RAPPORT

Warmterotonde Apeldoorn

Haalbaarheidsstudie

Klant: Gemeente Apeldoorn

Referentie: BJ5275-RP-0001
Status: Definitief/01
Datum: 6 augustus 2024

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Industry & Buildings

Telefoon: +31 88 348 20 00
Fax: +31 33 463 36 52
Email: info@rhdhv.com
Website: royalhaskoningdhv.com

Titel document:	Warmterotonde Apeldoorn
Sub titel:	Haalbaarheidsstudie
Referentie:	BJ5275-RP-0001
Uw kenmerk	
Status:	Definitief/01
Datum:	6 augustus 2024
Projectnaam:	Haalbaarheidsstudie Warmterotonde
Projectnummer:	BJ5275
Auteur(s):	Kees Everse

Opgesteld door:	Klaas Bootsma en Anish Bosch
Gecontroleerd door:	Edward Pfeiffer
Datum:	6 augustus 2024
Goedgekeurd door:	Kees Everse
Datum:	6 augustus 2024

Classificatie

Beperkt verspreid

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Management samenvatting

De haalbaarheidsstudie naar de mogelijkheden van de warmterotonde voor de duurzame warmtevoorziening van de stad Apeldoorn is samengevat aan de hand van de vragen die leven rond dit idee[1]. Met de warmtetransitie in Kerschoten wordt een eerste stap gezet om de rioolwaterzuivering (RWZI) als warmtebron te benutten voor de stad. Kan de warmterotonde de vervolgstap zijn?

De haalbaarheid van de warmterotonde voor de stad Apeldoorn samengevat in tienbevindingen:

1. Het is technisch en ruimtelijk mogelijk om met behulp van een warmterotonde een groot deel van de stad Apeldoorn van duurzame warmte te voorzien, de RWZI is daarbij de belangrijkste bron;
2. De warmterotonde levert warmte op een temperatuur van 65°C aan de voordeur, zo kan het merendeel van de bestaande bouw zonder ingrijpende aanpassingen overstappen op duurzame warmte;
3. De warmterotonde kan desgewenst ook warmte leveren op lagere temperatuur en gebruikt worden voor het regenereren van WKO-systemen die bodemwarmte gebruiken;
4. De warmterotonde laat zich over een periode van 20 tot 25 jaar gefaseerd ontwikkelen, steeds wordt een nieuw warmtecluster aangesloten en de warmterotonde verder uitgerold;
5. De warmterotonde kan voorzien in 47.880 aansluitingen, waarvan 90% woningen, en de levering van 1.760 TJ warmte per jaar. Zo wordt ongeveer tweederde van de warmtevraag in de stad gedekt;
6. De warmterotonde ontziet het elektriciteitsnet, niet omdat veel minder elektriciteit nodig is maar omdat het verbruik op momenten plaatsvindt dat het kan. Dit door de inzet van warmteopslag;
7. Verdere verbetering van het idee is mogelijk door grootschalige seizoensopslag van warmte (HTO) en effluent buffering. De RWZI wordt zo beter benut en het elektriciteitsnet minder zwaar belast;
8. De warmterotonde vraagt om ongeveer 7 wijkwarmtestations die aanvullend warmte produceren en zorgen voor de distributie van de warmte tot aan de voordeur;
9. Financieel en milieutechnisch presteert de warmterotonde vergelijkbaar tot beter dan de individuele lucht water warmtepomp per aansluiting. De verschillen vallen binnen de onzekerheidsmarge;
10. De warmterotonde wordt betaalbaar wanneer het (voorgenomen) financiële instrumentarium ook daadwerkelijk beschikbaar is en bijpassende wetgeving (WCW en WGIW) is ingevoerd.

Kerschoten, de springplank voor de warmterotonde

In Kerschoten wordt een warmtenet ontwikkeld waarvoor het ontwerp op dit moment gemaakt wordt. Kerschoten is te zien als de voorloper van de warmterotonde. De restwarmte van de RWZI is de enige warmtebron voor Kerschoten. Bij de ontwikkeling van deze warmtebron bleek dat er zoveel potentie was dat het idee ontstond voor een grootschalig warmtenet in Apeldoorn, de warmterotonde. Voor de benodigde ruimte bij de RWZI wordt daarom al rekening gehouden met opschaling van de warmtebron. Kerschoten is daarmee de springplank naar de warmtevoorziening van een groot deel van de stad met de RWZI als belangrijke duurzame warmtebron.

Waarom een warmterotonde overwegen in de stad Apeldoorn?

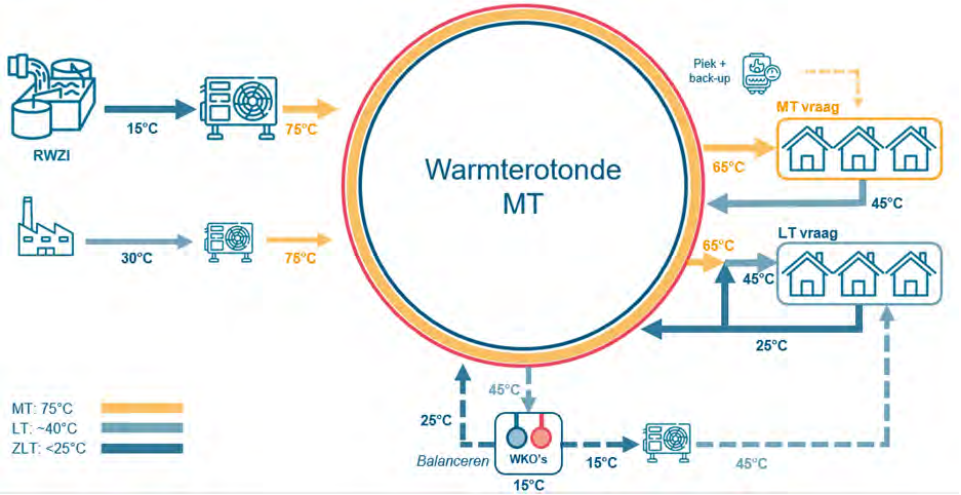
De warmterotonde is een systeem dat een groot deel van de stad Apeldoorn dekt gericht op het leveren van duurzame warmte aan de gebouwde omgeving op midden temperatuur. De warmterotonde maakt het mogelijk om de beschikbare grootschalige bronnen in de stad Apeldoorn optimaal te benutten. De warmterotonde zal vooral de bestaande bouw van warmte voorzien. Het gaat daarbij om relatief oude woningen en gebouwen (vóór 1990) die nu aardgas als warmtebron gebruiken. De warmterotonde

[1] *De vragen laten zich herleiden tot de vragen die in de offerte uitvraag van de haalbaarheidsstudie zijn gesteld en vragen die aan de orde kwamen in de begeleidingscommissie.*

levert warmte aan die delen van de stad waar geen lokale kleinschalige bronnen beschikbaar zijn of waar het op grote schaal inzetten van individuele lucht/water warmtepompen als moeilijk haalbaar wordt gezien. Om een betaalbare duurzame warmtevoorziening mogelijk te maken richt de warmtelevering zich op die gebieden in de stad waar de warmtevraagdichtheid hoog is. Zo kan met weinig infrastructuur relatief veel warmte geleverd worden. Daarbij is het streven dat 90% van de woningen en gebouwen in deze gebieden aangesloten wordt op de warmterotonde, wat uitdagend is voor de bestaande bouw.

Hoe werkt de warmterotonde?

