in het uitvoeringsprogramma verduurzaming bedrijventerreinen (maart 2024) en de raadsbrief uitvoeringsvraagstukken warmtetransitie (mei 2022). Procesgas is in Utrecht van toepassing op een beperkt aantal bedrijven en valt buiten de scope van deze bronnenstrategie.
- **Warmtebronnen met een beperkt elektriciteitsgebruik hebben de voorkeur.**
  Utrecht wil een netbewuste stad zijn (uitvoeringsprogramma elektriciteit en netcongestie, 2024), zodat de netbelasting op het elektriciteitsnet gelijkmatiger over de dag wordt verdeeld en op piekmomenten wordt beperkt. De inzet van lage temperatuur warmtebronnen kan een grote impact hebben op het elektriciteitsnet. Als de warmtevoorziening veel elektriciteit vraagt moet deze ook ergens worden opgewekt. Door ruimtegebrek voor opwek in onze eigen stad, leggen we daarmee de opgave buiten onze eigen regio neer. Dit gaat dan zowel over ruimtegebruik en kosten voor opwek, opslag en flexibiliteit. Daarnaast wordt ervan uit gegaan dat er altijd op hogere niveaus in het energiesysteem voldoende energie (of vermogen) beschikbaar is. Voor de warmtevoorziening willen we dit zoveel mogelijk in de regio doen, zodat we als stad ook zelf bijdragen aan een robuust en betrouwbaar energiesysteem.
- **Bronnen met een beperkt ruimtegebruik hebben de voorkeur.**
  Ruimte is schaars in en om de stad (RSU, 2021), dus moeten keuzes gemaakt worden voor welke bronnen strategisch ruimte gereserveerd moet worden. Warmtebronnen waarbij het ruimtegebruik beperkt is, en de opgewekte warmte (in MW of GJ) per m^2 hoog is verdienen dus de voorkeur boven een bron met een hoog ruimtegebruik.

2.2 Opgave – de warmtevraag in 2020 en 2050

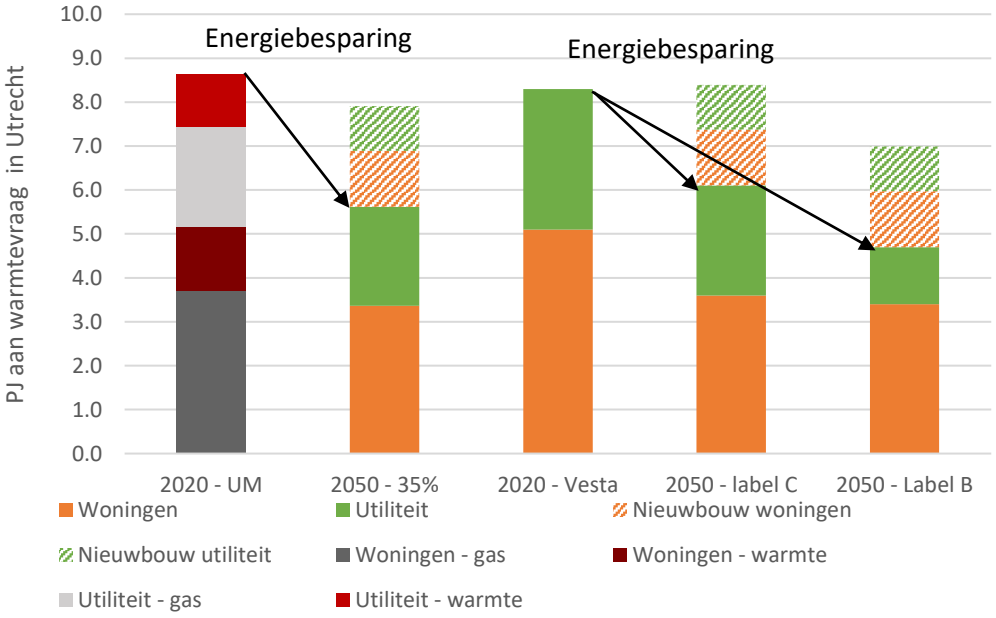
Hoeveel duurzame bronnen nodig zijn hangt af van de warmtevraag die ingevuld moet worden. Daarbij starten we in 2020 en kijken vervolgens naar het jaar 2050. Voor het jaar 2020 zijn verschillende cijfers beschikbaar. De cijfers van de Utrecht Monitor komen voor 2020 op ca 9,1 PJ uit voor gas en warmtevraag van zakelijke verbruikers en woningen. Deze warmtevraag werd ongeveer 30% met warmte vanuit een warmtenet ingevuld, en de rest met gas (ca 70%) (Utrecht monitor, 2024). Met het Vesta MAIS model (PBL, 2021) is ook de warmtevraag voor Utrecht in 2020 bepaald voor woningen en

utiliteitsgebouwen. Dit resulteert is ca 8,3 PJ aan functionele warmtevraag, de verliezen in een warmtenet of cv ketel zijn hierin niet meegenomen.

De getallen wijken van elkaar af om meerdere redenen. In de cijfers van de Utrecht monitor zit het verlies van de cv ketel, die door Vesta niet wordt meegenomen (ca 0,2 PJ), ook is procesgas bij bedrijven onderdeel van het verbruik terwijl dit in Vesta niet is opgenomen (0,26 PJ, op basis van CE Delft, 2021). Er blijft dan nog ca 0,3 PJ aan verschil over, wat waarschijnlijk te verklaren is omdat Vesta MAIS een inschatting maakt van de warmtevraag op basis van bouwjaar en gebouwkenmerken, en de Utrecht monitor rapporteert over daadwerkelijk gebruik. Daarmee ligt de functionele warmtevraag tussen de 8,3 en 8,6 PJ.

Richting 2050 zal de warmtevraag in de bestaande gebouwen afnemen, doordat mensen isoleren, maar ook omdat het klimaat opwarmt. Aan de andere kant worden er woningen bijgebouwd in Utrecht, die ook van warmte moeten worden voorzien. Figuur **2** toont de warmtevraag in Utrecht onder verschillende scenario's, waarin te zien is dat de totale warmtevraag op een vergelijkbaar niveau blijft. Voor nieuwbouw in 2050 is verondersteld dat er 85.000 woningen bijkomen (60.000 uit de woonvisie + 25.000 in Rijnenburg), die 15 GJ per woning aan warmtevraag hebben. Voor bedrijventerreinen is de doelstelling uit de RSU voor 2040 gehanteerd, en een warmtevraag die per m^2 twee keer zo laag is als de huidige warmtevraag van bedrijventerreinen. Nieuwe bedrijventerreinen hebben dan samen een warmtevraag van ca 1 PJ. Verder is in de tweede kolom de besparingsdoelstelling van 35% uit het programma energie besparen van de gemeente Utrecht in beeld gebracht. In de vierde en vijfde kolom is te zien wat de warmtevraag in Utrecht wordt volgens Vesta MAIS als alle panden naar label C of label B zouden isoleren, inclusief een klimaateffect.

Afhankelijk van de mate van besparing varieert de warmtevraag tussen 4,7-6,1 PJ, plus 2,3 PJ aan warmtevraag voor nieuwbouw woningen en bedrijventerreinen. De veronderstelling is dat in 2050 de meeste panden richting label B geïsoleerd zullen zijn. Om zeker te zijn dat er genoeg bronnen beschikbaar zijn, wordt een veilige marge genomen in het midden van de range van 4,7-6,1 PJ. **In het vervolg van deze bronnenstrategie wordt daarom gerekend met een warmtevraag voor Utrecht in 2050 van 7,8 PJ, waarvan 5,5 PJ voor de bestaande bouw, en 2,3 PJ voor nieuwbouw en nieuwe bedrijventerreinen.**



Figuur 2 Omvang van de van warmtevraag in 2020 en 2050. Data voor 2020 uit de Utrecht Monitor, en de warmtevraag zoals berekend met Vesta MAIS. Voor 2050 is de warmtevraag weergegeven volgens de 35%

besparingsdoelstelling van het programma besparen in 2050. Ook is de warmtevraag in 2050 volgens Vesta MAIS weergegeven wanneer alle panden naar label C of naar label B zouden isoleren, waarbij ook een klimaateffect is meegenomen. Oranje gestreept is de energievraag voor nieuwbouwwoningen gebouwd tussen 2020-2050 (ca 85.000) weergegeven.

3 Overzicht beschikbare duurzame warmtebronnen

Tabel 1 geeft een overzicht van het potentieel voor duurzame warmtebronnen, met als basis een rapport over duurzame warmtebronnen in Utrecht (Greenvis ,2021). Het overzicht geeft per duurzame warmtebron:

- het huidige gerealiseerde potentieel
- een inschatting het verwachte totale praktische potentieel en vermogen
- of de bron basis- of pieklast levert
- het temperatuurniveau
- of er warmteopslag nodig is bij toepassing van deze bron
- of de bron koeling kan leveren, het ruimtebeslag van de bron
- een kosteninschatting
- de elektriciteitsvraag van de bron
- de zekerheid waarmee de bron gerealiseerd kan worden.

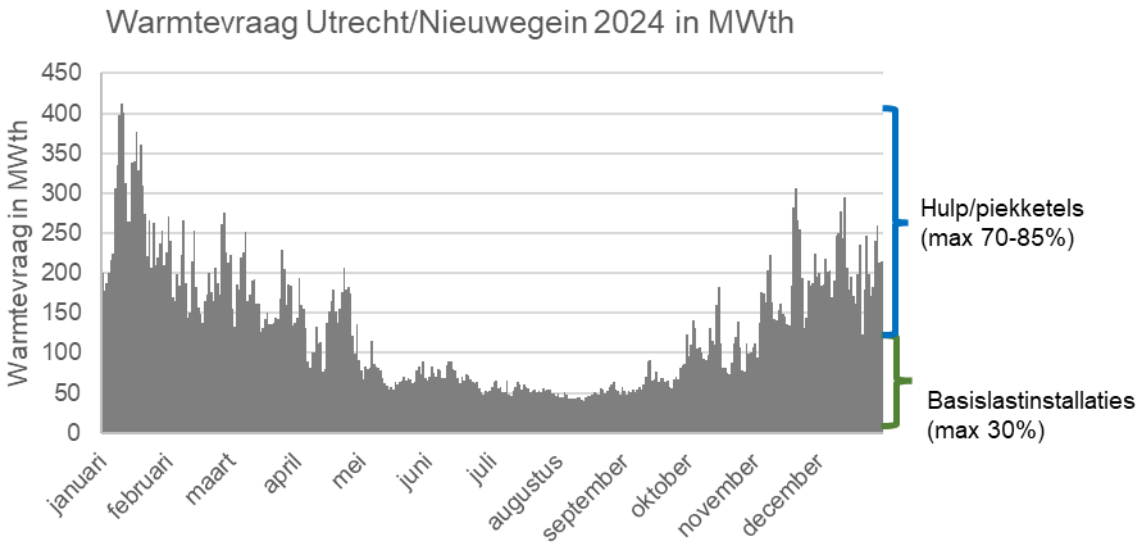
De kosten zijn bepaald op basis van de basisbedragen die horen bij een (redelijk grootschalige) toepassing van de genoemde bronnen uit het eindadvies voor de SDE++ 2024. De laatste kolom geeft aan wat de belangrijkste veronderstelling is voor het inschatten van het verwachte praktische potentieel van deze bron. Op een aantal zaken wordt nader ingegaan in de volgende paragrafen; basis/pieklast (zie paragraaf 3.1), warmteopslag (paragraaf 3.2), het elektriciteitsverbruik van warmtebronnen (paragraaf 3.3).

Ten opzichte van de Transitievisie Warmte deel I & deel II (2021) zijn er een aantal belangrijke wijzigingen in de beschikbaarheid van bronnen (gebaseerd op Greenvis, 2020). Ten eerste werd voor geothermie en aquathermie eerder van de theoretische potentie uitgegaan, en blijkt de praktische potentie significant lager te zijn (Greenvis, 2021). Daarentegen was de inzet van grootschalige luchtwarmtepompen (TEL – thermische energie uit lucht) en elektroboilers eerder niet voorzien.

3.1 Piek en basislast bronnen

De warmtevraag is veel hoger in de winter dan in de zomer, we noemen dat ook wel een badkuipprofiel, zie Figuur **3**. In de zomer staat bij veel mensen de verwarming uit en gebruiken we vooral warmte om te douchen, in de herfst en winter staat de verwarming aan, en op echt koude dagen wordt flink gestookt. Hoeveel warmte over een heel jaar wordt geleverd wordt uitgedrukt in (Tera of Peta)Joule. Om de totale levering van warmte te kunnen realiseren is het belangrijk om voldoende capaciteit of vermogen aan warmte beschikbaar te hebben om op de koudste dag aan de vraag te voldoen, uitgedrukt in MegaWatt thermisch, MWth. De hoogste warmtevraag (in MWth) komt niet zo vaak voor, en voor deze dagen zijn piekvoorzieningen nodig in de vorm van hulp- en piekketels. De piekvoorzieningen leveren momenteel in warmtenetten ca 20-25% van de totale warmtevraag, maar beslaan wel 70-85% van het totaal benodigde vermogen. De inzet van piekketels kan verlaagd worden door energiebesparing, beter spreiden van de warmtevraag over de dag, en door warmteopslag (zowel korte- als lange termijn).

De meeste warmtebronnen in Tabel **1** zijn basislastbronnen. Kenmerk van deze bronnen is dat de productie moeilijk te sturen is (bijv. zonthermie, geothermie) of dat ze veel draaiuren moeten maken voor een haalbare businesscase.



Figuur 3 Het badkuipprofiel van de warmtevraag door het jaar heen, met daarin basis en pieklast. De som van basislast- en hulp/piekketels kan samen hoger zijn dan 100% van de warmtevraag om extra capaciteit beschikbaar te hebben voor een enkele zeer koude dag. Percentages gebaseerd op Functioneel Ontwerp Vesta Mais 5.0.

3.2 Warmteopslag

Naast de inzet van hulp en piekketels is er ook behoefte aan warmteopslag. Opslag is geen bron die zelf warmte toevoegt, maar speelt wel een grote rol om te zorgen voor capaciteit op de koude dagen en de piekmomenten (’s ochtends en ’s avonds). In een duurzaam energiesysteem is deze behoefte aan warmteopslag veel groter dan bij fossiele warmtebronnen (aardgas) omdat 1) fossiele bronnen zoals aardgas makkelijk in gasvorm kunnen worden opgeslagen dan duurzame energiebronnen die vooral elektriciteit produceren, 2) een aantal duurzame warmtebronnen voor beschikbaar is in de zomer (aquathermie en zonthermie) terwijl in de winter de warmtevraag het grootst is, en 3) sommige bronnen continu warmte opwekken terwijl dit niet aansluit op het warmtevraagprofiel (restwarmte en geothermie). Of een bepaalde bron warmteopslag nodig heeft om optimaal te kunnen worden ingezet is één van de benoemde eigenschappen in Tabel **1**.

Warmteopslag komt in verschillende vormen en maten, waarbij vooral de tijdsschaal van opslag belangrijk is. Er kan onderscheid worden gemaakt in warmteopslag voor de korte termijn (dag tot week) of voor de lange termijn (seizoen). Voor de korte termijn zijn verschillende technieken beschikbaar, maar de meest bekende zijn buffervaten. Technieken die zich nog verder moeten ontwikkelen zijn bijvoorbeeld gesmolten zout, vaste stoffen (beton of steen), of warmteopslag op basis van faseovergangen of chemische reacties (Routekaart Energieopslag, 2023). Deze technologieën zijn nog niet ver genoeg ontwikkeld om in dit overzicht op te nemen.