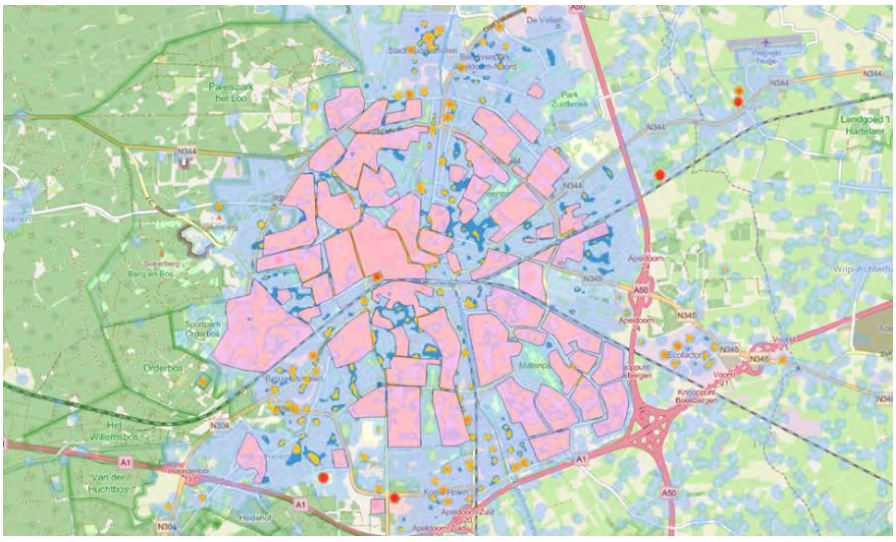
De warmterotonde brengt het aanbod van en de vraag naar warmte bij elkaar. De warmte wordt op 75°C aan de warmterotonde geleverd. Als de bron een lagere temperatuur heeft dan wordt een warmtepomp ingezet om de gewenste temperatuur te bereiken. Bij het transport treedt warmteverlies op, daardoor daalt de temperatuur en bereikt met 65°C of meer de afnemer. Na gebruik van de warmte gaat het water afgekoeld retour en start de cyclus opnieuw.



De warmterotonde draait op midden temperatuur (MT) warmte en levert warmte aan de bestaande bouw met vraag naar warmte op midden en lage (LT) temperatuur. Ook kan de warmte gebruikt worden om WKO's nabij de warmterotonde te regenereren in de zomer.

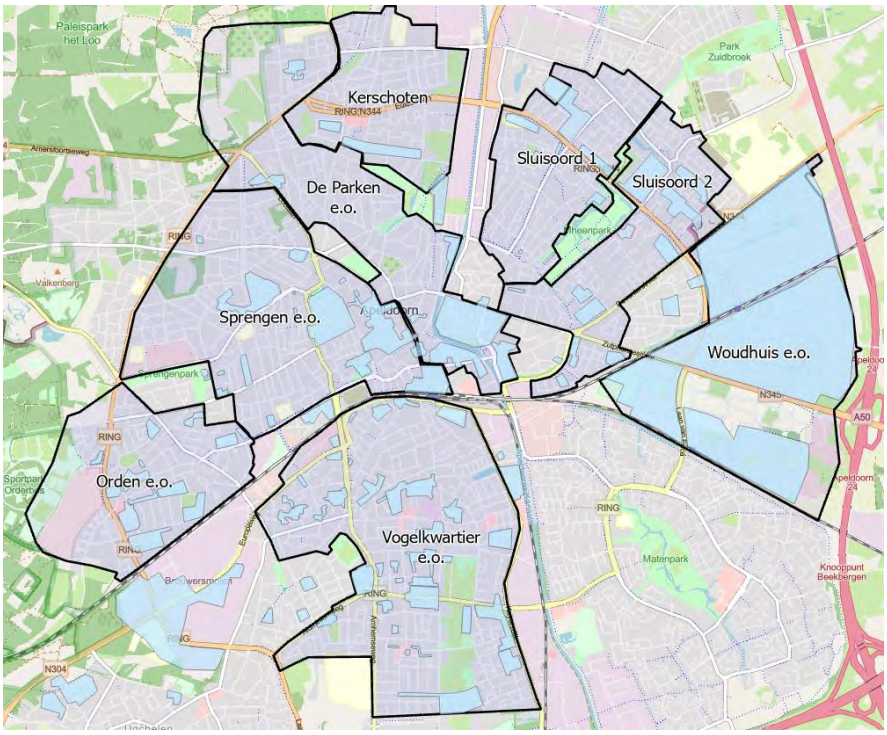
Welk deel van de stad heeft een warmtevraag die aansluit bij de warmterotonde?

Een analyse van de warmtevraag is uitgevoerd met 2023 als referentiejaar. Daarbij is rekening gehouden met het isoleren van woningen en gebouwen naar energielabel C en klimaatverandering die beschouwd over de periode tot 2050 de warmtevraag met 10% doet dalen.



De roze gebieden hebben een hoge warmtevraagdichtheid, groter dat 1,5 TJ per ha, en kwalificeren zich voor de warmterotonde. Het gaat om 52.000 aansluitingen met een warmtevraag van 2.100 TJ/jaar.

Rekening houdend met de warmtetransitie zoals die zich op dit moment aftekent in Apeldoorn stad is bepaald welke gebieden onderdeel kunnen uitmaken van de warmterotonde, zie onderstaande figuur. Daarvan is de warmtetransitie van Kerschoten al in een vergaand stadium van voorbereiding. Exclusief Kerschoten gaat het om 47.880 aansluitingen met een totale warmtevraag van 1.760 TJ/jaar bruto en 1.408 TJ/jaar netto. Het bijbehorende piekvermogen van de warmteproductie in de winter is 272 MWth.



De grijze gebieden maken onderdeel uit van de warmterotonde. Hier is levering van warmte voorzien op een temperatuur van 65°C. Het gaat om in totaal zes gebieden. Kerschoten zal het eerste gebied zijn dat gebruik gaat maken van de warmte die door de RWZI geleverd kan worden. Ook zijn blauwe gebieden onderkend met Woudhuis e.o. als de grootste. Hier is levering van warmte op lage temperatuur, dat is 45°C, via de warmterotonde mogelijk. Het gaat vooral om woningen die gebouwd zijn na 1990. Ongeveer 1/3 van de aansluitingen kan gebruik maken van lage temperatuur en 2/3 heeft warmte nodig op 65°C.

En hoe verhoudt dit zich tot de duurzame warmtevoorziening in andere delen van de stad?

Het Ennatuurlijk warmtenet Zuidbroek in het Noordoosten van de stad is al voor een belangrijk deel duurzaam door de inzet van biowarmte. Een koppeling met de warmterotonde biedt vooralsnog vanuit het oogpunt van de warmterotonde geen meerwaarde.

In De Maten wordt een warmtetransitie mogelijk geacht met een collectief warmtesysteem dat gebruik maakt van bronnen in de wijk en restwarmte afkomstig van de Ecofactorij. Dit maakt dat aansluiting op de warmterotonde niet meteen nodig is, maar op termijn wellicht meerwaarde kan bieden, immers De Maten kan zelfvoorzienend zijn in de warmtevraag.

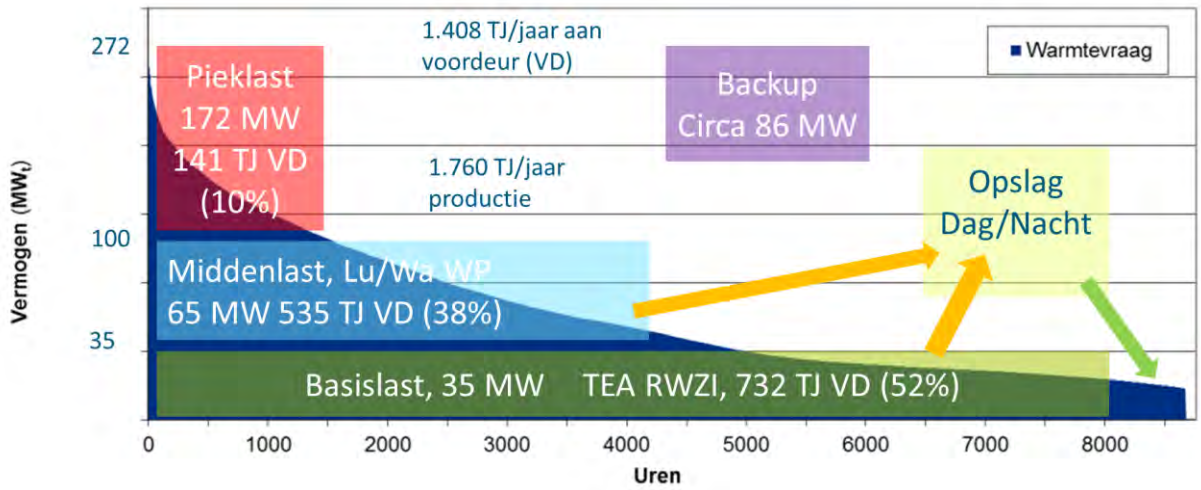
Het BSK-gebied wordt herontwikkeld. Nieuwbouw zal gaan plaatsvinden. Zo mogelijk worden lage temperatuur warmtepomp systemen ingezet waarbij o.a. gebruik gemaakt wordt van WKO. Dit maakt dat de noodzaak voor directe aansluiting op de warmterotonde niet aanwezig is, maar de retour van de warmterotonde kan mogelijk wel worden ingezet voor de regeneratie van de WKO's. Ook blijft zo warmte op midden temperatuur beschikbaar voor die delen van de stad die geen alternatief hebben. Nader voorgenomen onderzoek zal uitwijzen wat de best passende duurzame warmtemix is voor het BSK-gebied.

Verondersteld wordt dat bedrijventerreinen verspreid over de stad in eigen beheer de warmtetransitie doorvoeren waarbij rekening gehouden wordt met de specifieke kenmerken van het energiegebruik. Aansluiting op de warmterotonde wordt daarbij niet uitgesloten.

Nieuwbouw in en aan de rand van de stad krijgt bij voorkeur een warmtevoorziening zoals in het BSK-gebied op basis van klein collectief of individuele warmtepompen, zo mogelijk met de ondergrond als bron. Aansluiten op de warmterotonde ligt niet voor de hand vanwege de lage warmtevraagdichtheid.

Welke bronnen gaan we inzetten via de warmterotonde?

Alle bronnen bij elkaar, inclusief de levering van warmte via opslag, moeten in staat zijn om in de piekvraag te voorzien op een koude winterdag. In onderstaande figuur is aangegeven hoe in vraag naar warmte wordt voorzien. De vermogens in MW hebben betrekking op de productie.

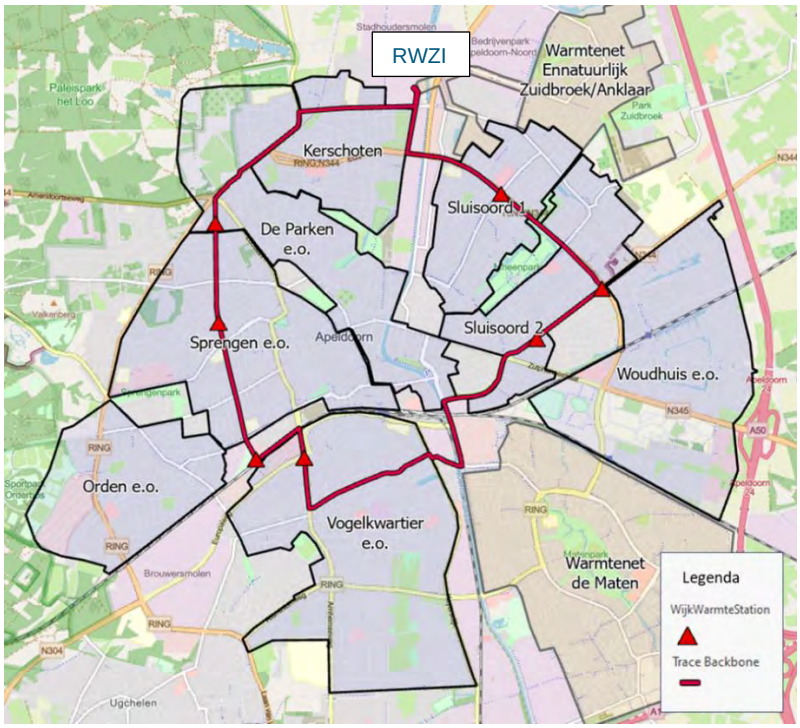


In de warmtevraag wordt voorzien door de RWZI die vrijwel continu 35 MW warmte (basislast) levert via de warmterotonde aan de warmteclusters. In of nabij deze clusters wordt de resterende warmte geproduceerd. Als eerste in middenlast door lucht/water warmtepompen en op koude momenten aangevuld (pieklast) met warmte uit ketels die zo mogelijk duurzame brandstoffen gebruiken. De back up installatie zorgt voor de leveringszekerheid van de warmtevoorziening. Door dag/nacht opslag van warmte kunnen variaties in vraag en aanbod worden opgevangen en kan het elektriciteitsnet worden ontzien.

De RWZI levert warmte in basislast. De warmterotonde moet in staat zijn om deze warmte met een vermogen van 40 MW, waarvan 5 MW gereserveerd voor basislast Kerschoten, tot maximaal 60 MW te transporteren naar de warmteafzetgebieden. In de zes gebieden zorgen wijkwarmtestations voor de warmteproductie in middenlast en pieklast. De middenlastwarmte wordt geproduceerd met lucht/water warmtepompen. De pieklastwarmte wordt geproduceerd met een warmteketel die een duurzame brandstof (bijvoorbeeld bio-olie, groen gas) gebruikt en als het niet anders kan tijdelijk aardgas.

Vooralsnog wordt (vrijwel) geen gebruik gemaakt van de volgende warmtebronnen:

- Geothermie. Deze bron is nog te onzeker om bij voorbaat in te zetten voor de warmterotonde. Eerst zijn onderzoeksboringen nodig, maar deze zijn recent uitgesteld door EBN;
- Lokale restwarmtebronnen bedrijventerreinen. Deze bronnen worden gereserveerd voor de warmtetransitie bij bedrijven. Het aanbod voor inzet via de warmterotonde is daardoor beperkt;
- Zonthermie. Hiervoor zijn zonnevelden nodig die schaarse ruimte vragen. Ook is warmte-opslag nodig zodat inzet in koude perioden mogelijk is. Kan in een later stadium aanvullend zijn;
- Warmte uit het Apeldoorns Kanaal. Deze warmte wordt gereserveerd voor De Maten, BSK en individuele bedrijven langs het kanaal;
- Biowarmte. Niet zoals op dit moment in Zuidbroek waarbij biowarmte het merendeel voor zijn rekening neemt, wel in beperkte mate voor de pieklast en back up warmte.



Eerste indicatie van het mogelijke tracé warmterotonde[2] en de wijkwarmtestations waarmee de verschillende clusters van warmte kunnen worden voorzien. Na Kerschoten is ontwikkeling om de oost voorzien.

En hoe zit het met de mogelijkheden van warmteopslag?

Opslag van warmte wordt voorzien nabij de wijkwarmtestations voor het opvangen van de onbalans tussen vraag en aanbod tussen dag en nacht. Dit maakt dat minder pieklastvermogen hoeft te worden ingezet, de warmtepompen elektriciteit verbruiken op gunstige momenten en de duurzame warmtebronnen beter kunnen worden benut. Zeer gewenst maar op dit moment nog onzeker is de opslag van warmte in een diepe aquifer op hoge temperatuur (HTO). Daarmee wordt de betaalbaarheid en duurzaamheid verbetert en kan netcongestie worden tegengegaan. HTO maakt het mogelijk om een groter deel van het warmtepotentieel van de RWZI te benutten, van ongeveer 800 TJ zoals nu voorzien naar meer dan 1.000 TJ met HTO. De toevoeging van een effluent buffer waarmee het rioolwater tijdelijk kan worden opgeslagen maakt een verdere verhoging van de warmteproductie mogelijk.

Maakt de warmterotonde een betaalbare duurzame warmtevoorziening mogelijk?

Betaalbaar laat zich op twee manieren beschouwen: is het goedkoper dan het duurzame individuele alternatief de lucht/water warmtepomp en is het goedkoper dan het verwarmen met aardgas zoals we dat de laatste decennia gewend zijn. De eerste indicaties van de doorgerekende businesscase laten zien dat de warmterotonde financieel haalbaar is. Gegeven een investering van ongeveer € 1 miljard en een looptijd van 35 jaar en een volloopgraad van 90% is een betaalbare warmterotonde mogelijk. Rekening houdend met subsidies, aansluitkosten van € 5.600 per woning en de ACM-tarieven voor vaste lasten (2024) varieert het warmtetarief van 17 tot 24 €/GJ. Het warmtetarief verschilt per warmtegebied. Het gewogen gemiddelde warmtetarief is 21 €/GJ en dit is vrijwel vergelijkbaar met de 22 €/GJ voor een individuele warmtepomp bij toepassing van dezelfde berekeningswijze warmtetarieven. Ter vergelijking: het huidige ACM-tarief bedraagt 38 €/GJ met een verwachte waarde van rond de 30 €/GJ in 2025. Betrokken op de bouw en exploitatie van de warmterotonde bedraagt de gemiddelde investering per woning € 21.000 en de gemiddelde jaarlijkse kosten € 850 per woning.