Seizoensopslag van warmte kan worden gerealiseerd in (ingegraven) tanks, kuilen, bodemlussen of door middel van grondwater (aquifers of watervoerende pakketten). In Nederland wordt het grondwater veel gebruikt voor grootschalige warmteopslag, waarbij het grondwater wordt opgewarmd tot maximaal 25ºC. Dit wordt ook wel een open bodemenergiesysteem (OBES) of warmte koude opslag (WKO) genoemd, er zijn momenteel ca 3000 van dit soort systemen in Nederland aanwezig (Routekaart

Energieopslag, 2023). Deze techniek is breed toepasbaar omdat vrijwel overal waterhoudende bodemlagen aanwezig zijn. Ook in Utrecht zien we deze vorm van bodemenergie als zeer belangrijk voor warmte- (en koude) opslag. Een variant op deze systemen is het verder verhogen van de temperatuur van het grondwater in diepe(re) lagen tot 40, 60 of zelfs 90ºC. Dan zijn minder putten nodig en kunnen ook midden- of hogere temperatuurwarmtenetten worden gekoppeld aan de opslag. Daarnaast is een veelgebruikte kleinschaligere techniek om bodemlussen (gesloten bodem energiesystemen of GBES) aan te leggen, bijvoorbeeld voor één woning of gebouw.

In Tabel **2** is een overzicht gegeven van een aantal warmteopslagtechnieken met hun ingeschatte praktische potentie in 2050, zekerheid van realisatie, kosteninschatting en benodigde elektriciteit. Uit de tabel blijkt dat de ontwikkeling van hogere temperatuur opslagsystemen kan zorgen voor een verveelvoudiging van de warmteopslagpotentie. Verder is onderscheid gemaakt tussen gebruik van het eerste (tot ca 50 m diep) en tweede (tot ca 200 m diep) watervoerende pakket in Utrecht. In het grootste deel van de gemeente geldt momenteel een verbod om door de scheidende laag tussen watervoerend pakket (wvp) 1 & 2 te boren. Het grondwater in het 1e wvp is namelijk vervuild, en door de scheidende laag niet te doorboren wordt het risico op vervuiling vanuit het 1e wvp naar het 2e wvp verkleind. De potentie voor bodemenergie wordt hierdoor echter wel beperkt, en daarom is de potentie voor beide watervoerende pakketten in beeld gebracht. Uit de tabel blijkt dat de potentie van OBES in het 2e wvp bijna 3 keer zo groot is als in het 1e wvp.

Tabel 1 Overzicht duurzame warmtebronnen in Utrecht inclusief potentieel, elektriciteitsvraag, zekerheid, mogelijkheid voor koeling en noodzaak warmteopslag.

Bron/Energie-drager	Benut potentieel – mid 2024 (PJ / jaar)	Maximum praktisch potentieel (PJ/jaar)	Potentieel capaciteit (MWth)	Basis (B) of piekbelasting (P) [1]	Temperatuur[1]	Warmteopslag nodig	Kan de bron koeling leveren bij toepassing in een collectief systeem	Ruimtegebruik (m2/MWth)	Inschatting kosten (€/GJ)[2]	Elektriciteits-vraag (kWh/ GJ warmte)	Zekerheid	Belangrijkste veronderstelling voor potentieel
Diepe Geothermie (1500-5000m)	0	2,4 PJ[4]	0-84 MWth[3]	B	50-140˚C	Wenselijk	Nee	1000[4]	28,6	6 kWh[4]	Redelijk laag	2 putten in elk van de 8 zoekgebieden
Ondiepe geothermie (500-1500m)	0	0,2 PJ[2]	0-7,5 MWth[4]	B	15-50 ˚C	Wenselijk	Nee	10.000[4]	45,7	93 kWh[4]	Laag	2 putten in elk van de 8 zoekgebieden
Biomassa	1,6 PJ[4]	1,6 PJ[4]	61 MWth[3]	Nu B, later P	90-110 ˚C	Nee	Nee	400[5]	23,5	3 kWh[4]	Hoog	Huidige capaciteit blijft behouden
Thermische energie uit afvalwater (TEA)	0,6 PJ[6]	0,85 PJ	27-38 MWth[3]	B	10-25 ˚C	Nee	Mogelijk (met WKO)	60[4] (gelijkgesteld aan TEO)	25,5	110 kWh[4]	Hoog	Pas gerealiseerde capaciteit en overige RWZI's
Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)	0	2,4 PJ[4] (ca 1,2 PJ direct	0-150 MWth zomer, ca 70	B	5-25 ˚C	Deels, voor de helft van de potentie	Ja	60[4]	36,3	103 kWh[4]	Gemiddeld	Benutting 50% direct uit Amsterdam-rijnkanaal, de rest

Bron/Energie-drager	Benut potenti-eel – mid 2024 (PJ / jaar)	Maxi-mum prak-tisch po-tentieel (PJ/jaar)	Poten-tieel capa-citeit (MWth)	Basis (B) of piek-last (P) [1]	Tempe-ratuur[1]	Warmte-opslag nodig	Kan de bron koe-ling leve-ren bij toe-passing in een collec-tief sys-teem	Ruimtege-bruik (m2/MWth)	Inschat-ting kos-ten (€/GJ)[2]	Elektrici-teits-vraag (kWh/ GJ warmte)	Zeker-heid	Belangrijkste veronderstel-ling voor po-tentieel
		uit ARK, en 1,2 PJ met WKO)	MWth in de winter[7]									gekoppeld aan WKO potentie.
Thermische ener-gie uit drinkwater (TED, hier de WRK-leiding)	0	0,25 PJ[4]	0-24 MWth[8]	B	5-15˚C	Waar-schijnlijk	Ja	60[2] (gelijkge-steld aan TEO)	25,5 (gelijk aan TEA)	113 kWh[4]	Laag	Potentie naar beneden bijge-steld op basis van informatie Waternet
Thermische Ener-gie uit Lucht (TEL)	0	≥1,6 PJ (in prin-cipe gro-ter, in-pasbaar-heid be-palend) [9]	Ver-wach-ting nu 75 MWth, 50 MWth in de winter[9] (meer	B & P	-10-40 ˚C	Nee, kan wenselijk zijn	Ja, maar niet in MT-net	277[10]	44,8	126 kWh[11]	Gemid-deld	Potentie op ba-sis van ver-wachting Eneco plus ei-gen inschat-ting.

Bron/Energie-drager	Benut potenti-eel – mid 2024 (PJ / jaar)	Maxi-mum prak-tisch po-tentieel (PJ/jaar)	Poten-tieel capa-citeit (MWth)	Basis (B) of piek-last (P) [1]	Tempe-ratuur[1]	Warmte-opslag nodig	Kan de bron koe-ling leve-ren bij toe-passing in een collec-tief sys-teem	Ruimtege-bruik (m2/MWth)	Inschat-ting kos-ten (€/GJ)[2]	Elektrici-teits-vraag (kWh/ GJ warmte)	Zeker-heid	Belangrijkste veronderstel-ling voor po-tentieel
			poten-tie mo-gelijk)									
Restwarmte mid-dentemperatuur	0	0,1-0,6 PJ[4]	0-30 MWth[8]	B en/of P	70 ˚C	Afhankelijk van de bron	Nee	Zeer weinig	6,3	35 kWh[4]	Laag	Met name as-faltcentrale
Restwarmte lage temperatuur	0	0-0,8 PJ[4]	0-36 MWth[8]	B	20-45 ˚C	Afhankelijk van de bron	Nee	Zeer weinig	21,6	88 kWh[4]	Laag	Andere rest-warmte, koel-warmte en da-tacenters
Zonthermie	0	0,5 PJ[4]	0-140 MWth, 50 MWth in de winter	B	30-100 ˚C	Ja	Nee	7700[4]	27,1	6 kWh[4]	Laag	Schatting prak-tische potentie, één of twee lo-caties.
Aanvullende technieken												
Electro boilers (Power to heat)	0-0,5PJ	0-1 PJ Afhanke-lijk van	100 MWth[1] [2] (meer	B of P	10-120 ˚C	Nee	Nee	Zeer weinig	30,9	277 kWh	Hoog	Nu gereali-seerde capaci-teit

Bron/Energie-drager	Benut potenti-eel – mid 2024 (PJ / jaar)	Maxi-mum prak-tisch po-tentieel (PJ/jaar)	Poten-tieel capa-citeit (MWth)	Basis (B) of piek-last (P) [1]	Tempe-ratuur[1]	Warmte-opslag nodig	Kan de bron koe-ling leve-ren bij toe-passing in een collec-tief sys-teem	Ruimtege-bruik (m2/MWth)	Inschat-ting kos-ten (€/GJ)[2]	Elektrici-teits-vraag (kWh/ GJ warmte)	Zeker-heid	Belangrijkste veronderstel-ling voor po-tentieel
		goed-kope stroom uren	poten-tie mo-gelijk)									
Waterstof/duur-zaam gas	0	0,5-1,5PJ (in-schatting beno-digde piek-vraag)	Afhan-kelijk van de beno-digde piek-vraag (nu ca 500 MWth)	P	90-110 ˚C	Nee (wel landelijke gasopslag)	Nee	100[13]	105,4	380 kWh[4] (inclusief waterstof-productie uit elektrici-teit)	Laag	Op basis van inschatting be-nodigde piek-vraag

[1] Greenvis studie provincie Utrecht (2020); Electroboilers & MT warmtepomp – rapport CE Delft (2023)

[2] Gebaseerd op de basisbedragen uit het eindadvies voor de SDE++ 2024

[3] Eneco, routekaart verduurzaming/verduurzamingsstrategie 2022

[4] Greenvis, 2021, Rapportage verdieping potentie warmtebronnen, voor TEO met een COP van 3 gerekend om de totale hoeveelheid geleverde warmte te berekenen, voor zonthermie is een schatting gemaakt van de praktische potentie op basis van de technische potentie (3 PJ). Voor TED is de potentie op basis van informatie van Waternet naar beneden bijgesteld. Uit de eerste resultaten van de proefboring in de regio De Bilt-Zeist als onderdeel van het SCAN project

blijkt de ondergrond in Utrecht ongeschikt voor toepassing van geothermie, maar hier is nog geen getalsmatige onderbouwing bij, hier zijn dus de laatst bekende waarden aangehouden.

[5] Gebaseerd op de huidige omvang van de biomassacentrale

[6] Warmtepomp RWZI Utrecht (eneco.nl)

[7] Studie Greenvis (2021)[2] met aanname dat TEO + WKO een capaciteitsfactor van 0,4 heeft (5 maanden per jaar)

[8] Studie Greenvis (2019), vermogen gehalveerd naar aanleiding van review (dec 2024) door De Warmtetransitiemakers

[9] Presentatie projecten verduurzaming warmtenet Eneco (mei 2024) plus ingeschatte extra capaciteit

[10] Gebaseerd op een plaatsingsstudie voor TEL in Nieuwegein (2024), niet openbaar

[11] Gebaseerd op een COP van 2,2 voor lucht-water warmtepompen voor tapwater uit Functioneel Ontwerp Vesta Mais 5.0 p.145

[12] Inschatting op basis van lopende projecten Eneco (50-60 MWth) plus ingeschatte extra capaciteit.

[13] Gebaseerd op een inschatting van het ruimtegebruik van de STEG en gasketels nu.

Tabel 2 Potentie van verschillende warmteopslagtechnieken in Utrecht voor toepassing in collectieve warmtesystemen

Warmte opslag	Huidig potentieel eind 2024 (PJ/jaar)	Maximum potentieel (PJ/jaar)	Inschatting investeringskosten (€/MWth opgeslagen warmte)	Elektriciteitsvraag per GJ warmte	Zekerheid	Opmerking
Bodemenergie 1e watervoerende pakket – open systemen	0,7[a]	15,5[a]	500-1000[b]	55 kWh[a]	Hoog	Ook individueel (zeker bedrijven)
Bodemenergie 2e watervoerende pakket – open systemen	-	41,4[a]	500-1000[b]	55 kWh[a]	Laag	Momenteel niet toegestaan in het grootste deel van Utrecht (alleen USP en delen Leidsche Rijn en Lunetten)
Bodemenergie 1e watervoerende pakket – gesloten systemen	0,05[a]	6[a]	250-700[b]	55 kWh[a]	Hoog	
Bodemenergie 2e watervoerende pakket – gesloten systemen	-	18[a]	250-700[b]	55 kWh[a]	Laag	Momenteel niet toegestaan in het grootste deel van Utrecht (alleen USP en delen Leidsche Rijn en Lunetten)

Warmte opslag	Huidig potentieel eind 2024 (PJ/jaar)	Maximum potentieel (PJ/jaar)	Inschatting investeringskosten (€/MWth opgeslagen warmte)	Elektriciteitsvraag per GJ warmte	Zekerheid	Opmerking
Seizoensbuffers (MTO/HTO) – 2e watervoerend pakket[a]	0	200-400[a]	200-300[b]		Laag	Afhankelijk van delta T 5-10x zoveel opslagcapaciteit in vergelijking met bodemenergiesystemen tot 25ºC
Warmtebuffers[b]	100 MWth - PJ is hier niet relevant, maar vermogen (geen seizoensopslag, maar dag/week)	Onbekend	2000-4000[b]	3 kWh[c]	Hoog	100 MWth in Utrecht/Nieuwegein geplaatst door Eneco

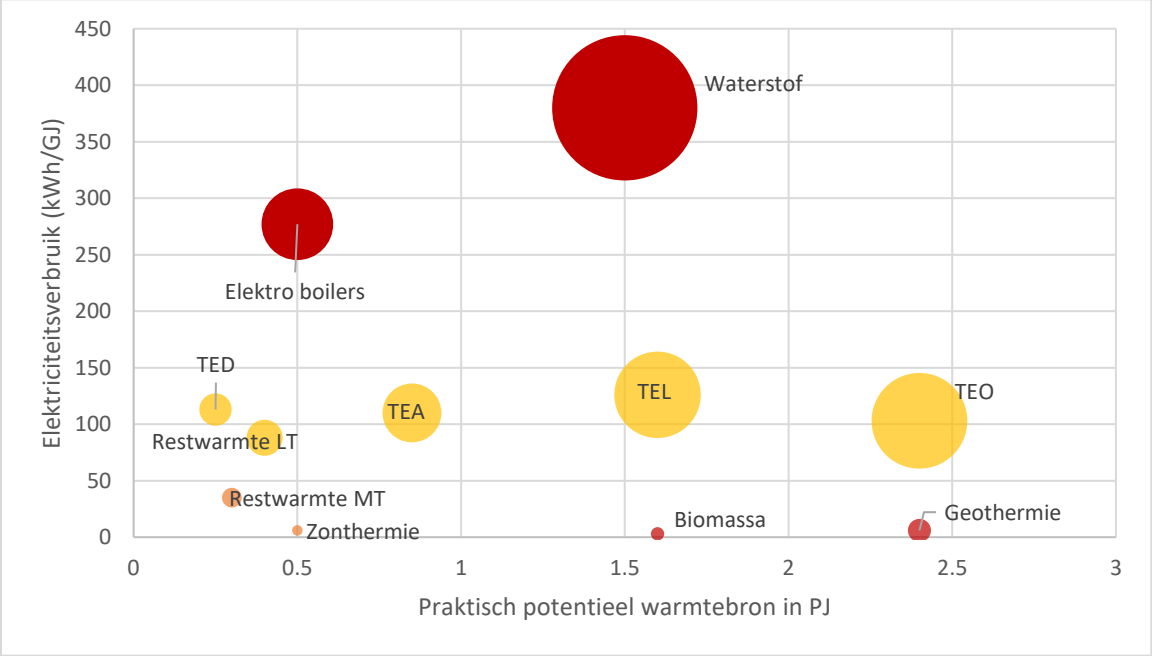
[a] Studie 'Bodemenergie voor warmtelevering in de gemeente Utrecht', KWR (2024). Hierbij is uitgegaan van een volledige benutting van beschikbare ruimte in de ondergrond, dit leidt tot een overschatting van het praktische winbare potentieel. Voor de elektriciteitsvraag is een COP van 5 gehanteerd voor beide type systemen, zoals ook is gedaan in het rapport.