[2] *Van meet af aan is gesproken over een warmterotonde, beter passend is wellicht warmte rondweg, afgekort WRA.*

Hoe gaan we voorzien in de vraag naar koude bij de warmterotonde?
Het klimaat verandert, het wordt warmer en de vraag naar koude zal in de zomer toenemen. Afhankelijk van het gekozen KNMI-scenario kan dit met 30% tot 100% toenemen tussen 2020 en 2050. Koelen via een warmtenet is niet eenvoudig. Nu bestaat de warmterotonde uit een toevoer en retour pijp. Ook op warme dagen is warm water nodig voor de warm tapwatervoorziening. De levering van koude vergt een extra koude toevoer en retour met alle kosten van dien. Ook het warmteafgiftesysteem in de woningen moet hiervoor geschikt zijn zodat geen condensatieproblemen ontstaan. In het onderzoek is verondersteld dat het buiten houden van zonnewarmte (preventie) de voorkeur heeft. Vervolgens, mits voldoende zonPV voorhanden is op daken in de gebouwde omgeving, is de inzet van elektrische air conditioning overdag te verkiezen boven het geschikt maken van de warmterotonde voor de levering van zowel koude als warmte. Een alternatief bij grote gebouwen voor de air conditioning is absorptiekoeling waarbij met warmte als energiebron koude wordt geleverd voor koeling. Deze variant kan wel gebruik maken van de warmterotonde. Met de productie van warmte bij de RWZI komt ook veel koude vrij op een temperatuur van 4°C. Het is meer dan de moeite waarde om deze duurzame koude te benutten door koudevraag bij bijvoorbeeld bedrijven en -aanbod bij elkaar te brengen.

Wat is de voor de hand liggende governance structuur voor de warmterotonde?
De warmterotonde is een groot project met een investeringsvolume van rond de € 1 miljard. De Wet Collectieve Warmte die naar verwachting op 1 januari 2025 ingevoerd wordt geeft aan dat collectieve warmte projecten een publiek private onderneming moeten zijn waarbij de overheid een meerderheidsaandeel heeft. Dit aandeel kan de gemeente niet alleen invullen. Publieke partners zoals bijvoorbeeld het Gelders Warmte Infra Bedrijf maken de ontwikkeling van de warmterotonde mogelijk. De ervaring die met Kerschoten wordt opgedaan helpt om de juiste keuzes te maken voor de nadere invulling van de warmterotonde governance structuur.

Conclusies
De haalbaarheidsstudie heeft geleerd dat het technisch en economisch mogelijk is om met de warmterotonde een groot deel van de stad Apeldoorn van duurzame warmte op middentemperatuur te voorzien. Ook kan de warmterotonde ingezet worden voor levering van warmte op lage temperatuur en voor de regeneratie van WKO-bronnen in de stad. De eerste verkenningen laten zien dat de warmterotonde en bijpassende wijkwarmtestations ruimtelijk inpasbaar zijn. Ook elektrische inpassing lijkt mogelijk. De uitrol van de warmterotonde beslaat een periode van zeker 20 jaar en loopt zoveel mogelijk parallel aan de voorziene stedelijke ontwikkeling. Dit is gefaseerd mogelijk zodat een ‘lock in’ voorkomen wordt.

Op dit moment is beleidsmatig en financieel nog veel onzeker rondom de nationale warmtetransitie agenda. Het is dan ook goed dat Kerschoten de springplank kan zijn voor de ontwikkeling van de warmterotonde, parallel de warmterotonde als concept verder ontwikkeld wordt, zo ook de fall back variant in de vorm van klein collectief en individuele warmtepomp concepten en nationaal via o.a. de VNG actief bijgedragen wordt aan de verbetering van de condities voor warmtetransitie in brede zin.

Aanbevelingen
De prestatie van de warmterotonde is sterk te verbeteren (betaalbaarheid en duurzaamheid) wanneer de inzet van HTO mogelijk is. Nader onderzoek naar de inzetmogelijkheden (potentieel, locatie) is dan ook gewenst. Daarnaast wordt verdere uitwerking van het warmterotonde concept aanbevolen met aandacht voor het warmte technisch ontwerp, de ruimtelijke inpassing (tracé en wijkwarmtestations), de elektrische inpassing en de manier waarop de warmterotonde een aantrekkelijk aardgas alternatief kan zijn voor inwoners en bedrijven in de stad Apeldoorn.

Inhoud

1 Inleiding 1

2 Opdracht en aanpak haalbaarheidsstudie 8
2.1 Plan van aanpak 8
2.2 Definities en uitgangspunten 9
2.3 Drijfveren voor varianten warmterotonde 22

3 Warmtevraag 23
3.1 Uitgangspunten warmtevraag 23
3.2 Berekening warmtevraag 24
3.3 Toekomstige warmtevraag 25
3.4 Variant hoge warmtevraagdichtheid 26
3.5 Variant volledige dekking 27
3.6 Validatie warmtevraag 28
3.7 Koudevraag 29
3.8 Uitwerking warmtevraaggebieden voorkeurscenario 31
3.8.1 Beschrijving warmtegebieden 31
3.8.2 Bepaling grenzen warmtegebieden 31
3.8.3 Bepalen van LT-gebieden 32
3.8.4 Technische uitgangspunten warmtevraaggebieden 33
3.8.5 Gebieden die niet meegenomen zijn in het ontwerp 35

4 Warmtebronnen 37
4.1 RWZI, TEA warmte 37
4.2 Ondergrond als warmtebron 42
4.2.1 Geothermie 42
4.2.2 Hoge Temperatuur Opslag 43
4.2.3 WKO 44
4.3 Zonthermie 45
4.4 Bronnenstrategie 45

5 Warmtesysteem 46
5.1 Uitvoeringsvarianten 46
5.2 Basisvariant 46
5.3 Expertsessie systeemvarianten 48
5.4 Definitie systeemvarianten 48
5.5 Definities criteria MCA 50
5.6 Resultaten multi criteria analyse 51

5.7 Ontwerpfilosofie 51
5.7.1 Optie 1: Open rotonde met cascadering 52
5.7.2 Optie 2: Open rotonde met cascadering en secundaire pompen 53
5.7.3 Optie 3: Open rotonde zonder cascadering met secundaire pompen 54
5.7.4 Optie 4: Gesloten rotonde zonder cascadering met secundaire pompen 55
5.8 Aansluiten LT-ready gebieden 57
5.9 Aansluiten wijk Kerschoten 58
5.10 Bepaling capaciteit backbone warmterotonde 58
5.11 Ruimtelijke inpassing van infrastructuur 60
5.12 Ruimtelijke vrijheidsgraden installaties 62
5.13 Volgorde warmtegebieden 64

6 Businesscase 65
6.1 Toelichting kosten 65
6.2 Toelichting opbrengsten 66
6.3 Kasstroom per warmtecluster 68
6.4 CapEx onderverdeling warmterotonde 68
6.5 CapEx onderverdeling leidingnetwerk 69
6.6 CapEx-onderverdeling wijkwarmtestations 70
6.7 OpEx onderverdeling warmterotonde 71
6.8 Resultaten businesscase 72
6.9 Gevoeligheidsanalyse 76
6.10 Conclusies businesscase 78
6.11 Elektriciteitsverbruik 80

7 Bijzondere onderwerpen 81
7.1 Betaalbaarheid en rechtvaardigheid 81
7.2 Uitfaseren aardgas 83
7.3 Wet- en regelgeving 83
7.4 Netcongestie 84
7.5 Innovaties, kansen en bedreigingen 85
7.6 Subsidies en overheidsinstrumenten 85
7.7 Fasering en planning uitrol warmterotonde 86
7.8 Grenzen van keuzevrijheid 86
7.9 Financiering 86
7.10 Communicatie, het warmtetransitie verhaal 87
7.11 Governance 88

8 Conclusies en aanbevelingen 90

Tabellen

Tabel 1: Vergelijking gaslevering gebieden Brinckhorst en Osseveld Oost & Woudhuis 29
Tabel 2: Overzicht van de uitgangspunten per vraaggebied. 34
Tabel 3: Warmteproductie RWZI TEA zonder effluentbuffer, Case 1 40
Tabel 4: Warmteproductie RWZI TEA met effluentbuffer, Case 2 41
Tabel 5: CapEx warmtenet per aansluiting en gemiddelde warmtevraag per aansluiting 76
Tabel 6: Aanvullende subsidies met betrekking tot collectieve warmtesystemen 78
Tabel 7: Onderverdeling CapEx leidingnetwerk et al 95

Figuren

Figuur 1: Een warmterotonde voor de stad Apeldoorn, 1
Figuur 2: Routekaart warmtetransitie 3
Figuur 3: Voorbeeld van een warmteafleverset 5
Figuur 4: Fasering haalbaarheidsonderzoek warmterotonde 6
Figuur 5: Warmtevraag versus de dekking met verschillende typen warmtebronnen. 13
Figuur 6: Warmtevraagdichtheidskaart voor de gebouwde omgeving van Apeldoorn 25
Figuur 7: Identificatie warmtevraag clusters 27
Figuur 8: Variant volledige dekking 27
Figuur 9: De gebieden Brinckhorst en Osseveld Oost & Woudhuis 28
Figuur 10: Overzichtskaart van de warmtegebieden inclusief LT-warmtegebieden 32
Figuur 11: Overzichtskaart met d gebouwen die geschikt zijn voor LT verwarming. 33
Figuur 12: Jaarduurkromme totale warmtevraag voor de gehele warmterotonde. 34
Figuur 13: Jaarduurcurve warmtevraag en de invulling met warmtebronnen 37
Figuur 14: Aanbod van effluent over de periode 2018 tot en met 2021 38
Figuur 15: Verloop effluent debiet over de dag in m^3/uur 38
Figuur 16: Potentiekaart geothermie 43
Figuur 17: Voorbeeld van het inpassen van een HTO 43
Figuur 18: Overzicht van de open en gesloten WKO-systemen in Apeldoorn 44
Figuur 19: Principeschema van de warmterotonde, basisvariant 47
Figuur 20: Principeschema van MT-net met mogelijkheid van levering LT-warmte 49
Figuur 21: Principeschema van LT-net met decentrale opwaardering naar MT-warmte 49

Figuur 22: Principeschema van (Z)LT-levering 49
Figuur 23: Open rotonde met cascadering 52
Figuur 24: Open rotonde met cascadering en secundaire pompen 53
Figuur 25: Open rotonde zonder cascadering 54
Figuur 26: Gesloten systeem zonder cascadering 55
Figuur 27: Schetsontwerp van de warmterotonde infrastructuur in Apeldoorn 60
Figuur 28: Visuele weergave van de besproken aanpassingen van de warmterotonde 61
Figuur 29: Integraal schematisch overzicht van de warmterotonde 62
Figuur 30: Voorbeeld van inpassing van een WOS in Amstelkwartier Amsterdam 63
Figuur 31: Voorbeeld van inpassing van een Warmtecentrale in Veenendaal-Oost 63
Figuur 32: CapEx hele warmtenetsysteem 69
Figuur 33: Gemiddelde investering per aansluiting basisvariant warmterotonde 69
Figuur 34: Onderverdeling CapEx leidingnetwerk 70
Figuur 35: CapEx onderverdeling van alle wijkwarmtestations samen 70
Figuur 36: Onderverdeling OpEx van het hele warmtesysteem 71
Figuur 37: OpEx per aansluiting van gemiddelde woning en gemiddelde utiliteit 71
Figuur 38: Kosten en opbrengsten per geleverde GJ aan warmte 73
Figuur 39: Benodigd warmtetarief (LCOH) voor NCW = 0 75
Figuur 40: Gevoeligheidsanalyse op benodigd warmtetarief 77

Bijlagen

Bijlage 1 Overzichtskaart warmteoplossingen Apeldoorn-stad
Bijlage 2 Overzicht aanwezigen expertsessie
Bijlage 3 Technische en financiële uitgangspunten voor de businesscase
Bijlage 4 CapEx en leidinglengte onderverdeling warmtenet

Lijst van afkortingen

BAK	Bijdrage Aansluitkosten
Bcw	Besluit collectieve warmte
BuCa	Businesscase, ook wel afgekort als BC
CapEx	Investeringskosten
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
COP	Coëfficiënt of Performance, rendementsgetal voor productie van warmte m.b.v. elektriciteit
DevEx	Kosten voor de ontwikkeling van een project, voorbereidingskosten
E	Elektriciteit
GWIB	Gelders Warmte Infra Bedrijf
HT	Hoge temperatuur, levering van warmte boven de 75°C
HTO	Hoge Temperatuur Opslag, opslag van warmte in de ondergrond op of rond de 70°C
HWC	Hulpwarmtecentrale, zorgt voor levering van warmte in een warmtecluster, wijk
ISDE	Investeringssubsidie Duurzame Energie
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KV	Klein Verbruikers
LNG	Liquid Natural Gas, vloeibaar gas op lage temperatuur
LT	Lage temperatuur, levering van warmte rond de 45°C in het geval van warmterotonde
MCA	Multi Criteria Analyse
MT	Midden temperatuur, levering van warmte, op 65°C in het geval van warmterotonde
OpEx	Operationele kosten, kosten van onderhoud, bedrijfsvoering, bedrijfsmiddelen en brandstof
OT	Onrendabele Top, tekort bij projectaanvang om tot een rendabel project te komen
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PV	Photo Voltaic, zonnepaneel dat elektriciteit produceert
PVT	Photo Voltaic Thermal, zonnepaneel dat warmte en elektriciteit produceert
RVO	Rijksdienst voor ondernemend Nederland
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
SAH	Stimuleringsregeling Aardgasvrije Huurwoningen
SDE	Subsidieregeling Duurzame Energie, exploitatiesubsidie
TEA	Thermische Energie uit Afvalwater
TED	Thermische Energie uit Drinkwater
TEO	Thermische Energie uit Oppervlaktewater
TRL	Technical Readiness Level, mate waarin een techniek ontwikkeld is
TVW	Transitie Visie Warmte
WCW	Wet Collectieve Warmte, de nieuwe warmtewet die nog niet is aangenomen
WEQ	Woningequivalent, warmtevraag van een gemiddelde woning
WGIW	Wet Gemeentelijke Instrumenten Warmtetransitie
WIS	Warmtenetten Investeringssubsidie
WKK	Warmte Kracht Koppeling
WKO	Warmte Koude Opslag, opslag in de ondergrond in daarvoor geschikte aquifer
WP	Warmtepomp
WoCo	Woningcorporatie
WOS	Warmte Overdracht Station, zorgt voor verspreiding van warmte in een buurt
WRA	Warmterotonde Apeldoorn
ZK	Zakelijke Verbruiker

Lijst van symbolen en eenheden

1 PJ = 1.000 TJ 1 TJ = 1.000 GJ 1 GJ = 1.000 MJ
1 MW = 1.000 kW 1 kW = 1.000 W

CO	Kool Monoxide, giftig gas dat vrijkomt bij onvolledige verbranding	
CO_2	Kool Dioxide, broeikasgas dat vrijkomt bij verbranding	
e	Elektrisch	
GJ	Giga Joule, 1.000 MJ	Energiehoeveelheid op schaalgrootte van een woning
H_2	Waterstof, gasvormige brandstof	
ha	hectare, 10.000 m^2	Oppervlakte
km	kilometer, 1.000 m	Afstand
Lu	Lucht	
MW	Mega Watt, 1.000 kW	Vermogen
NOx	Stikstof Oxide, verzurend gas	
PJ	Peta Joule, 1.000 TJ	Energiehoeveelheid op schaalgrootte van een stad
th	Thermisch	
TJ	Tera Joule, 1.000 GJ	Energiehoeveelheid op schaalgrootte van een wijk
Wa	Water	