[b] NPLW Factsheet Warmte, p.30

[c] Gebaseerd op een effciency van 99% (CE Delft, 2023)

3.3 Warmtebronnen en elektriciteitsvraag

Uit het overzicht van warmtebronnen (Tabel 1) blijkt dat in Utrecht niet veel hoge (>70˚C) en middentemperatuur (55-75˚C) bronnen beschikbaar zijn. Daarom zijn ook lage temperatuurbronnen (voornamelijk 5-40˚C) nodig die met behulp van elektriciteit op het benodigde temperatuurniveau worden gebracht. Om een idee te krijgen van de toename in elektriciteitsvraag is in Figuur **4** het elektriciteitsverbruik voor verschillende warmtebronnen weergegeven om warmte naar middentemperatuur (55-75˚C) te brengen, uitgezet tegen hun maximale praktische potentieel. De grootte van de bollen geeft een indicatie van het totale elektriciteitsverbruik van deze bron bij inzet van hun volledige praktische potentieel zoals opgenomen in Tabel 1. Voor waterstof bestaat het praktisch potentieel uit een inschatting van de benodigde hoeveelheid duurzaam gas voor de piekvraag van het huidige stadsbrede warmtenet. Om deze waterstof te produceren is veel elektriciteit nodig. Ook TEO & TEL vragen om een grote elektriciteitsvraag in vergelijking met bijvoorbeeld biomassa of geothermie. Elektroboilers hebben naar verwachting een beperkt potentieel, maar vragen relatief veel elektriciteit.



Figuur 4 Elektriciteitsgebruik versus praktisch potentieel van beschikbare duurzame warmtebronnen. De grootte van de stip is het praktisch potentieel vermenigvuldigd met het elektriciteitsverbruik en geeft inzicht in de toename van de elektriciteitsvraag als deze bron wordt ingezet. De kleur geeft aan welk temperatuurniveau de bron heeft zonder opwaardering: Geel = LT (tot 30ºC), Oranje = MT (30-70ºC), Rood = HT (>70ºC). TED = thermische energie uit drinkwater, TEA = thermische energie uit afvalwater, TEO = thermische energie uit oppervlaktewater en TEL = thermische energie uit lucht.

4 Welke bronnen zijn geschikt voor welke toepassing

Warmtebronnen kunnen in verschillende type warmtevoorzieningen worden toegepast. Naast uitbreiding van het bestaande warmtenet voorzien we in Utrecht ook aanleg van nieuwe (lokale) warmtenetten en individuele oplossingen voor zowel bestaande bouw als de nieuwbouw.

Niet alle warmtebronnen sluiten goed aan op alle toepassingen, qua temperatuurniveau, beschikbare potentie of schaalgrootte. Op basis van de eigenschappen per bron (Tabel **1**) of opslagmedium (Tabel **2**) en de geschetste uitgangspunten in paragraaf 2.1, is voor iedere bron per type toepassing de geschiktheid bepaald en toegelicht (Tabel **3**).

Tabel 3 Overzicht van geschiktheid van warmtebronnen voor toepassing in een stadsbreed warmtenet, lokaal buurtnet of bij nieuwbouw/bedrijventerreinen

Bron/opslag	Uitbreiding stadsbreed warmtenet 	Lokaal buurtnet 	Nieuwbouw/ Bedrijventerrein 	Toelichting
Diepe Geothermie (1500-5000m)	+ Geschikte bron, indien beschikbaar (nog onzeker).	+/- Niet geschikt, tenzij het gaat om een net voor meerdere wijken. (ca 5.000 huishoudens)	- Geen HT-warmte nodig	Uit de eerste resultaten van de proefboring in de regio De Bilt-Zeist als onderdeel van het SCAN project blijkt de ondergrond in Utrecht ongeschikt voor toepassing van geothermie. De potentie buiten de gemeentegrenzen moet nog verder worden onderzocht. Hierdoor is de toepassing van geothermie als basislastbron voor collectieve warmtenetten de komende vijf jaar niet realistisch
Ondiepe geothermie (500-1500m)	- Waarschijnlijk niet geschikt. Nog elektriciteit nodig voor op temperatuur brengen. Zeer weinig potentie en hoge kosten.	- Niet geschikt, tenzij het gaat om een net voor meerdere wijken (enkele duizenden huishoudens) & weinig potentie en hoge kosten	- Geen HT-warmte nodig	De potentie van ondiepe geothermie heeft net als diepe geothermie nog onzekerheid over de potentie, daarbij is de capaciteit per bron veel lager, en de kosten hoog.
Biomassa	+/- Huidige installatie behouden, niet verder uitbreiden. Biomassa is een transitiebrandstof.	- Niet geschikt, inzet van biomassa beperken als het kan, in verband met lokale beschikbaarheid en luchtkwaliteit	- Niet geschikt, geen HT-warmte nodig	Biomassa is een transitiebrandstof, als er voldoende nieuwe duurzame bronnen kunnen worden toegevoegd, dan kan de inzet van biomassa verschuiven naar de piek. Omdat biomassa als energiebron het minst wenselijke alternatief is voor fossiele brandstoffen, wordt de inzet van biomassa op termijn verder afgebouwd als er betaalbare duurzame alternatieve

Bron/opslag	Uitbreiding stadsbreed warmtenet 	Lokaal buurtnet 	Nieuwbouw/ Bedrijventerrein 	Toelichting
				beschikbaar zijn (Raadsbrief Visie biomassa, 2020 & Motie 300).
Thermische energie uit afvalwater (TEA)	+ Geschikt, wel relatief veel elektriciteitsvraag. Grootste RWZI is al benut (0,6 PJ).	+ Geschikt indien lokaal beschikbaar (beperkte overgebleven potentie)	+ Geschikt indien lokaal beschikbaar (beperkte overgebleven potentie)	Het grootste deel van de potentie van deze bron is al ingezet voor het huidige warmtenet. De potentie van de kleinere zuiveringen (De Meern, Leidsche Rijn en Maarsenbroek) kan lokaal nog worden bekeken.
Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)	+ Grootschalige installatie zonder WKO geschikt (Amsterdam-Rijn kanaal), wel relatief veel elektriciteitsvraag.	+ Kleinschalige installatie als (regeneratie) bron icm WKO	+ Kleinschalige installatie als (regeneratie) bron icm WKO	Thermische energie uit oppervlaktewater is warmte die in de zomer uit kanalen, rivieren en andere wateren kan worden onttrokken. Dit kan een gunstig effect hebben op de waterkwaliteit door de vermindering van eutrofiëring (algengroei), maar thermische en ecologische effecten (thermisch en door filtering) moeten altijd nader worden bekeken. Omdat vanwege de watertemperatuur vrijwel nooit het hele jaar door warmte kan worden onttrokken, wordt deze bron meestal ingezet als regeneratiebron voor een WKO-systeem.
Thermische energie uit drinkwater (TED, hier de WRK-leiding)	- Te weinig capaciteit om grootschalig in te zetten, =	+/- Mogelijk interessant als er een distributieleiding in de	+/-	Thermische energie uit drinkwater kan relevant zijn als er een drinkwaterleiding van redelijke omvang in de buurt van het project loopt. In de zomer kan warmte halen uit een drinkwaterleiding of buffer

Bron/opslag	Uitbreiding stadsbreed warmtenet 	Lokaal buurtnet 	Nieuwbouw/ Bedrijventerrein 	Toelichting
	relatief veel elektriciteitsvraag	buurt is, anders relatief weinig capaciteit.	Mogelijk interessant als er een distributieleiding in de buurt is, anders relatief weinig capaciteit.	gunstig zijn voor de temperatuur van het drinkwater. De grootste leiding (WRK) die door Utrecht komt kan voorlopig maar 60TJ aan warmte leveren en zal dat buiten de provincie Utrecht gaan doen.
Warmtepomp op lucht (TEL)	+ Geschikt, hoge elektriciteitsvraag	+ Geschikt als (regeneratie)bron, hoge elektriciteitsvraag, en ruimte nodig	+ Geschikt als (piek/backup) bron, hoge elektriciteitsvraag, en ruimte nodig. Lucht kan ook direct een regeneratiebron zijn voor nieuwbouw met dry coolers, zonder warmtepomp, dan een zeer lage elektriciteitsvraag. Dry coolers werken ook met lucht, en hebben een heel lage elektriciteitsvraag.	Warmte kan uit lucht worden gewonnen met warmtepompen of dry coolers. De efficiëntie van de warmtepomp is vrij sterk afhankelijk van de buitentemperatuur. De potentie is bijna oneindig.
Restwarmte middentemperatuur	+ Geschikt om in te voeden, lage kosten, beschikbaarheid beperkt.	+/- Vrijwel geen restwarmte op MT niveau lokaal aanwezig.	- Geen MT-warmte nodig	Er is in Utrecht niet veel restwarmte op MT-niveau beschikbaar en de locaties zijn vooral in de buurt van het huidige stadswarmtenet. Vaak wordt de restwarmte in eigen processen ingezet, de potentie is daarom vrij beperkt, en contractueel moeten goede afspraken worden gemaakt.
Restwarmte lage temperatuur	- Te kleine capaciteit per beschikbare bron	+ Geschikt als beschikbaar in de buurt. Mogelijk	+ Geschikt als in de buurt. Mogelijk interessante (regeneratie)bron,	LT restwarmte is vaak kleinschalig en lokaal. Het kan dan gaan om datacenters, supermarkten, andere utiliteit met een grote koelvraag (koel- of vrieshuis,

Bron/opslag	Uitbreiding stadsbreed warmtenet	Lokaal buurtnet	Nieuwbouw/ Bedrijventerrein	Toelichting
		interessante (regeneratie)bron, weinig ruimte, draagt bij aan uitwisseling warmte en koude	weinig ruimte, draagt bij aan uitwisseling warmte en koude	ijsbaan, ziekenhuis, laboratorium, etc.), sportvelden of wegen die worden vernieuwd (waar warmtewisselaars onder geplaatst kunnen worden). Goede afspraken over gebruik van de restwarmte zijn noodzakelijk.
Zonthermie/PVT	+/- Groot ruimtebeslag, opslag noodzakelijk.	+ Zonthermie/PVT kan een mogelijke (regeneratie)bron zijn voor een buurtwarmtenet, als de energievraag hoog is, en als er voldoende (dak)ruimte kan worden gevonden.	+ Om dakruimte optimaal te benutten kan PVT een mogelijke (regeneratie)bron zijn, wel duurder dan PV.	Grootschalige zonthermie concurreert met zon-PV en vergt relatief veel ruimte. Op kleinere schaal door gebruik te maken van daken in wijken zou PVT (elektriciteit & warmte) of zonthermie (alleen warmte) geschikt kunnen zijn.
Electro boilers (Power to heat)	+ Geschikt als onderdeel van portfolio aan bronnen, bij goedkope elektriciteit.	- Zeer lage COP dus zeer veel elektriciteitsvraag, te weinig draaiuren in verhouding tot kosten.	- Zeer lage COP dus zeer veel elektriciteitsvraag, te weinig draaiuren in verhouding tot kosten.	Een electroboiler is eigenlijk een hele grote waterkoker (COP = 1). Met een electroboiler kan worden ingespeeld op momenten van lage elektriciteitsprijzen, of op andere netprikkels. Aantal draaiuren op jaarbasis is laag (1000-2000).
Waterstof/duurzaam gas	+/- Voor piekvraag waarschijnlijk noodzakelijk.	- Waarschijnlijk niet lokaal beschikbaar. Lokale opslag is duur.	- Kan anders ingevuld worden, en is waarschijnlijk niet lokaal beschikbaar.	Waterstof/duurzaam gas kan een rol vervullen om de piekvraag van het warmtenet af te dekken in de winter, in de vorm van een piekketel of STEG/WKK. Sluitstuk van de warmtetransitie, waterstof wordt verder niet als optie op wijkniveau meegenomen, dus

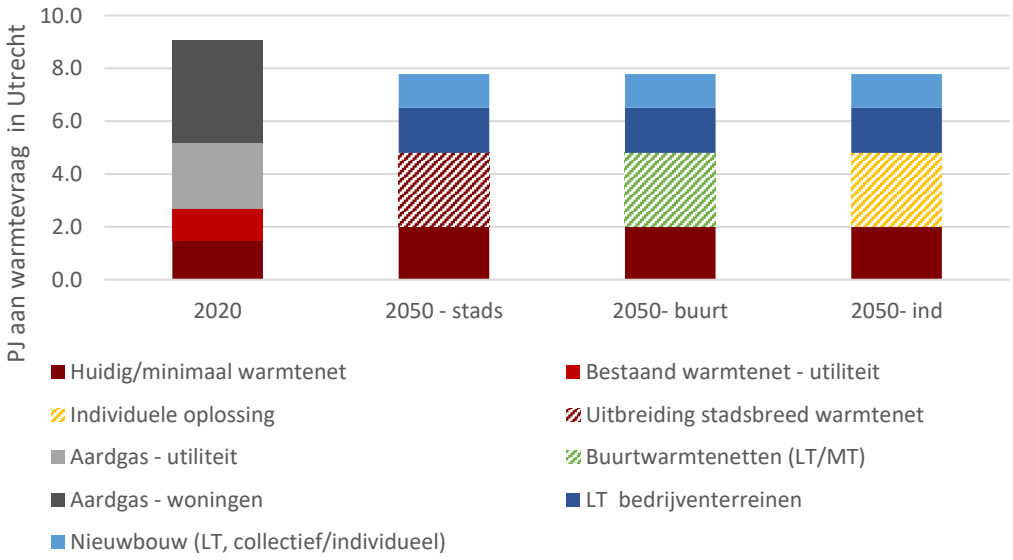
Bron/opslag	Uitbreiding stadsbreed warmtenet 	Lokaal buurtnet 	Nieuwbouw/ Bedrijventerrein 	Toelichting
				uitgangspunt is dat het niet in het aardgasnet komt. Lokaal opslaan is erg kostbaar.
Bodemenergie (in combinatie met een LT-bron)	- Temperatuurniveau niet hoog genoeg	+ Geschikt als seizoensopslag.	+ Geschikt als seizoensopslag	Open bodemenergiesystemen worden al veel toegepast in Nederland en zijn een goed opslagmedium. Door uitwisseling van warmte en koude kan zowel de gehele koudevraag en een groot deel van de warmtevraag worden ingevuld.
Seizoensbuffers (MTO/HTO)	+/- HTO kan interessant zijn, vooral in combinatie met geothermie, wel rekening houden met effecten op de bodem (chemisch/microbiologisch).	+/- MTO eventueel interessant, maar nog onderzoek nodig naar potentie en mogelijke effecten (chemisch/microbiologisch) op de bodem.	+/- MTO eventueel interessant, maar nog onderzoek nodig naar potentie en mogelijke effecten (chemisch/microbiologisch) op de bodem.	MTO (25-40˚C) en HTO (40-90 ˚C) zijn beide varianten op WKO, maar op hogere temperatuur. Deze systemen zijn nog in ontwikkeling en nog geen standaard toepassing, maar kunnen wel bijdragen aan grotere inzet van duurzame bronnen, verlaging van de elektriciteitspiekvraag, ruimtebeslag in de ondergrond en meer seizoensopslag. Belangrijk aandachtspunt zijn de mogelijke effecten op de microbiologie en chemie van de bodem (op de lange termijn).
Warmtebuffers (dag/week)	+ Noodzakelijk om dagelijkse pieken af te vlakken en meer duurzame bronnen te gebruiken	+/- Mogelijk interessant inpassing van grote buffers is ruimtelijk lastig.	+/- Mogelijk interessant, inpassing van grote buffers is ruimtelijk lastig, vooral bij hoge woningdichtheid. Kan ook (deels) in huis worden opgelost met individuele buffervaten.	In vrijwel ieder warmtesysteem zal een vorm van buffering nodig zijn om pieken op te vangen. In het stadsbrede net kan dat in grote buffers. Op wijkniveau of bij nieuwbouw/bedrijventerreinen kan de ruimte die nodig is kan een probleem zijn waardoor deze buffers waarschijnlijk niet heel groot kunnen worden.