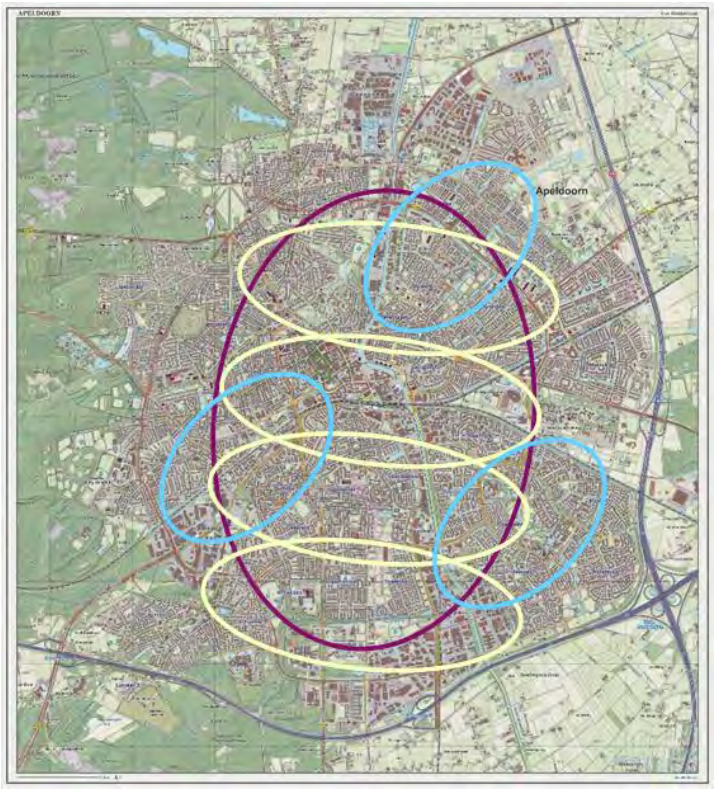
1 Inleiding

Warmtetransitie, in 25 jaar tijd van aardgas naar duurzame bronnen

De gemeente Apeldoorn en haar inwoners staan voor een grote opgave. In de komende jaren tot ongeveer 2050 zal afscheid worden genomen van aardgas als de belangrijkste energiebron voor de gemeente. Dit betekent dat woningen en gebouwen overstappen van een fossiele warmtebron met de daarbij behorende broeikasgasemissie van CO_2 naar een mix van klimaatneutrale duurzame warmtebronnen. De Transitievisie Warmte (2021) van de gemeente Apeldoorn geeft aan welke mogelijkheden worden gezien en wat naar de inzichten van toen de route is om dit doel te bereiken. En Apeldoorn is al een tijdje op weg met deze warmtetransitie, zowel met de individuele varianten waarbij per woning of gebouw duurzame warmte wordt ingezet als met de collectieve vormen waarbij met één of meerdere bronnen een gebied van warmte wordt voorzien.

Warmterotonde, een idee voor de warmtetransitie van de stad

Een van de mogelijkheden die in 2023 is onderkend is de 'Warmterotonde' voor de stad Apeldoorn. Deze rotonde, mits haalbaar en uitvoerbaar, maakt het mogelijk om meerdere grootschalige warmtebronnen in te zetten en grote delen van de bestaande bouw in de stad van warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater te voorzien. Het idee van de warmterotonde komt voort uit het nu in ontwikkeling zijnde warmtenet Kerschoten, waarbij is onderkend dat de RWZI zoveel warmtepotentie heeft dat deze niet alleen voor Kerschoten maar ook voor andere wijken in de stad een duurzame warmtebron kan zijn. Dit vereist wel een bijpassende infrastructuur voor het transport van warmte naar de wijken. De warmterotonde kan, worden gezien als een backbone die grootschalige bronnen en warmteopslag verbindt met warmteafzet-gebieden. Distributienetten, zorgen ver-volgens voor de levering van warmte aan de eindgebruikers. De warmterotonde en de distributienetten zijn met elkaar verbonden via wijkwarmtestations. Verschillende uitvoeringsvormen van de warmterotonde zijn voorstelbaar, zie Figuur 1.



Figuur 1: Een warmterotonde voor de stad Apeldoorn, de primaire infrastructuur die warmtebronnen met elkaar verbindt en waarmee distributienetten in wijken van warmte kunnen worden voorzien. Meerdere uitvoeringsvormen zijn mogelijk. Paars: een rotonde voor de hele stad. Blauw: meerdere kleine rotondes. Geel: kleine rotondes die als kralen van een ketting met elkaar verbonden zijn. Vooruitlopend op de resultaten: Uit het onderzoek blijkt dat de paarse variant het meest kansrijk is

Is de warmterotonde eenmaal beschikbaar, dan kunnen ook andere bronnen aansluiten en kan de grootschalige opslag van warmte worden ingezet, om zo de verschillen tussen vraag naar warmte vanuit de eindgebruikers en aanbod van warmte vanuit de bronnen op te vangen. Ook kunnen afzonderlijke

wijknetten en decentrale warmtebronnen met elkaar worden verbonden om onderling warmte uit te wisselen. Zo wordt voorkomen dat er in de ene wijk in koudere perioden met hoge elektriciteitsprijzen dure warmte wordt gemaakt met bijvoorbeeld een lucht/water warmtepomp, terwijl er in de andere wijk nog (rest)warmte over is. Daardoor stijgt het duurzaamheidsgehalte van het geheel en dalen de kosten.

Warmterotonde, waarom willen we dit overwegen?

De warmterotonde richt zich op de levering van duurzame warmte aan de stad Apeldoorn, niet aan de omliggende dorpen. Het gaat daarbij vooral om de bestaande bouw. Vertrekpunt bij de warmtetransitie is dat we in elke situatie het beste duurzame alternatief willen aanreiken voor aardgas. Dit kan een individuele oplossing zijn in de vorm van een lucht/water warmtepomp[3]. Toepassing hiervan stelt eisen aan het isolatieniveau van de woning en het warmteafgifte systeem. Dit maakt dat ingrepen achter de voordeur nodig zijn, wat kosten en vertraging met zich meebrengt. Ook heeft deze optie gevolgen voor het elektrische laagspanningsnet, verzwaring van het net is nodig. In vergelijking met de lucht/water warmtepomp is dan ook de vraag of de warmterotonde een beter alternatief kan zijn in termen van uitvoerbaarheid, kosten en het voorkomen van netcongestie. Naast individueel zijn klein collectieve warmtesystemen te overwegen waarbij lokaal beschikbare bronnen worden benut. In sommige delen van de stad is dit mogelijk, maar in andere delen juist niet door het ontbreken van lokale warmtebronnen. De warmterotonde richt zich daarom op die delen van de stad waar een klein collectief warmtesysteem niet mogelijk is of waar het toepassen van een individuele warmtepomp te ingrijpend is.

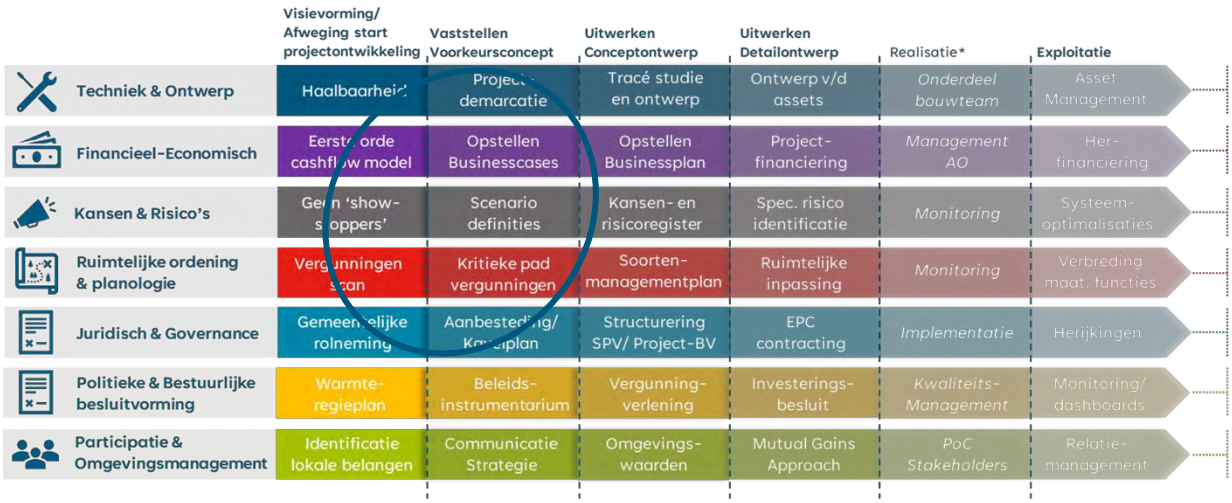
De eerste stap: haalbaarheidsstudie naar wat mogelijk is en wat dit ongeveer kost

Het tot stand komen van de warmterotonde is een omvangrijk, complex en ingrijpend traject. De gemeente Apeldoorn is zich hier ten volle van bewust. Met deze haalbaarheidsstudie wordt de eerste stap gezet. Zo wordt duidelijk of het kan, op welke manier de warmterotonde het best tot zijn recht komt en is er een eerste indicatie van wat het kost. Dit in vergelijking tot de alternatieven. De haalbaarheidsstudie besteedt aandacht aan verschillende aspecten, zie het kader in Figuur 2 en leidt tot een voorkeursconcept (basis variant, base case) voor de warmterotonde. In aanvulling op dit voorkeursconcept worden optimalisatiemogelijkheden (up sides) onderkend waarvan op dit moment nog niet zeker is of deze uitvoerbaar zijn maar die wel bijdragen aan het verlagen van de kosten en/of het verhogen van de duurzaamheid.

De resultaten zijn eveneens relevant bij de definitieve besluitvorming over het warmtenet Kerschoten in het eerste kwartaal van 2025, omdat daarin een aantal voorzieningen nodig zijn die de toekomstige uitrol van de warmterotonde mogelijk maken. Ook kunnen de uitkomsten van deze studie worden gebruikt om de Transitievisie Warmte te herijken (in de toekomst Warmteprogramma genoemd) en om zo tot een ‘Grand Design’ te komen voor de warmtetransitie van de gemeente waarin de verschillende mogelijkheden in symbiose met elkaar worden gecombineerd. De gemeente is daarbij op zoek naar een optimale mix van collectieve en individuele duurzame warmteoplossingen. Bij collectief, zeker wanneer dit op de schaalgrootte van de stad is, wil de gemeente een open systeem hebben dat mee kan groeien met toekomstige ontwikkelingen, dus toekomstbestendig is. Lock in’s moeten worden voorkomen, dus het warmtesysteem moet flexibel zijn en toekomstige desinvesteringen moeten worden vermeden. Tot slot wil de gemeente optimaal gebruik maken van de warmtebronnen die binnen haar eigen grenzen beschikbaar zijn. Zo wordt de inzet van duurzame gasvormige (waterstof, groen gas) en vloeibare

[3] *Ook andere typen warmtepompen zijn mogelijk, echter in de bestaande bouw is de lucht/water warmtepomp het meest gangbaar en het minst ingrijpend om toe te passen. De hybride warmtepomp blijft buiten beschouwing omdat de eindsituatie van de warmtetransitie waarbij alleen duurzame bronnen worden toegepast leidend is. De lucht/lucht warmtepomp wordt niet als oplossing gezien vanwege het ontbreken van de warm tapwater functie.*

brandstoffen (bio based en synthetisch) beperkt en kunnen deze duurzame brandstoffen hoogwaardig elders in ons energiesysteem worden ingezet.



Figuur 2: Routekaart warmtetransitie met daarin aangegeven het werkgebied van de haalbaarheidsstudie warmterotonde Apeldoorn (bron: RHDHV)

Robuust ontwerpen, aandacht voor meer dan warmte alleen

Ons klimaat verandert. Dit betekent dat de jaarlijkse warmtevraag (uitgedrukt in het aantal graaddagen[4]) van onze woningen afneemt. Ook neemt de vraag naar koeling (uitgedrukt in het aantal koeldagen[5]) toe. Het onderzoek houdt hiermee rekening. De warmterotonde moet niet alleen bij de start (indicatie 2030), maar ook als het klaar is (indicatie 2050) in de vraag naar warmte kunnen voorzien. Daarnaast moet ook in toenemende mate in de behoefte naar koude worden voorzien. Dit kan o.a. ingevuld worden door absorptie warmtepomptechnieken waarbij met warmte uit het warmtenet koude wordt gemaakt.

Netcongestie is een actueel onderwerp en de verwachting is dat de capaciteit van het elektriciteitsnet voorlopig een schaars goed zal blijven en dat een beroep op netcapaciteit duurder zal worden. De tijd van de 'koperen plaat' is voorbij waarbij elektriciteit er altijd, overal, op ieder moment en in elke gewenste hoeveelheid is. Beperkingen in het aansluiten van nieuwe bedrijven en woningen en in het uitbreiden van bestaande aansluitingen leiden tot substantiële maatschappelijke kosten. Vooral in de winter neemt het risico van onbalans tussen het aanbod en de vraag naar elektriciteit in de komende jaren toe. En juist in de winter is de vraag naar warmte groot. De gemeente wil hierop inspelen en heeft gevraagd om de warmterotonde zo te ontwerpen dat de netcongestie beperkt blijft of zelfs kan afnemen. Zo wordt het mogelijk om elektrische mobiliteit, de elektrificatie van wonen en bedrijven en de warmtetransitie te combineren zonder dat de elektriciteitsvoorziening in Apeldoorn in gevaar komt.

Ontwerpfilosofie van de warmterotonde

Bij het ontwerp van de warmterotonde wordt een denklijn en werkwijze gevolgd die leidt tot een technisch uitvoerbare warmterotonde tegen zo laag mogelijke kosten voor de eindgebruiker waarbij rekening wordt gehouden met andere vormen van mogelijk geachte duurzame warmte in Apeldoorn.

[4] *Definitie graaddag: Het aantal graaddagen wordt bepaald door het aantal graden dat de gemiddelde etmaaltemperatuur van de dag onder de 18°C ligt. Door dit van meer dagen op te tellen krijg je het aantal graaddagen van een maand of een jaar. Hoe hoger het getal, hoe kouder dat jaar was.*
[5] *Definitie koeldag of zomerse dag: Een zomerse dag heeft een temperatuur van 25°C of hoger.*

De warmterotonde is gebaseerd op een ontwerpfilosofie waarbij enerzijds inzet van grootschalige warmtebronnen mogelijk wordt gemaakt en anderzijds juist die delen van de gemeente Apeldoorn van warmte worden voorzien waar de warmtevraagdichtheid het hoogst is en die niet zelf beschikken over voldoende lokale (rest)warmtebronnen, waarmee de lokale warmtevraag van een woning, gebouw, specifieke buurt, wijk of cluster van gebouwen kan worden ingevuld. De warmterotonde vult dus aan in situaties waar er lokaal onvoldoende betaalbare (rest)warmte aanwezig is. De ontwerpfilosofie omvat daarnaast andere principes die als rode draad door het rapport lopen en hieronder worden benoemd.

Warmtevraag verlagen

Hoe paradoxaal het moge klinken, als eerste wordt ingezet op economisch en technisch optimale verlaging van de warmtevraag door isolatie. Dus het streven is om zo min mogelijk warmte per aansluiting te verkopen via de warmterotonde. Want, wat niet verbruikt wordt hoeft ook niet geproduceerd te worden en de inzet is lage kosten voor de eindgebruiker. Dit maakt dat er ruimte ontstaat voor groei van het aantal aansluitingen. Ook biedt deze benadering meer zekerheid aan de exploitant over de verkoop van warmte op termijn. Tot slot, duurzame warmtebronnen zijn in Apeldoorn een schaars goed, het is dus zaak om deze zo optimaal mogelijk te gebruiken.

Werken met 'sweet spot'

Gewerkt wordt met een 'sweet spot' aanpak. Wat wordt hiermee bedoeld? Elk onderdeel van de warmterotonde, vanaf warmteproductie, via opslag en transport tot aan de levering van warmte bij afnemers heeft een optimaal werkpunt. Op dit werkpunt ('sweet spot') is de technische werking het beste, zijn de verliezen het laagst, zo ook de kosten. Het ontwerp van de warmterotonde houdt hier zo goed mogelijk rekening mee. De andere kant van de 'sweet spot' medaille is de warmtevraag. De ervaring leert dat stadsverwarmingsprojecten (collectieve warmte) concurrerend kunnen zijn met alternatieven wanneer de omvang van de warmtevraag 5.000 woningequivalenten (WEQ) of meer is én de warmtevraagdichtheid 1,5 TJ/ha of meer is.