5 Scenario’s voor de inzet van duurzame warmtebronnen in collectieve warmte-systemen

Om meer inzicht verkrijgen in welke bronnen in welke hoeveelheden nodig zijn voor verschillende typen toepassingen, zijn scenario’s uitgewerkt. De veronderstelling wat betreft de totale warmtevraag die moet worden ingevuld in 2050: 5,5 PJ voor bestaande bouw, 1,7 PJ voor bedrijventerreinen en 1,3 PJ voor nieuwbouw (zie 2.2). Dit hoofdstuk beschrijft de inzet van bronnen voor de de bestaande bouw. Bronnen voor nieuwbouw en bedrijventerreinen worden verder uitgediept in hoofdstuk 8.

De warmtevraag van 5,5 PJ in 2050 zal worden ingevuld door warmtelevering via het 1) stadsbrede warmtenet, 2) buurtwarmtenetten en 3) individuele oplossingen. Om de hoeken van het speelveld te verkennen, wordt met minimale en maximale scenario’s voor deze drie opties gewerkt (Figuur 5). In ieder scenario is er minimaal 2 PJ aan warmtevraag in het stadsbrede warmtenet, dit zijn de huidige aansluitingen en nieuwe aansluitingen vlakbij het huidige net. De resterende warmtevraag (2,8 PJ) kan zowel met een stadsbreed warmtenet, buurtwarmtenetten of een individuele oplossing worden ingevuld.

Samen met de uitgangspunten, informatie over beschikbaarheid van hernieuwbare warmtebronnen en de geschikte toepassing van bronnen zijn mogelijke scenario’s opgesteld voor invulling van de warmte-vraag. Voor het stadsbrede warmtenet worden de bronnen voor deze scenario’s verder uitgewerkt in hoofdstuk 6, voor buurtwarmtenetten in hoofdstuk 7. Het aandeel van individuele lucht of bodemwarm-tepompen is verondersteld op maximaal 2,8 PJ. De strategie voor individuele oplossingen wordt niet verder uitgewerkt in deze bronnenstrategie, die zich richt op de inzet van collectieve warmtebronnen.



Figuur 5 Scenario's voor invulling warmtevraag in 2050 en ter vergelijking de invulling van de warmtevraag in 2020. Er treedt een grote verschuiving op van aardgas naar andere vormen van verwarmen.

6 Bronnen voor het stadsbrede warmtenet

Het huidige stadsbrede warmtenet is organisch gegroeid, waardoor het kan gebeuren dat warmteleidingen in een straat liggen maar niet alle panden zijn aangesloten. In zo'n geval is het niet aannemelijk dat er nog een andere collectieve oplossing wordt gerealiseerd, omdat er niet genoeg ruimte is voor nog een extra warmtenet in de straat. Daarom is verondersteld dat in een minimaal scenario voor het stadsbrede warmtenet naast de huidige aansluitingen, ook 70% van de panden die aan een warmleiding liggen en kleine ingesloten gebieden worden aangesloten. De veronderstelling is dat in de overige panden een eigen individuele oplossing wordt gerealiseerd. Dit komt neer op 25.000 extra aansluitingen en een totale warmtevraag van 2 PJ. De overige warmtevraag wordt dan door buurtwarmtenetten (2050-buurt) of individuele oplossingen (2050-ind) ingevuld zoals weergegeven in Figuur 5. Inclusief verlies van ca 20% is 2,5 PJ aan warmte uit duurzame bronnen nodig.

In het maximale scenario wordt bijna de hele bestaande bouw aangesloten op een stadsbreed warmtenet (donkerrode en roodgestreepte balkje in Figuur 5). De bedrijventerreinen worden hiervan afgetrokken, behalve het deel wat nu al op stadswarmte zit (ca 8%, CE Delft, 2021), dit komt neer op ca 0,7 PJ. Uiteindelijk leidt dit tot 4,8 PJ aan warmtevraag voor het stadsbrede warmtenet (2050-stads), inclusief verlies (verondersteld op 20%) is dan 6,0 PJ aan duurzame warmte nodig.

Binnen dit minimale (2,5 PJ) en maximale (6 PJ) scenario voor de benodigde warmtevraag wordt daarnaast gewerkt met twee scenario's rond de onzekerheid van het beschikbaar komen van MT/HT warmtebronnen geothermie, restwarmte en in beperkte mate zonthermie. Deze bronnen hebben relatief lage kosten en een lage elektriciteitsvraag en leveren (deels) al op het juiste temperatuurniveau, maar de onzekerheid rondom de toepassing is vrij groot. Dit resulteert dit in vier scenario's:

1. Minimale uitbreiding van het stadswarmtenet, minimale beschikbaarheid van MT/HT bronnen
2. Minimale uitbreiding van het stadswarmtenet, maximale beschikbaarheid van MT/HT bronnen
3. Maximale uitbreiding van het stadswarmtenet, minimale beschikbaarheid van MT/HT bronnen
4. Maximale uitbreiding van het stadswarmtenet, maximale beschikbaarheid van MT/HT bronnen

Op basis van de beschikbare potentie van bronnen (Tabel **1**) en de geschiktheid van bronnen voor toepassing in het stadsbrede warmtenet (Tabel **3**) zijn bronnen gekozen voor de verschillende scenario's. Omdat het huidige stadswarmtenet ook Nieuwegein voedt, is dat apart beschreven in Tabel **4**. In alle scenario's wordt TEA al meegenomen als duurzame bron omdat deze bron al gerealiseerd is. Bij een hoge beschikbaarheid van MT/HT bronnen, hebben MT restwarmte en geothermie de voorkeur, omdat deze al een temperatuurniveau hebben dat direct bruikbaar is in gebouwen, relatief lage kosten en lage elektriciteitsvraag hebben. Dit sluit ook aan bij de energievisie vanuit de Provincie Utrecht (Provincie Utrecht, 2024). Ook een beperkte hoeveelheid zonthermie wordt in deze scenario's ingezet vanwege de relatief lage kosten en elektriciteitsvraag. Daarna volgen de bronnen met lagere temperatuur en hoge elektriciteitsvraag; thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), warmte uit lucht (TEL) en elektroboilers. De biomassacentrale is een al bestaande duurzame bron die op MT/HT temperatuur kan leveren, maar de inzet van deze bron wordt zoveel mogelijk beperkt omdat het uitgangspunt is dat dit een transitiebrandstof is (zie bij biomassa in Tabel 3, Raadsbrief Visie biomassa, 2020 & Motie 300). Biomassa wordt daarom uitgefaseerd in de scenario's richting 2050, al leidt dit wel tot hogere kosten omdat

bronnen die hiervoor in de plaats komen over het algemeen hogere kosten hebben. Uiteindelijk resulteert dit in de inzet van bronnen zoals gepresenteerd in Tabel **4** en Figuur **6** voor de basislastbronnen.

Bij de lage beschikbaarheid van MT/HT bronnen is geothermie uitgesloten en heeft restwarmte een beperkt potentieel. Daarna volgt een de directe warmteproductie uit oppervlaktewater (TEO), en tenslotte thermische energie uit lucht (TEL) en elektroboilers omdat deze met redelijke zekerheid gerealiseerd kunnen worden. Bij een hoge warmtevraag is biomassa nodig om tot een volledige invulling van de warmtevraag te komen.

Er zijn ook kosten toegevoegd aan de grafiek, dit is de kostprijs van een GJ warmte voor de hele bronnenmix (basislastbronnen, piekvoorzieningen en opslag) bij een bepaald scenario. De kosten voor aanleg en onderhoud van een warmtenet zitten hier niet bij. De kostprijs is bepaald door te werken met de kostenkentallen voor investeringen (in €/kW), operationele kosten en brandstofkosten (€/kW & €/GJ) op basis het eindadvies voor de SDE++ 2024 (PBL, 2024), aangevuld met andere bronnen. In Bijlage 1 wordt de financiële analyse verder toegelicht. Vervolgens zijn de kosten per GJ warmte berekend met de LCOE (levelized cost of energy) methode, gebruikmakend van de berekende vermogens en geleverde PJ aan warmte uit de scenario analyse. Voor geothermie is daarbij een levensduur van 30 jaar verondersteld, voor alle overige technologieën 15 jaar. Verder is een maatschappelijke discontovoet van 2,5% verondersteld (CPB, 2020).

Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de investeringskosten, operationele kosten en levensduur. Uit deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat een variatie in de brandstofkosten (€/GJ) de grootste invloed heeft op de uiteindelijke €/GJ prijs. De uitersten van deze range zijn daarom getoond in de grafiek. Bijlage 1 bevat meer informatie over de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses.

Tabel 4 Beschrijving bronnenmix per scenario voor uitbreiding van het stadsbrede warmtenet

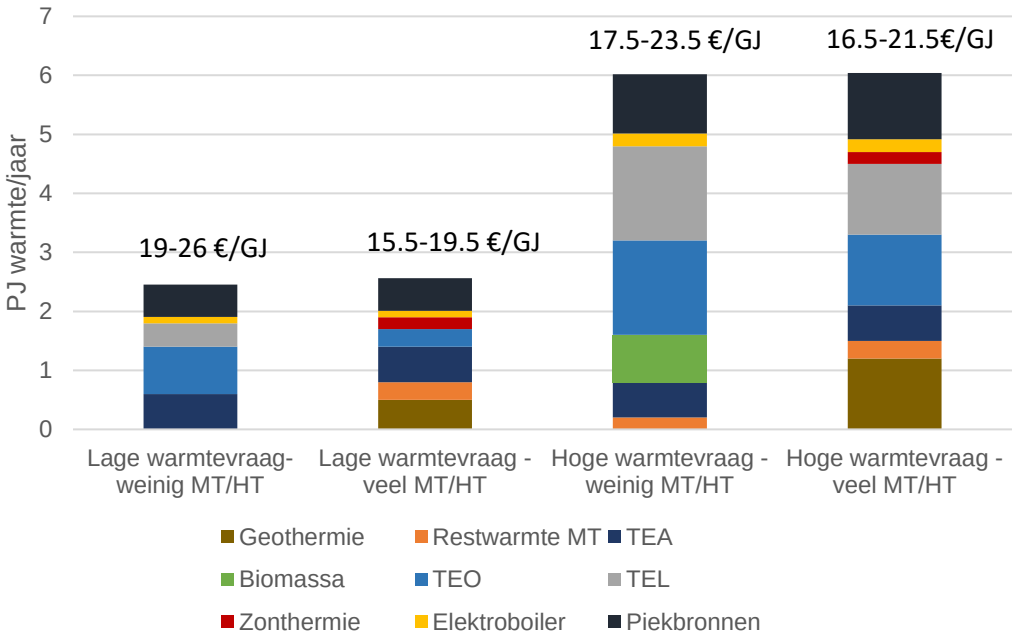
Minimale uitbreiding stadsbreed warmtenet, lage beschikbaarheid MT/HT bronnen 2050 - 2,5 PJ warmtevraag - Bronnenmix: TEA (0,6 PJ), TEO (0,8 PJ), lucht (0,4 PJ), elektroboilers (0,1 PJ), piek/hulpketels (0,6 PJ)	Maximale uitbreiding stadsbreed warmtenet, lage beschikbaarheid MT/HT bronnen 2050 - 6,0 PJ warmtevraag - Bronnenmix: Biomassa (0,8 PJ), TEA (0,6TJ), restwarmte (0,2 PJ), TEO (1,6 PJ), lucht (1,6 PJ), elektroboilers (0,2 PJ), piek/hulpketels (1,0 PJ)
Minimale uitbreiding stadsbreed warmtenet, hoge beschikbaarheid MT/HT bronnen 2050 - 2,5 PJ warmtevraag - Bronnenmix: Geothermie (0,5 PJ), restwarmte (0,3 PJ), TEA (0,6 PJ), TEO (0,3 PJ), zonthermie (0,2 PJ), elektroboilers (0,1 PJ), piek/hulpketels (0,6 PJ)	Maximale uitbreiding stadsbreed warmtenet, hoge beschikbaarheid MT/HT bronnen 2050 - 6,0 PJ warmtevraag - Bronnenmix: TEA (0,6 PJ), geothermie (1,2 PJ), restwarmte (0,3 PJ), zonthermie (0,2 PJ), TEO (1,2 PJ), lucht (1,2PJ), elektroboilers (0,2 PJ), piek/hulpketels (1,1 PJ)
Warmtenet deel Nieuwegein Voor het deel van het warmtenet wat in Nieuwegein ligt zijn 500 extra aansluitingen ten opzichte van nu meegenomen, Er is een totale hoeveelheid warmte van 0,5 PJ aangehouden, opgewekt met	

TEL (0,4 PJ/ca 10 MWth), een buffer (20MWth) en een piekketel (0,1 PJ/60 MWth), Dit is in ieder scenario gelijk.

6.1 Resultaten basislastbronnen

Op basis van de scenario's kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In alle scenario's wordt naast TEA ook in meer of mindere mate TEO als bron ingezet. Deze bron zal dus in ieder ontwikkelscenario belangrijk zijn.
- Geothermie is in twee van de vier scenario's een bron met een significante omvang. Het blijft dus relevant om deze bron te ontwikkelen als dit mogelijk is. Omdat er binnen de gemeentegrenzen geen potentie lijkt, is het daarmee nog belangrijker om geothermie als bovengemeentelijke warmtebron te zien, die ook gedeeld kan worden met andere gemeenten. Samenwerking met omliggende gemeenten voor de ontwikkeling van geothermiebronnen is daarom belangrijk.
- Thermische energie uit lucht (TEL) is voornamelijk nodig als er geen MT/HT bronnen zoals geothermie of restwarmte beschikbaar komen. In dit geval zal de elektriciteitsvraag voor de warmtevoorziening sterker toenemen en nemen de (nationale) kosten toe. Het lijkt daarom verstandig om de resultaten van de proefboring voor geothermie af te wachten alvorens sterk op TEL in te zetten. Tot 2030 zal het vanwege netcongestie sowieso lastig zijn om grootschalig TEL te ontwikkelen.
- Bij een beperkte uitbreiding van het aantal aansluitingen in het warmtenet is de inzet van MT/HT bronnen (restwarmte, geothermie en biomassa) niet noodzakelijk om de warmtevraag in de vullen, in dit geval is het ook voldoende om in te zetten op aquathermie (TEA & TEO) en lucht (TEL). Dit leidt wel tot hogere kosten voor warmte. De verwachte algemene zin geldt dat de kosten voor warmte lager zijn bij een hogere inzet MT/HT bronnen (restwarmte, geothermie of biomassa). Restwarmte, zonthermie en/of geothermie vervangen door TEL en TEO maakt warmte duurder. Geothermie en biomassa zijn qua kosten redelijk vergelijkbaar
- De inzet van biomassa kan volledig worden afgebouwd bij een beperkte toename van het aantal warmtenetaansluitingen en het beschikbaar komen van geothermie. Bij een hoog aantal aansluitingen op het warmtenet en beperkte beschikbaarheid van geothermie of restwarmte blijft de inzet van biomassa nodig als onderdeel van de totale bronnenmix. Bij een beperkt aantal aansluitingen op het warmtenet leidt het niet inzetten van geothermie of biomassa tot hogere kosten per GJ. Om de huidige biomassacentrale in 2050 nog te laten draaien zal de installatie deels vervangen moeten worden. Er kan dan ook worden overwogen om afvang en opslag van CO_2 toe te passen om negatieve emissies te bewerkstelligen, dit zal de kosten voor biomassa echter sterk verhogen (PBL schat in ca 220 euro/ton CO_2).



Figuur 6 Opbouw van de bronnenmix onder de verschillende scenario's in 2050. De kosten zijn gegeven als range, gebaseerd op een gevoeligheidsanalyse (Bijlage 1).

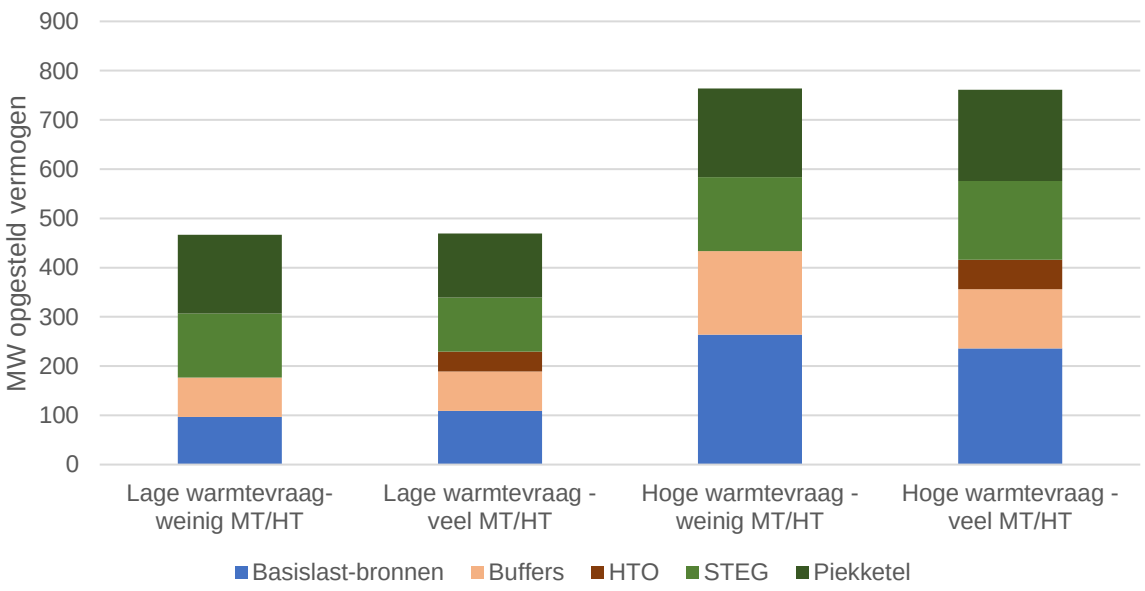
6.2 Resultaten piek en buffers

Naast de basislastbronnen zijn er ook piekvoorzieningen nodig om tijdens momenten van hoge warmtevraag genoeg warmte te kunnen leveren. Er is gerekend met een gemiddelde warmtepiekvraag per WEQ van 3,5 kWth gebaseerd op Vesta MAIS en een warmteverlies tijdens de piek van 8% (Roosjen et al, 2021, p.51). Opnieuw is gekeken naar de geschiktheid van bepaalde bronnen voor pieklast in het warmtenet op basis van Tabel **1** en Tabel **3**, de resultaten zijn gepresenteerd in Figuur **7**. Momenteel is er ca 570 MWth aan piekcapaciteit beschikbaar in het huidige warmtenet om de maximale piek op te vangen. Dit komt het meest overeen met het lage scenario. In het hoge scenario is de piek ca 760 MWth.

Conclusies op basis van de scenario analyses:

- Warmtebuffers zijn belangrijk omdat hiermee dagelijkse pieken in warmtevraag kunnen worden afgevlakt en daardoor minder piekvoorzieningen nodig zijn. De huidige buffers die gerealiseerd worden kunnen ca 20% van de warmtepiekvraag invullen. Een hoog warmtenetscenario vergt een verdrievoudiging van de warmtebuffercapaciteit.
- Naast buffers kunnen ook andere vormen van warmteopslag helpen, bijvoorbeeld seizoensopslag. De mate waarin HTO in de scenario's is opgenomen is gerelateerd aan de hoeveelheid geothermie en zonthermie die wordt ingezet, omdat bij deze bronnen een grotere inzetbaarheid kan worden gerealiseerd in combinatie met warmteopslag op hogere temperatuur. Dit sluit ook aan op het ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen (KGG, 2024). In beide gevallen kan op deze manier productie in de zomer worden verplaatst naar de winter. Omdat de verwachte inzet van geothermie en zonthermie beperkt is, is ook de inzet van HTO beperkt (ca 40-60 MWth). HTO is een nog vrij nieuwe techniek, en mocht deze niet kunnen worden toegepast, dan zullen meer kortdurende warmtebuffers en piekketels nodig zijn.

- De huidige piekketels en de STEG gebruiken aardgas. Het aantal draaiuren van deze installaties is 300-800 uur per jaar en alleen in de winter. De duurzame (basislast)bronnen hebben te hoge investeringskosten om rendabel te kunnen draaien voor zo weinig draaiuren. Daarbij zal de elektriciteit die nodig is op deze piekmomenten in de warmtevraag waarschijnlijk ook duur zijn. Duurzaam gas lijkt daarom ook in de toekomst noodzakelijk voor de piekvoorziening van een betaalbare, betrouwbare en duurzame warmtevoorziening. Dit wordt ook benoemd in het ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen (KGG, 2024). Omdat het potentieel aan biogas beperkt is en de lokale potentie de vraag overstijgt (RHDHV, 2020) moet ook waterstof als mogelijke optie worden onderzocht, waarbij aftakking van de waterstofbackbone naar Lage Weide een voor de hand liggende optie lijkt.
- In de kostenanalyses zijn ook de kosten voor piekvoorzieningen meegenomen (Figuur **6**). Daarnaast zijn nog twee scenario's doorgerekend specifiek voor de piekvoorzieningen;
    - 1) een nieuwe STEG op waterstof neerzetten in plaats van de huidige installatie ombouwen. In dit scenario nemen de kosten voor warmte met ca 35% toe in het lage warmtevraag scenario, en met ca 20% in het hoge warmtevraag scenario.
    - 2) Het elektrificeren van de piekvraag door meer elektroboilers, luchtwarmtepompen en buffers te gebruiken. Dan stijgen de kosten in de lage warmtevraag scenario's met 60%, en in de hoge warmtevraag scenario's met 20-30%.
- Beide opties hebben dus een grote invloed op de kosten (en betaalbaarheid) van warmte. Daarbij moet worden opgemerkt dat hier vooral voor de herkenbaarheid de STEG genoemd is, dit kan ook een ander soort installatie worden, bijvoorbeeld een WKK op groen gas of waterstof, of een brandstofcel, of een piekketel op duurzaam gas.

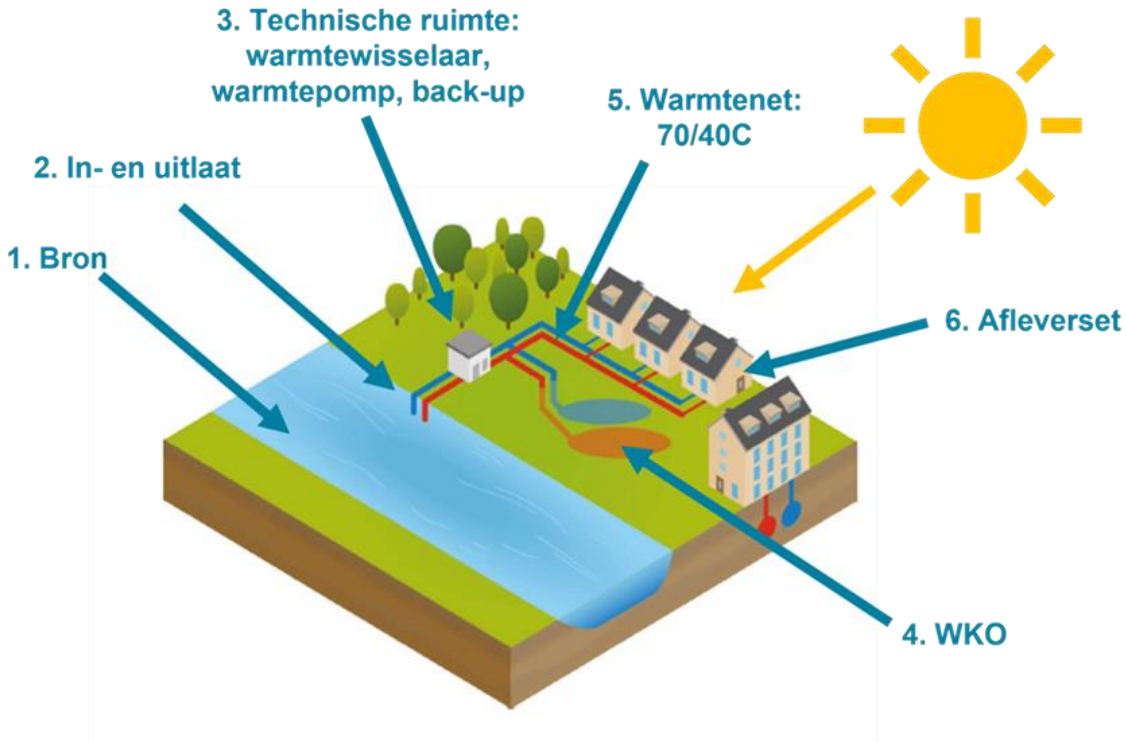


Figuur 7 Opbouw van de bronnenmix tijdens de piekwarmtevraag in 2050 met piek/hulpketels onder verschillende scenario's. De kosten voor de piekketels zijn al meegenomen in de totale kosten per GJ uit de vorige figuur. De

STEG en de piekketel draaien in dit geval op groen gas of waterstof, en kunnen ook een andere vorm aannemen (bijvoorbeeld een brandstofcel/WKK op waterstof of alleen nog piekketels/gasketels op duurzaam gas).

7 Bronnen voor buurtwarmtenetten

Een buurtwarmtenet is een lokaal warmtenet dat gevoed wordt met lokale bronnen. Een voorbeeld is een buurtwarmtenet gebaseerd op aquathermie met een leveringstemperatuur van 70ºC. Aquathermie is meestal alleen beschikbaar in de zomer, als het water warm genoeg is om warmte uit te onttrekken. Deze warmte wordt dan opgeslagen in een WKO, en in de winter verder opgewaardeerd naar 70ºC met een collectieve warmtepomp en geleverd via een warmtenet aan woningen (Figuur 8).



Figuur 8 Voorbeeld van een buurtwarmtenet, met aquathermie als bron, opslag in een WKO, verhoging van de temperatuur met een collectieve warmtepomp en levering op 70ºC. Bron: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Momenteel zijn nog geen buurtwarmtenetten in Utrecht gerealiseerd. In het minimale scenario komen buurtwarmtenetten helemaal niet tot stand (0 PJ) en is er alleen sprake van uitbreiding van het stadsbrede warmtenet. In het maximale scenario wordt de volledige resterende warmtevraag van 5,5 PJ - 2 PJ (minimaal stadsbrede warmtenet)- 0,7 PJ (bestaande bedrijventerreinen) = 2,8 PJ door buurtwarmtenetten ingevuld. Afhankelijk van het temperatuurniveau van deze netten is het verlies minimaal (bij een bronnet of ZLT net) of is het verlies vergelijkbaar met het stadsbrede warmtenet bij levering op MT niveau (ca 20%). Voor het maximale scenario gaan we nu uit van levering op MT niveau en maximaal 3,5 PJ aan bronnen voor buurtwarmtenetten. In deze bronnenstrategie kijken we naar de algemene beschikbaarheid en niet naar de specifieke invulling op buurtniveau.

Opnieuw is onderscheid gemaakt tussen basislastbronnen en piekvoorzieningen/buffers. De veronderstelling is dat 20% van de vraag door piekvoorzieningen wordt ingevuld (ca 0,7 PJ), en de rest (2,8 PJ) door basislastbronnen. In Tabel **5** zijn een aantal scenario's geschetst, gebaseerd op twee mogelijke

ontwikkelrichtingen van buurtwarmtenetten, eigenschappen van de verschillende warmtebronnen (Tabel **1**) en de geschiktheid van bronnen voor toepassing in buurtwarmtenetten (Tabel **3**).

Buurtwarmtenetten komen in beginsel kleinschalig tot ontwikkeling, met <1.500 aansluitingen per systeem. De warmtevraag is dan onvoldoende voor de ontwikkeling van grootschalige bronnen en daarom ligt de nadruk op lokaal aanwezige bronnen zoals de wateren in de stad en lokale restwarmtebronnen, aangevuld met grootschalige luchtwarmtepompen. In het eerste scenario is ruimte voor de ontwikkeling van lokale restwarmtebronnen (datacenters, supermarkten, sportvelden etc) en lokale zonthermie of PVT. In het tweede scenario worden alleen redelijk zekere bronnen ingezet voor buurtwarmtenetten, dus TEA, TEO en TEL.

Tabel 5 Scenario's met bronnen voor buurtwarmtenetten, uitgaande van levering op MT niveau

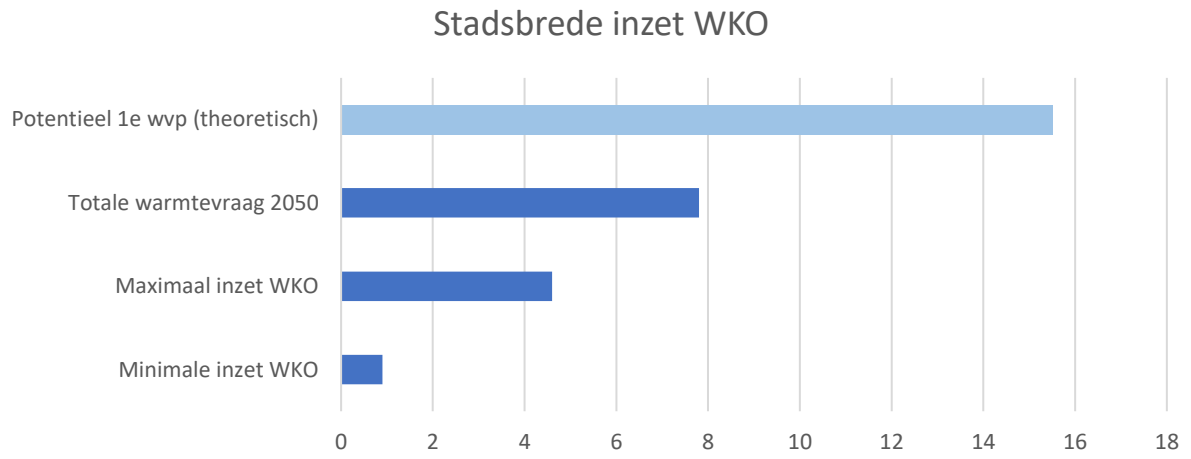
Bron	Scenario kleinschalige buurtwarmtenetten	Scenario met alleen (redelijk) zekere bronnen
Geothermie	-	-
TEA	-	0,2
TEO	1	1,2
TEL/grootschalige luchtwarmtepompen	0,7	1,4
LT restwarmte	0,8	-
Zonthermie/PVT	0,3	-

Deze scenario's geven de volgende inzichten:

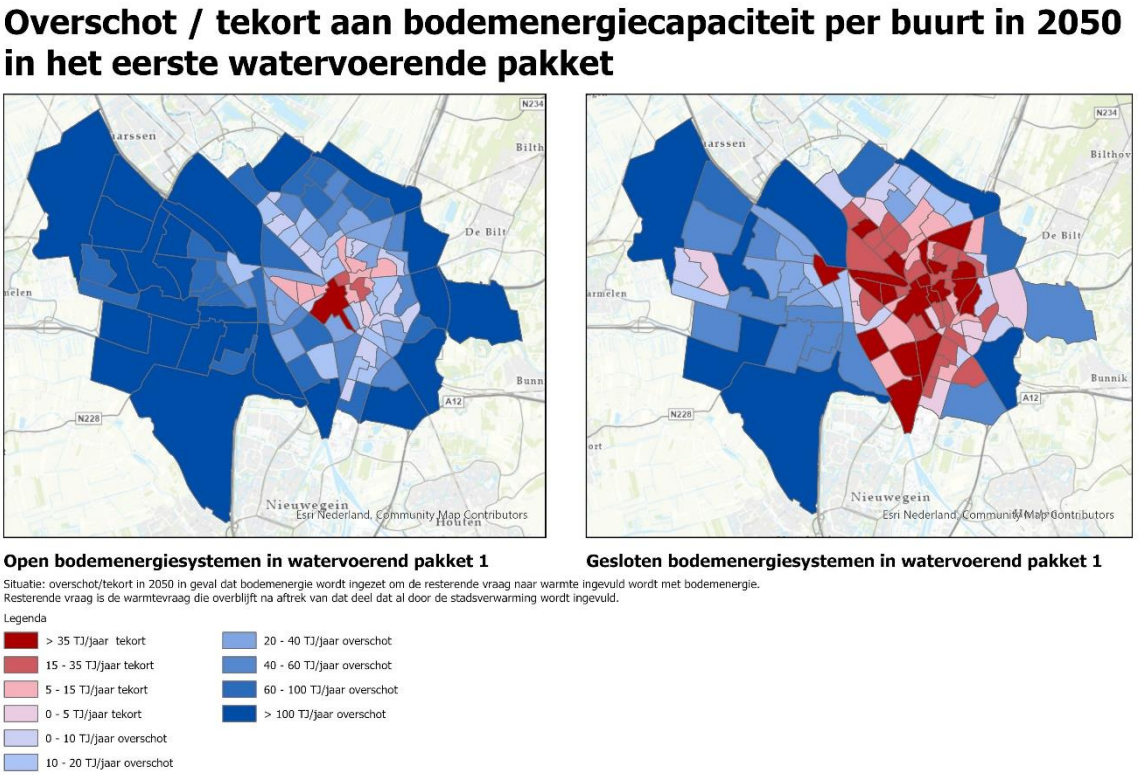
- De inzet van grootschalige luchtwarmtepompen (TEL) zal, hoewel qua elektriciteitsgebruik en (waarschijnlijk) kosten minder wenselijk, in meer of mindere mate nodig zijn bij de ontwikkeling van buurtwarmtenetten op MT niveau. Dit kan zowel in combinatie met WKO waarbij TEL wordt ingezet als regeneratiebron, of voor directe warmteproductie. De mate waarin TEL nodig is zal vooral afhangen van de manier waarop buurtwarmtenetten worden ontwikkeld (groot of kleinschalig, MT of ZLT), en van het beschikbaar komen van minder zekere bronnen (met name restwarmte, geothermie en zonthermie). Er is een grote kans dat er ruimte gereserveerd moet gaan worden voor TEL systemen in de openbare ruimte.
- Oppervlaktewater (TEO) is een geschikte bron voor buurtwarmtenetten, maar de potentie van deze bron is zowel energetisch als ecologisch beperkt en kan niet de (maximale) warmtevraag van buurtwarmtenetten invullen. Het gebruik van deze bron vraagt om goede afspraken met andere gemeenten die ook van deze wateren (bijv. het Amsterdam-Rijnkanaal of de Kromme Rijn) gebruik willen maken. Dit vraagt om een nadere analyse in welke buurten of op welke plekken het precies kan gaan wringen, en sturen op een eerlijke verdeling van deze bron.
- Lage temperatuur (LT) restwarmte is een potentieel geschikte bron voor buurtwarmtenetten. In de huidige analyse is alleen naar datacenters en grotere locaties voor koelwarmte gekeken. Ook kleinere bronnen zoals supermarkten kunnen geschikt zijn, of warmtewisselaars onder wegen of sportvelden. Deze bron vraagt om weinig ruimtebeslag, maar voor de bronhouder kan het lastig zijn langjarige zekerheid te bieden over de levering van warmte. Verder ontbreekt het vaak aan

kennis bij bronhouders en kosten kunnen een thema zijn. Het voorstel voor een ophaalrecht voor restwarmte (in de Wcw) ondersteunt de inzet van (LT) restwarmte. Daarnaast kan de gemeente een rol spelen in het faciliteren van gesprekken tussen warmtebron-houder en afnemer.

- Zonthermie of PVT heeft een hoog ruimtegebruik, maar zou bij toepassing op daken van woningen, bedrijven of maatschappelijk vastgoed (sporthal, school, etc) geschikt kunnen zijn in buurtwarmtenetten. Een voorbeeld is het zonnewarmte concept in Haarlem.
- Belang bodemenergie; hoewel niet als bron genoemd, is bodemenergie als opslagmedium essentieel als onderdeel van een buurtwarmtesysteem. Een deel van de bronnen voor buurtwarmtesystemen kunnen niet constant warmte leveren (TEO, LT restwarmte, zonthermie), wat seizoensopslag noodzakelijk maakt (in de vorm van WKO). Ook maakt WKO de uitwisseling van warmte en koude mogelijk bij toepassing van een ZLT net waarbij warmte op brontemperatuur (15-20˚C) wordt geleverd en in de woning wordt opgewaardeerd. In Figuur 9 is de mogelijke inzet van WKO (in een minimaal en maximaal scenario) te zien ten opzichte van de totale warmtevraag in 2050, evenals de totale theoretische potentie in het eerste watervoerende pakket (wvp). De potentie in de ondergrond voor toepassing van bodemenergie wisselt sterk per buurt, zoals te zien is in Figuur 10. Vooral in dichtbebouwde gebieden is de potentie beperkt in verhouding tot de warmtevraag. Regie op het gebruik van de ondergrond voor opslag van energie zal dus nodig zijn.



Figuur 9 Minimale inzet van WKO (alleen bij nieuwbouw/utiliteit, uitgelegd op koudevraag) en maximale inzet van WKO (in buurtwarmtenetten en bij nieuwbouw & utiliteit, uitgelegd op warmtevraag) uitgezet tegen de totale warmtevraag en potentieel van het 1e watervoerend pakket.



Figuur 10: Capaciteit OBES (A) en GBES (B) in relatie tot de warmtevraag per buurt. Bron: KWR (2024)/Eigen analyse.

Naast de basislastbronnen is ook voor buurtwarmtenetten een back-up/piekvoorziening nodig. Van de geanalyseerde piekbronnen in deze bronnenstrategie zijn alleen warmtebuffers echt geschikt om toe te passen in buurtwarmtenetten. Echter, deze warmtebuffers kunnen geen langdurige hoge warmtevraag opvangen en ook niet als enige back-up fungeren. De inzet van aardgas voor de invulling van piek- en back-up capaciteit in buurtwarmtenetten zal tot 2050 waarschijnlijk noodzakelijk zijn. Als groen gas en/of waterstof beschikbaar komen, zullen zij hoogstwaarschijnlijk niet tot in de haarvaten van het gasnetwerk komen, maar alleen op strategische plekken die belangrijk zijn voor de regionale/nationale energievoorziening.

Om buurtwarmtenetten uiteindelijk volledig te kunnen verduurzamen zijn er momenteel drie opties die naast gasketels kunnen worden toegepast (praktijkcases TEO in buurtwarmtetten (STOWA, 2020), warmtebedrijf Oost-Wageningen):

- Een overcapaciteit aan bronnen realiseren, bijvoorbeeld in de vorm van een extra luchtwarmtepomp.
- Een koppeling met een warmtenet
- Geen backup; dit kan alleen bij een ZLT variant waarbij gebruikers in hun woning de warmte opwaarderen, en is daar ook gebruikelijk.

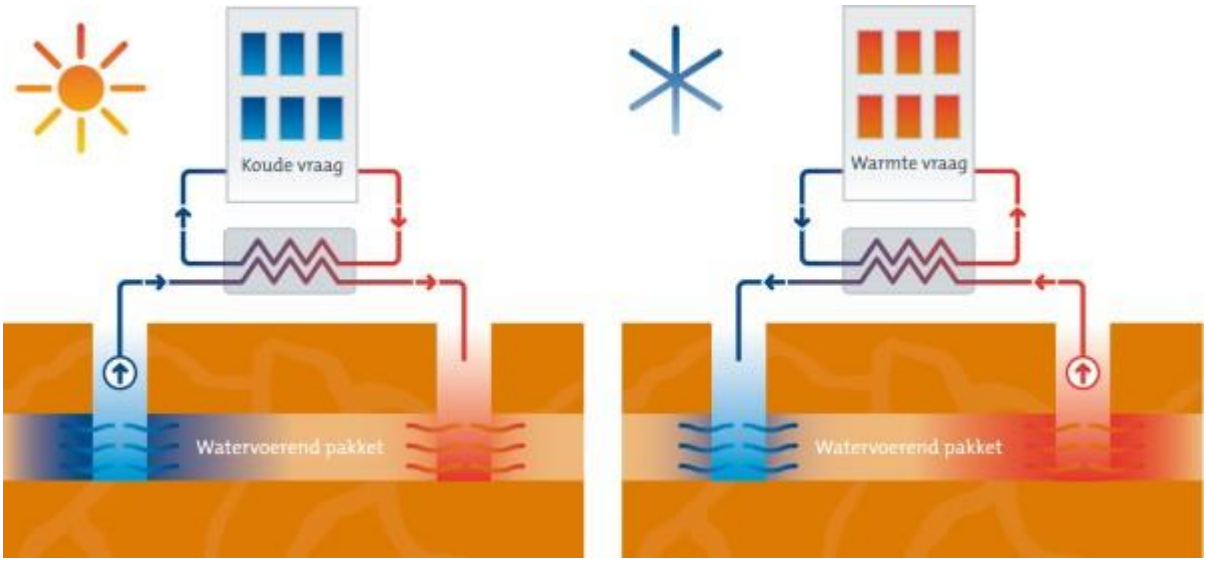
Bij een ZLT buurtnet is het creëren van back-up niet noodzakelijk. Wel is verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur dan nodig omdat er dan meer elektriciteitsvraag is in de winter. In feite wordt hier het elektriciteitsnet ingezet als back-up. Bij een MT-variant van een buurtwarmtenet werkt een overcapaciteit aan bronnen kostenverhogend vanwege het lage aantal draaiuren en het samenvallen van

piekwarmtevraag met hoge elektriciteitsprijzen. De andere mogelijkheid is het koppelen van verschillende buurtwarmtenetten en uiteindelijk koppeling met het stadsbrede warmtenet als piek/back-up voorziening. Door deze piek/back-up centraal te regelen kunnen de kosten voor deze voorziening worden gedeeld, de druk op het elektriciteitsnet worden beperkt en leveringszekerheid worden vergroot. De buurtnetten functioneren dan voor het grootste deel op eigen lokale bronnen, en zijn maar voor een beperkt deel afhankelijk van de grootschalige infrastructuur. Strategisch gezien is dit een logische optie, die over enkele jaren, als meer zicht is op de ontwikkeling van deze netten, verder kan worden uitgewerkt.

8 Bronnen voor nieuwbouw & bedrijventerreinen

Nieuwbouw wordt al standaard zonder aardgasaansluiting opgeleverd en heeft een zeer hoge isolatiegraad. Ook is de koudevraag in nieuwbouwwoningen een belangrijk aspect. De verwachte warmtevraag van nieuwbouw in 2050 is 1,3 PJ. Voor bedrijventerreinen wordt, net als voor nieuwbouw, gestuurd op lage temperatuuroplossingen, individueel of collectief, dit gaat om ca 0,7 PJ aan warmtevraag voor de huidige bedrijventerreinen plus 1 PJ aan warmtevraag voor nog te ontwikkelen bedrijventerreinen. In de uitgangspunten is benoemd dat voor nieuwbouw en bedrijventerreinen de voorkeur uitgaat naar collectieve verwarming met als basis bodemenergie. Individuele bodemenergiesystemen en luchtwarmtepompen zijn andere mogelijke technieken, en worden hier ook omschreven.

Open bodemenergiesystemen oftewel OBES zijn bij uitstek geschikt voor het leveren van zowel warmte als koude aan gebouwen, vaak worden deze systemen WKO (warmte koude opslag) genoemd. In de zomer kan worden gekoeld met een heel laag energieverbruik, waarbij tegelijk warmte wordt opslagen voor de winter (Figuur 11). Dit heet passieve koeling omdat alleen pompenergie nodig is. Voor bedrijven/utiliteiten geldt ook dat zij vaak zowel verwarming als koeling nodig hebben, en soms zelfs meer koude dan warmte. Zowel voor nieuwbouw als voor bedrijventerreinen zijn OBES/WKO systemen dus geschikt. WKO systemen zijn netbewuster dan individuele luchtwarmtepompen, omdat door de constante leveringstemperatuur (meestal ca 12-16ºC) uit het WKO systeem minder grote pieken op het elektriciteitsnet ontstaan dan bij een lucht-waterwarmtepomp.



Figuur 11 Schematische weergave van de werking van een WKO systeem. Links de zomersituatie, waarbij koude wordt geleverd en warmte wordt opgeslagen. Rechts de wintersituatie, waarbij warmte wordt geleverd en koude wordt opgeslagen.

Bij woningen is de warmtevraag vrijwel altijd groter dan de koudevraag, waardoor er aan de ondergrond meer warmte dan koude wordt onttrokken en het WKO systeem uit balans raakt. Bij een WKO systeem kan de balans worden hersteld door extra bronnen aan het systeem toe te voegen die de warme bron

voeden (regeneratie). Ook kan ervoor worden gekozen om het systeem te ontwerpen op de koudevraag en niet te regeneren. De WKO is dan kleiner en kan niet de hele winter warmte leveren, daarom is voor de invulling van de resterende warmtevraag extra directe warmteproductie bijvoorbeeld door de inzet van luchtwarmtepompen. Bij bedrijventerreinen is afhankelijk van het type bedrijf of kantoor vaak meer balans tussen de warmte en koudevraag, of is de koudevraag soms zelfs hoger dan de warmtevraag. Ook hier is het belangrijk dat er uiteindelijk balans is in het WKO systeem.

Een andere vorm van bodemenergie zijn gesloten bodemenergiesystemen (GBES) oftewel bodemwarmtepompen. Dit zijn individuele systemen met buizen in de ondergrond waardoor water (vaak gemengd met een antivries middel) stroomt. Bodemwarmtepompen zijn ook een mogelijkheid met een beperkte piekvraag voor elektriciteit, maar vragen per systeem relatief veel ruimte in de ondergrond in de vorm van plastic buizen. Ook is het lastig om de warmte en koudevraag goed in balans te houden waardoor de bodem langzaam afkoelt als de warmtevraag groter is dan de koudevraag.

Ten slotte is het mogelijk om de warmte en koudevraag in te vullen met luchtwarmtepompen. In dat geval heeft ieder gebouw of bedrijf een eigen warmtepompsysteem waarbij warmte uit de lucht wordt gehaald en opgewaardeerd met elektriciteit. Dit systeem is het minst netbewust omdat er juist op koude dagen (met over het algemeen weinig duurzame elektriciteitsproductie) veel elektriciteit wordt gevraagd. Met dit systeem kan ook gekoeld worden, maar dit is wel actieve koeling, die elektriciteit vraagt en waarbij de omgeving wordt opgewarmd.

Samengevat zijn mogelijke scenario's voor de invulling van de warmtevraag voor nieuwbouw en bedrijventerreinen:

- Collectieve WKO voor één gebouw met meerdere woningen of meerdere gebouwen (vanaf ca 150 aansluitingen). Er zijn dan twee varianten:
    - WKO met regeneratie. Geschikte bronnen hiervoor zijn lokale restwarmte, TEO, PVT of lucht.
    - WKO op de koudevraag, zonder regeneratie. De meest geschikte bronnen voor het leveren van de overige warmtevraag (voornamelijk in de winter) zijn in dit geval: lucht, of eventueel een aansluiting op een warmtenet. De andere bronnen hebben een aanbodpatroon wat niet aansluit op levering in de winter.
- Individuele bodemwarmtepomp bij grondgebonden woningen/panden
- Individuele luchtwarmtepomp per pand/woning.

Om te kunnen bepalen wat dit betekent voor de inzet van bepaalde bronnen is de netto warmtevraag berekend (

Tabel 6) voor deze scenario's, de warmtevraag is dus verrekend met de koudevraag als bodemenergie wordt toegepast. Voor een geheel individueel scenario is een combinatie van 60% luchtwarmtepompen en 40% bodemwarmtepompen verondersteld, omdat er meer hoogbouw dan laagbouw is in Utrecht (CBS, 2024) waar geen bodemwarmtepomp geplaatst kan worden. De aanname is dat koelvraag gelijk is aan 30% van de warmtevraag, dit kan toenemen in de toekomst maar voor het bepalen van de warmtebronnen is een conservatieve aanname gedaan. De benoemde bronnen staan verder beschreven in Tabel 3 Tabel **3**.

De verschillende scenario's laten zien dat collectieve oplossingen door het uitwisselingsprincipe tussen warmte en koude minder warmtevraag met externe bronnen hoeven in te vullen dan bij individuele oplossingen, en voor de koudevraag hoeven geen aparte installaties zoals airco's meer te worden

aangeschaft. Verder hebben collectieve WKO systemen met regeneratie (dus uitgelegd op de warmtevraag) meer mogelijke variatie in bronnen met een lagere elektriciteitsvraag dan lucht-gebaseerde systemen. Wel gebruiken deze systemen meer bodemcapaciteit, en die kan beperkend zijn als er wordt ontwikkeld met een grote woningdichtheid (in Utrecht vaak het geval) of in de binnenstad. Er is een nadere analyse nodig naar de locaties waar de bodemcapaciteit niet toereikend is om vast te stellen of hier mogelijk het tweede watervoerend pakket kan worden gebruikt.

De kenmerken van de bronnen zoals in Tabel **1** gaan voornamelijk over de toepassing op grote schaal voor collectieve warmte, en zijn dus maar gedeeltelijk toepasbaar voor bronnen voor nieuwbouw van bijvoorbeeld enkele woningen. Daarbij is ieder nieuwbouwproject of bedrijventerrein anders en kan de inzet van bronnen verschillen (regeneratie versus basislast bijv), en daarom is het niet mogelijk harde cijfers te geven voor de elektriciteitsvraag, het ruimtebeslag en de kosten van verschillende bronnen.

Tabel 6 Warmtevraag bij nieuwbouw/bedrijventerreinen met verschillende koudevraag en bijbehorende warmtebronnen

	Scenario Collectief – WKO uitgelegd op warmtevraag	Scenario: Collectief – WKO uitgelegd op koudevraag	Individueel 60% lucht/ 40% bodem
Totale warmtevraag nieuwbouw + bedrijventerreinen (PJ)	3	3	3
Koudevraag (PJ)	0,9	0,9	0,4 (alleen voor bodem)
Verdeling warmtevraag			
Uit de bodem (winter) door koeling (in zomer)	0,9	0,9	0,4
Uit de bodem (winter) door regeneratiebronnen (zomer)	1,35	0	0
Direct uit bronnen (winter)	0	1,35	1,85
Elektrisch opwaarderen (COP = 4)	0,75	0,75	0,75
Verdeling koudevraag			
Uit de bodem	0,9	0,9	0,4
Uit de lucht bij actieve koeling (airco bijv)			0,3
Elektriciteit (COP = 3)			0,2
Geschikte bronnen			
Lage temperatuur restwarmte	x		
Zonthermie/PVT	x		
Aquathermie (TEO/TEA)	x		
Lucht (dry coolers of luchtwarmtepompen)	x	x	x
Warmtenet		x	

[a] 1,7 PJ van deze warmtevraag moet wel eerst in de zomer met behulp van de regeneratiebronnen in de bodem worden opgeslagen.

Wat betreft inzet van regeneratiebronnen blijft wel gelden dat lage temperatuur restwarmte en zonthermie/PVT de laagste impact op de elektriciteitsvraag hebben, gevolgd door TEO en tenslotte lucht. De beschikbaarheid van restwarmte, TEO en TEA zijn echter zeer locatieafhankelijk. Ook lage temperatuur restwarmte is lokaal en daarbij vaak kleinschalig. Het kan dan gaan om datacenters, supermarkten, andere utiliteit met een grote koelvraag (koel- of vrieshuis, ijsbaan, ziekenhuis, laboratorium, etc.), sportvelden of wegen die worden vernieuwd waar warmtewisselaars onder geplaatst kunnen worden. PVT is een interessante optie, maar heeft relatief hoge kosten (CE Delft, 2022) en de gebouweigenaar heeft om aan de BENG eisen te voldoen vooral PV nodig, dus er is geen stimulans om het dakoppervlak te gebruiken voor de productie van warmte. Voor TEO is er mogelijk concurrentie met de andere toepassingen (stadswarmtenet of buurtwarmtenetten).

In het algemeen kan ruimtegebruik (zowel boven als ondergronds) een obstakel zijn bij het realiseren van bronnen voor nieuwbouw. Uiteindelijk moet per locatie een afweging worden gemaakt wat op die plek de meest geschikte bronnen zijn. Voor bedrijventerreinen is het ruimtegebruik minder een obstakel, omdat de vraag naar ruimteverwarming relatief laag is in verhouding gebouw/perceeloppervlak waardoor er voldoende ruimte is voor het realiseren van bronnen. Echter, juist voor bedrijven geldt dat hun energiebehoeften complexer en gevarieerder zijn en deze meer in samenhang moet worden bekeken zowel binnen een bedrijf maar juist ook tussen bedrijven, zoals wordt gedaan binnen Energy Hubs. Deze energy hubs zijn nu nog veelal gefocust op elektriciteitsvraag, maar hieraan kunnen ook warmte, mobiliteit en procesgas worden toegevoegd. Dit valt echter buiten de scope van deze (warmte)bronnenstrategie.

9 Te ondernemen acties

Uit bovenstaande scenario's blijkt dat er een groot verschil is in welke bronnen kunnen worden ingezet afhankelijk van de ontwikkeling van lokale of centrale warmtenetten en of bepaalde bronnen beschikbaar komen. Er is nu nog niet te zeggen welke scenario het meest realistisch is, maar uit de analyse blijkt wel dat een aantal bronnen noodzakelijk zijn voor de verduurzaming van het stadsbrede warmtenet, of belangrijk zijn bij de ontwikkeling van buurtwarmtenetten, nieuwbouw en bedrijventerreinen. Niet in alle gevallen kan de gemeente hier direct op sturen. Maar als gemeente zijn er wel een aantal acties te nemen om (de onzekerheden rond) de inzet van bronnen verder te verkleinen, te stimuleren of juist af te remmen en om te sturen op een ruimtereservering voor bepaalde bronnen in zowel de onder- als bovengrond. De belangrijkste acties zijn samengevat in Tabel 7, waarbij de symbolen verwijzen naar het type toepassing (uitbreiding stadsbreed warmtenet, buurtwarmtenetten of nieuwbouw/bedrijventerreinen), zoals in eerdere tabellen ook is gebruikt. De benoemde beleidskaders en acties worden uitgewerkt in de beleidsnota warmte en het warmteprogramma.



Rond 2030 is een belangrijk moment om te evalueren welke ontwikkelingen er zijn in de uitbreiding van het stadsbrede warmtenet en welke (met name MT/HT) bronnen tot ontwikkeling komen. Op basis daarvan kan worden bijgestuurd in de richting van de inzet van meer of juist minder LT-bronnen voor het stadsbrede warmtenet en een besluit worden genomen over de noodzakelijkheid van de inzet van biomassa in de toekomst.



Onderzoek de mogelijkheid voor het koppelen van verschillende buurtwarmtenetten en/of koppeling met het bestaande stadsbrede warmtenet voor de invulling van piek/backup capaciteit. Dit biedt de mogelijkheid deze netten sneller volledig te verduurzamen, de kosten voor de piek/backup voorziening te delen, de druk op het elektriciteitsnet te beperken en leveringszekerheid op de lange termijn te waarborgen.



Voor nieuwbouw is de inzet op collectieve WKO van belang, omdat hierdoor minder warmte uit externe bronnen nodig is omdat koude en warmte kunnen worden uitgewisseld. Als de WKO op de warmtevraag wordt ontworpen, zijn er meer mogelijke bronnen voor regeneratie in de zomer dan bij een WKO die ontworpen is op de koudevraag, maar is ook meer ruimte in de bodem nodig. Voor bedrijventerreinen ligt in deze bronnenstrategie de nadruk op de warmtevraag, maar kunnen energiebehoeften (verwarming, mobiliteit, processen/procesgas) ook in meer samenhang worden bekeken zoals wordt gedaan in een Energy Hub.

Tabel 7 Te ondernemen acties volgend uit de bronnenstrategie, gepresenteerd per type bron en voor welke toepassing (door middel van symbolen). De benoemde beleidskaders en acties naar worden uitgewerkt in de beleidsnota warmte en het warmteprogramma.

Bron	Actie (voor toepassing in grootschalige MT warmtenetten voor bestaande bouw)
Geothermie 	- We ondersteunen en helpen actief met zoeken naar locaties voor proefboringen als nodig. We werken samen met naburige gemeenten aan de ontwikkeling van geothermie in de provincie Utrecht, en zetten waar gewenst onze kennis en ervaring in. - De ontwikkelingen rond ondiepe geothermie op andere plekken in de regio of elders in Nederland worden gevolgd. Als gemeente zetten we nu niet actief in op de ontwikkeling van deze bron, vanwege de beperkte potentie van ondiepe geothermie, relatief hoge kosten, groot ruimtebeslag en benodigde elektriciteit voor verdere opwaardering.
Biomassa 	- De inzet van biomassa wordt blijvend gemonitord, en we blijven in gesprek met Eneco over verdere afbouw als mogelijk. - Rond 2030 wordt onderzocht of op basis van de verwachte stijging in de warmtevraag van het collectieve net op dat moment en de beschikbaarheid van geothermie, de centrale moet blijven, en vernieuwd moet worden en of het toevoegen van een CO_2 afvang installatie daarbij een mogelijkheid is.
TEA 	- We faciliteren de mogelijkheid om kleinere RWZI's (Leidsche Rijn en De Meern) te benutten voor buurtwarmtenetten, door deze bron waar beschikbaar actief te benoemen bij ontwikkelaars van buurtwarmtenetten/projectontwikkelaars en andere stakeholders. Bemiddel als nodig ook tussen waterbeheerder en afnemer.
TEO 	- De inzet van TEO wordt actief gestimuleerd, zodat deze bron als serieuze optie wordt meegewogen in de bronkeuze. - De inzet van TEO wordt bovengemeentelijk afgestemd zodat warmte uit water eerlijk wordt verdeeld, en we maken waar nodig waterenergie plannen samen met waterbeheerders om dit te waarborgen. - Op basis van de nieuwe WAT-kaart wordt een meer specifieke analyse gedaan van de mogelijke vraag naar TEO per buurt zodat als nodig een verdelingsstrategie kan worden opgesteld.
TED 	- We volgen het lopende onderzoek naar het mogelijk verhogen van de potentie van TED. Hieruit kunnen nog andere conclusies komen die leiden tot het verhogen van de potentie van TED.
TEL/Collectieve lucht-warmtepomp	- Vanwege netcongestie en de mindere wenselijkheid van deze bron (kosten, geluid, ruimte, netbewustheid) ondersteunen we tot

	2030 de ontwikkeling van maximaal één grootschalige TEL locatie voor uitbreiding van het stadsbrede warmtenet, op een locatie waar TEO geen optie is. - Na 2030 evalueren we of het plaatsen van meer TEL installaties nodig is of dat er andere MT bronnen beschikbaar zijn. Bij voldoende beschikbaarheid van MT bronnen ondersteunen wij geen verdere uitbreiding van TEL voor inzet in het collectieve warmtenet. - We stimuleren ontwikkelaars en andere stakeholders om bij buurtwarmtenetten, nieuwbouw en bedrijventerreinen naast TEL ook andere bronnen (LT restwarmte en TEO) in overweging te nemen.
Restwarmte MT 	- We blijven in overleg met de eigenaren van de asfaltcentrale, Nedal en BASF voor toepassing van restwarmte voor toepassing in het stadsbrede warmtenet. Gezien de locaties van MT-restwarmte is de toepassing in lokale buurtnetten waarschijnlijk niet mogelijk.
Restwarmte LT 	- Buurtinitiatieven worden actief gewezen op het gebruik van lokale restwarmte, als gemeente helpen we waar mogelijk om contacten tot stand te brengen.
Zonthermie/PVT 	- De ontwikkelingen rond zonthermie toepassing in grotere warmtenetten worden gevolgd. Als de kosten (ook voor warmteopslag) afnemen en netcongestie ook na 2030 aanhoudt kijken we opnieuw of we kunnen inzetten op zonthermie. - De optie van PVT op daken in combinatie met warmteopslag in buurtwarmtenetten of bij nieuwbouw/bedrijventerreinen wordt actief aangedragen als techniek in gesprek met stakeholders.
Electroboilers 	- We volgen de inzet van electroboilers om te toetsen of deze het (lokale) elektriciteitsnet niet te veel belasten.
Duurzaam gas/ Waterstof 	- Samen met de Provincie oefenen we invloed uit op het Rijk voor een aftakking van de waterstofbackbone richting Utrecht Lage Weide.
Bodemenergie 	- We monitoren de resultaten van onderzoek naar WKO in het tweede watervoerend pakket. - Er wordt beleid ontwikkeld over de voorwaarden voor inzet van het tweede watervoerend pakket voor bodemenergie, door het vinden van een goede balans tussen beschermen en benutten van de ondergrond. Hiervoor moet eerst een nauwkeurigere analyse worden gedaan in welke buurten er een ruimtebeperking optreedt bij gebruik van het 1e watervoerend pakket en vanuit

	energetisch perspectief benutting van 2e watervoerend pakket nodig is om de warmte (en koude) vraag in te kunnen vullen.
Warmteopslag op hogere temperatuur/seizoensbuffers 	- De landelijke ontwikkelingen rond de toepassing MTO en HTO worden gevolgd. - We ondersteunen waar mogelijk de ontwikkeling MTO en/of HTO in Utrecht om kennis en ervaring op te doen, zodat de techniek kan worden gecombineerd met bijv. geothermie als dat tot ontwikkeling komt of een interessante optie is voor seizoensopslag in andere systemen waarmee minder ruimte in de ondergrond nodig is en elektriciteitsgebruik in de winter wordt beperkt.
Warmtebuffers 	- We denken mee over de plaatsing en eventueel waar nodig (openbare) ruimte reserveren voor de inpassing van warmtebuffers.

BIJLAGE 1: Financiële analyse

Rekenmethode & kosten kentallen

Om de kosten in euro/GJ te kunnen bepalen per type warmtebron en voor de totale bronnenmix is de levelized cost of energy (LCOE) oftewel de geannualiseerde kostenmethode gebruikt om de kosten voor één gigajoule warmte te berekenen (zie de uitkomsten in Tabel **8**).

Deze methode werkt als volgt:

$$LCOE_{warmte} = \frac{\sum \frac{I_t + OM_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Waarbij $LCOE_{warmte}$ de kosten van een GJ warmte in euro zijn, I_t de investeringen in een bepaalde bron over de tijd, OM_t de kosten voor operatie en onderhoud (operation & maintenance) over de tijd en F_t de kosten voor brandstof of elektriciteit (fuel) over de tijd. De tijd t is de economische levensduur of afschrijftermijn van deze warmtebron. E_t is de geleverde energie uit deze warmtebron over de tijd en *r* is de rentevoet ofwel de weighted average costs of capital (WACC).

Per type warmtebron zijn de benodigde investeringen bepaald op basis van geleverd maximaal vermogen (kW_{th}) en daarbij behorende kosten voor operatie en onderhoud en brandstof. Voor het bepalen van de brandstofkosten is de geleverde energie per jaar door deze bron in GJ gebruikt, die volgt uit de verschillende bronnenmixen per scenario (zie hoofdstuk 6). Alle gebruikte kostenkentallen zijn te vinden in Tabel **9**. De afschrijftermijn is voor alle bronnen op 15 jaar gezet en voor geothermie op 30 jaar, in navolging van PBL in de berekeningen van de basisbedragen voor de SDE ++ (PBL, 2024). De standaard gehanteerde rentevoet is 5%, deze ligt tussen de maatschappelijke rentevoet van 2,5% (CPB, 2020) en de WACC die PBL hanteert van 6,5-7,5% (PBL, 2024) in (zie ook de volgende paragraaf – gevoeligheidsanalyse). Hiermee is voor alle bronnen de noemer van de formule bepaald, in Meuro per jaar. Deze kosten zijn vervolgens gedeeld door de geleverde hoeveelheid warmte per scenario gedurende 15 (of 30) jaar, ook verdisconteerd (de teller in de formule). Op deze manier is per scenario een prijs voor een GJ warmte bepaald. Dit is de prijs waarvoor de warmte (inclusief verlies) geproduceerd wordt (zie Tabel **8**), maar omvat niet de kosten voor de infrastructuur. Omdat de analyse gebaseerd is op kentallen, en er onzekerheden zijn in bijvoorbeeld de precieze investerings- en brandstofkosten, is op basis van deze uitkomsten een gevoeligheidsanalyse gedaan.

Tabel 8 Uitkomst financiële analyse per scenario voor het stadsbrede warmtenet.

	Lage warmte-vraag- weinig MT/HT	Lage warmte-vraag veel MT/HT	Hoge warmtevraag weinig MT/HT	Hoge warmtevraag veel MT/HT
$LCOE_{warmte}$ (€/GJ)	22,3	17,5	20,6	19,1

Tabel 9 Financiële parameters warmtebronnen en warmteopslag voor financiële analyse

Bron/opslag	Investering (I) in €/kW$_{th}$	OM in €/kW$_{th}$/jaar	F (brandstof-kosten) in €/GJ	Economische levensduur (t)	Bronnen	Opmerking
Diepe Geothermie (1500-5000m)	2634	110	2,6	30	PBL, 2024 p.92	Middenlast, invoeden op 70-75ºC, geen warmtepomp
Biomassa	718	32	6,0	15	PBL, 2023, p.126	Biomassaketel voor stadsverwarming, 15 MW (geen subsidie in 2024 dus voor de kentallen de SDE 2023 genomen)
Thermische energie uit afvalwater (TEA)	1318	32	10,1	15	Warming UP (2022), PBL, 2024, p.57	Gemiddelde 5MW variant 4 uit WarmingUP rapport en 1MW installatie PBL, inclusief 700m leiding naar warmteoverdrachtsstation
Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)	1438	58	17,2	15	Warming UP (2022), PBL, 2024, p.51-56	Gemiddelde grote installatie (10 & 20 MW) en kleine installatie met WKO (1 & 5 MW)
Thermische Energie uit Lucht (TEL)	1317	109	17,2	15	PBL, 2024 p.46, Danish Energy Agency (2024), Popovski et al. (2019)	Gemiddelde kleine installatie (0,5 MW bij PBL) en internationale kentallen voor grote installatie (3 & 10 MW)
Restwarmte middentemperatuur	747	23	0	15	PBL, 2024, p.189	Gemiddelde van afstand-vermogen verhouding 0,1-0,2 en 0,2-0,3, 8 MWth, levering 80ºC.
Restwarmte lage temperatuur	1044	112	7,7	15	PBL, 2024, p.189	Gemiddelde van afstand-vermogen verhouding 0,1-0,2 en 0,2-0,3, 8 MWth, levering 30ºC.
Zonthermie	435	4	0,1	15	PBL, 2024, p.70	5MWth instalaltie
Electro boilers (Power to heat)	257	195	9,1	15	PBL, 2024, p.158	20MWe installatie, hoge netwerkkosten aangenomen

Bron/opslag	Investering (I) in €/kW_{th}	OM in €/kW_{th}/jaar	F (brandstof-kosten) in €/GJ	Economische levensduur (t)	Bronnen	Opmerking
Buffers	286	1.3	0.0 (nihil)	15	DEA energy storage (2024), Kalavasta (2024)	Gemiddelde Deense kentallen (Eur2015 omgerekend naar Eur2024) voor 3000m^3 buffer en rapport Kalavasta 3000 & 5000m^3 buffer.
HTO	1032	31	7,2	15	WarmingUP Thermogis (2023), WarmingUP – HTO & geothermie (2023) p.48	Ca 5MWth installatie afgeleid uit de getallen. (Thermogis rapport) HTO & geothermie rapport p.48, fixed OPEX aangepast naar keuro ipv euro (lijkt een typfout te zijn).
Piekketel op duurzaam gas	135	4	35	15	CE Delft (2023), p.77 & kentallen DWTM	Investering en OM uit CE Delft rapport, brandstofkosten gebaseerd op aangeleverde kosten voor groen gas of waterstof door DWTM
STEG op duurzaam gas	59 (ombouw) – 1106 (nieuw)	10	16,3	15	CE Delft (2021), p.17-18	Kosten zijn voor 2030, kosten voor ombouw zijn 19x lager dan voor neerzetten nieuwe installatie. In Utrecht is een betaande installatie aanwezig.

Gevoeligheidsanalyses

Op de financiële analyse van kosten voor warmte zijn een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, op advies van en in overleg met De Warmtetransitiemakers zijn de ranges voor deze analyses bepaald. Voor de rentevoet is de nominale WACC gebruikt zoals PBL deze ook meeneemt in de SDE++ (PBL, 2024) als meer private rentevoet. Daartegenover staat de maatschappelijke rentevoet van 2,5% van het CPB (CPB, 2020). Omdat PBL in het eindadvies voor de basisbedragen zeer hoge netwerkkosten voor elektriciteit heeft meegenomen, is ervoor gekozen in de gevoeligheidsanalyse deze OM kosten te halveren in het minimale scenario.

Ook is nog specifiek gekeken naar een andere invulling van de piekvraag. Hiervoor zijn de investeringen in de STEG niet gebaseerd op ombouw van de huidige installatie, maar de bouw van een nieuwe installatie op basis van een rapport van CE Delft (2021). Ook is een scenario gemaakt waarin de piek van het warmtenet geheel geëlektrificeerd wordt. In deze analyse wordt de buffercapaciteit ruim verdubbeld, de elektroboiler inzet verdrievoudigd en de inzet van grootschalige luchtwarmtepompen (TEL) verdrie- of vervijfvoudigd afhankelijk van het scenario voor de bronnenmix.

Tabel 10 Overzicht parameters en ranges gevoeligheidsanalyses

Parameter	Basis	Minimaal	Maximaal
Rentevoet (r)	5%	2,5% (-50%)	7% (+50%)
Investeringen (I) ofwel CAPEX	Zie Tabel 8	-50%	+50%
F ofwel brandstofkosten	Zie Tabel 8	-25%	+25%
OM ofwel operatie en onderhoud	Zie Tabel 8	-50%	+25%
Levensduur	15 jaar	10 jaar (-33%)	25 jaar (+67%)
Andere piek-scenario's			
Nieuwe STEG ipv ombouw	59 euro/kW	-	1106 euro/kW
Piek elektrificeren	STEG & piekketels	-	Buffers, TEL en e-boiler

De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses zijn samengevat in onderstaande tabellen (Tabel 11-Tabel 15). In Figuur 12 zijn voor één scenario (lage warmtevraag, weinig MT/HT bronnen) de verschillende gevoeligheidsanalyses samengevat. Uit deze gevoeligheidsanalyses blijkt dat de kosten voor warmte het meest gevoelig is voor variatie in de brandstofkosten en redelijk gevoelig voor variatie in de levensduur. De rentevoet is de minst gevoelige parameter, daarna volgen de OM en de investeringen.

Deze analyse is uitgevoerd voor alle losse parameters, maar in werkelijkheid zitten er onzekerheden in meerdere parameters en zullen deze tegelijkertijd wijzigen. Bij het tonen van de resultaten is ervoor gekozen de minimale en maximale uitkomsten uit deze gevoeligheidsanalyse te laten zien. Dat zijn in dit geval de minimale en maximale kosten die horen bij de parameter brandstofkosten, dikgedrukt in Tabel 14. In het hoofdrapport zijn deze afgerond op de dichtstbijzijnde hele of halve waarde (dus 19,6 wordt 19,5).

Tabel 11 Resultaten gevoeligheidsanalyse voor stadsbrede warmtenet scenario's voor de rentevoet (r)

r/Rentevoet	Lage warmtevraag- weinig MT/HT	Lage warmtevraag - veel MT/HT	Hoge warmtevraag - weinig MT/HT	Hoge warmtevraag - veel MT/HT
-50%	22,2	18,0	20,5	19,8
0%	22,3	17,5	20,6	19,1
50%	22,5	17,3	20,7	18,7

Tabel 12 Resultaten gevoeligheidsanalyse voor stadsbrede warmtenet scenario's voor de Investeringen (I)

I/Investeringen	Lage warmtevraag- weinig MT/HT	Lage warmtevraag - veel MT/HT	Hoge warmtevraag - weinig MT/HT	Hoge warmtevraag - veel MT/HT
-25%	21,2	16,1	19,5	18,0
0%	22,3	17,5	20,6	19,1
25%	23,5	18,9	21,7	20,3

Tabel 13 Resultaten gevoeligheidsanalyse voor stadsbrede warmtenet scenario's voor de operatie en onderhouds-kosten (OM)

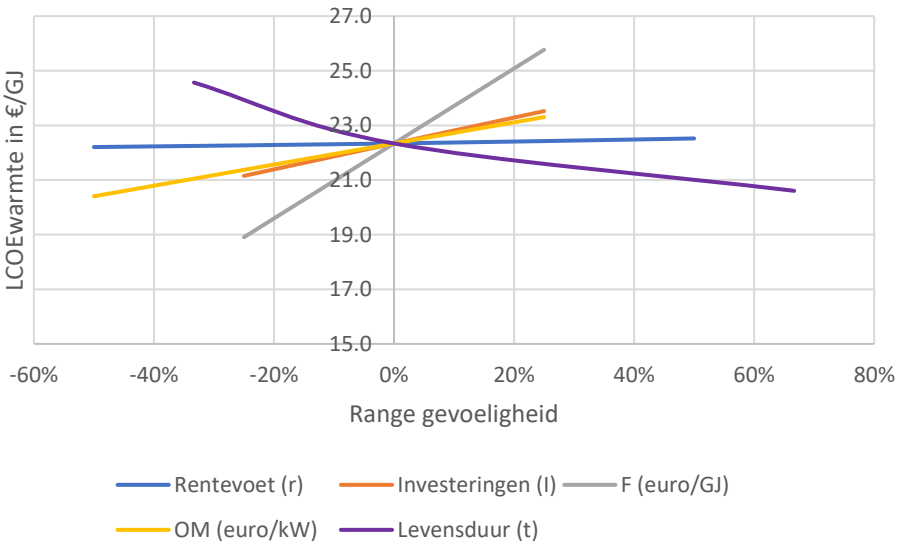
OM / operatie en onderhouds-kosten	Lage warmtevraag- weinig MT/HT	Lage warmtevraag - veel MT/HT	Hoge warmtevraag - weinig MT/HT	Hoge warmtevraag - veel MT/HT
-50%	20,4	15,7	18,6	17,0
0%	22,3	17,5	20,6	19,1
25%	23,3	18,5	21,6	20,2

Tabel 14 Resultaten gevoeligheidsanalyse voor stadsbrede warmtenet scenario's voor de Brandstofkosten (F)

F/brandstofkosten	Lage warmtevraag- weinig MT/HT	Lage warmtevraag - veel MT/HT	Hoge warmtevraag - weinig MT/HT	Hoge warmtevraag - veel MT/HT
-25%	**18,9**	**15,5**	**17,5**	**16,6**
0%	22,3	17,5	20,6	19,1
25%	**25,8**	**19,6**	**23,7**	**21,7**

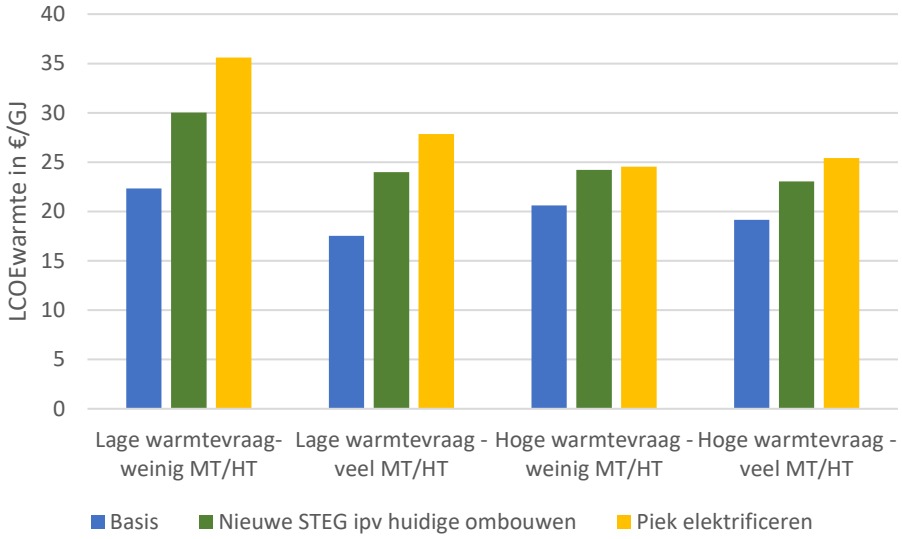
Tabel 15 Resultaten gevoeligheidsanalyse voor stadsbrede warmtenet scenario's voor de economische levensduur (t)

t / Economische levensduur	Lage warmtevraag- weinig MT/HT	Lage warmtevraag - veel MT/HT	Hoge warmtevraag - weinig MT/HT	Hoge warmtevraag - veel MT/HT
-33%	24,6	20,2	22,7	21,4
0%	22,3	17,5	20,6	19,1
67%	20,6	15,6	19,0	17,5



Figuur 12 Voorbeeld van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor het Lage warmtevraag – weinig MT/HT bronnen scenario. Voor de andere scenario's is het beeld redelijk vergelijkbaar.

De analyse voor het elektrificieren van de piekvraag leidt tot hogere kosten voor warmte, waarin een duidelijke andere trend is bij de lage warmtevraag scenario's versus de hogere warmtevraag scenario's (zie Figuur 13). Een nieuwe STEG op waterstof neerzetten in plaats van de huidige installatie ombouwen zorgt voor ca 35% hogere kosten voor warmte in het lage warmtevraag scenario, en ca 20% hogere kosten in het hoge warmtevraag scenario. Het elektrificeren van de piekvraag door meer elektroboilers, luchtwarmtepompen en buffers te gebruiken leidt tot 60% kostenstijging in de lage warmtevraag scenario's, en in de hoge warmtevraag scenario's met 20-30%. Beide opties hebben dus een grote invloed op de kosten (en betaalbaarheid) van warmte.



Figuur 13 Gevoeligheidsanalyse alternatieve invulling warmtepiekvraag.