Denken vanuit de basisvariant

De manieren waarop de warmterotonde kan worden ontworpen zijn legio; ook of en hoe bronnen worden ingezet, op welke manier warmteopslag wordt ingezet en of en hoe de warmterotonde is verbonden met andere warmteprojecten. Door uit te gaan van een basisvariant (Base Case) die is gebaseerd op conservatieve aannames ontstaat er overzicht en duidelijkheid over de haalbaarheid van de warmterotonde. De basisvariant bestaat uit onderdelen waarvan we redelijk zeker weten dat het qua technische uitvoerbaarheid kan. Dit is niet per definitie de meest optimale of goedkoopste uitvoering. Daarom worden ook de verbetermogelijkheden in kaart gebracht, de zogenaamde 'upsides', en aangegeven hoe belangrijk deze zijn voor een beter functionerende warmterotonde met uiteindelijk hogere duurzaamheid en lagere kosten voor de eindgebruiker. De basisvariant is te zien als een 'Worst Case' benadering die uiteindelijk alleen maar beter kan worden.

Elektriciteitsluw ontwerpen

Omdat we tegen de grenzen van de capaciteit van ons elektriciteitsnet aanlopen (netcongestie) wordt uitgegaan van een zo elektriciteitsluw mogelijk ontwerp. Dat betekent niet alleen een minimaal verbruik aan elektriciteit per eenheid geleverde warmte over het jaar bezien, maar ook het vermijden van elektriciteitsverbruik op momenten dat piekvraag in het net optreedt, in het bijzonder in de winter. Zo blijven de hiermee gemoeide kosten laag en wordt het elektriciteitsnet ontzien. De warmterotonde zal vooral gebruik gaan maken van de voorzieningen in het middenspanningsnet, dit in tegenstelling tot de individuele oplossingen die als eerste een beroep doen op het laagspanningsnet en vervolgens ook het middenspanningsnet.

Optimaal temperatuurniveau

Traditioneel werkt een warmtenet op hoge temperatuur (tot 95°C) met hoge temperatuurbronnen zodat dit voor alle afnemers voldoende is . Ingrepen aan de verwarmingsinstallatie of gebouwisolatie achter de voordeur zijn niet nodig. In Apeldoorn zijn echter alleen warmtebronnen op lage temperatuur (onder 35°C) en midden temperatuur (onder 65°C) beschikbaar. Hoe lager de temperatuur van het warmtenet, des te meer bronnen direct inzetbaar zijn zonder dat het nodig is om de temperatuur met warmtepompen op te hogen. Dit leidt tot kostenbesparingen in de aanleg van het collectieve systeem en vermindering van het elektriciteitsverbruik. Ook worden de transportverliezen lager. Wel betekent het dat minder gebouwen zonder aanpassingen direct kunnen aansluiten en dat in iedere woning een apparaat moet komen dat het benodigde tapwater verwarmt. Ook beperkt een lage temperatuur van het warmtenet de mogelijkheden om warmte grootschalig te bufferen en daardoor optimaal gebruik te maken van de wisselende elektriciteitsprijzen met daardoor lagere elektriciteitskosten. Vertrekpunt van het ontwerp van de warmterotonde is dan ook een middentemperatuurnet met de mogelijkheid om op langere termijn relatief eenvoudig te transformeren naar een lagetemperatuurnet. Deze transformatie wordt mogelijk wanneer de toekomstige warmtevraag verder daalt door isolatiemaatregelen (indicatie energielabel A) en wanneer achter de voordeur aanpassingen van de warmteafgifte en de warm tapwatervoorziening mogelijk worden geacht. Zo wordt de warmterotonde toekomstbestendig. Dit betekent wel dat de aangesloten woningen een energielabel C of beter moeten hebben.

Geen gedoe achter de voordeur

De warmterotonde wordt zo ontworpen dat het ‘gedoe achter de voordeur’ minimaal is. Het plaatsen van een warmteafleverset en aansluiten op het bestaande cv-systeem volstaat, zie Figuur 3 als voorbeeld. Het warmteafgiftesysteem (radiatoren) hoeft niet meteen veranderd te worden. Het centrale verwarmingssysteem kan dus volledig intact blijven, alleen de cv-ketel wordt vervangen door een afleverset welke via nieuwe leidingen door de woning en de voortuin wordt aangesloten op het warmtenet in de straat. Wel is het nodig dat de woning goed geïsoleerd is (ter indicatie minimaal energielabel C). Niet alleen om de warmtevraag laag te houden, maar ook om een comfortabele en warme woning in de winter te hebben wanneer de warmte op middentemperatuur, dat is minimaal 65°C aan de ‘voordeur’ in geval van de warmterotonde, geleverd wordt. Deze 65°C is voldoende om te voorzien in de vraag naar warm tapwater zonder dat aanvullende voorzieningen nodig zijn.

Figuur 3: Voorbeeld van een warmteafleverset (bron: Eneco, Utrecht). Wordt geplaatst in de meterkast of op de plek van de huidige cv-ketel

Bij elke vorm van warmtetransitie, behalve groen gas, zal koken op gas tot het verleden behoren. Elektrisch koken is het devies, dit geldt ook voor woningen die aangesloten worden op de warmterotonde.

Gefaseerde en integrale uitrol

Niet alles kan tegelijk! Het ontwerp van de warmterotonde houdt hier rekening mee door de ontwikkeling op te delen in verschillende fasen. De fasering wordt daarbij niet alleen bepaald door de warmtetransitie agenda, maar ook door de ruimtelijke (onder- en bovengronds) agenda van de gemeente en de wijze waarop het elektriciteitsnet in de stad kan worden gemoderniseerd en verzwaard. Met deze integrale aanpak wordt beoogd dat meerdere aanleidingen voor stedelijke vernieuwing elkaar kunnen versterken op natuurlijke momenten. Als eerste fase kan de warmtetransitie in Kerschoten worden gezien waarmee RWZI-warmte wordt ontsloten voor de stad. De warmterotonde gaat hierop voort.

Oog voor meekoppelkansen

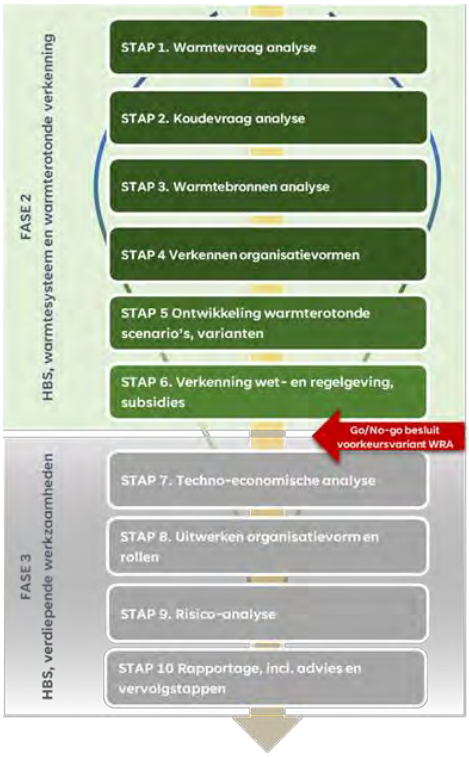
Is het mogelijk om de warmterotonde van extra betekenis te laten zijn? Ook dit is verkend in de haalbaarheidsstudie met bijzondere aandacht voor de interactie met het BSK-gebied en meer in het algemeen WKO-projecten, waarbij er behoefte is aan regeneratie. Daarnaast zijn koppelkansen met andere infrastructurele projecten (ruimtelijke programmering) in de toekomst geïnventariseerd.

Geen enkele bron uitsluiten

In dit stadium wordt geen enkele warmtebron op voorhand uitgesloten, met uitzondering van de inzet van houtachtige biomassa voor warmteproductie door verbranding welke al eerder expliciet (in het vigerende coalitieakkoord) is uitgesloten. In de loop van het proces wordt vanzelf duidelijk welke bronnen (bronnenmix) op welke manier (bronnenstrategie) worden ingezet; dit zowel bij de start van de warmterotonde als in het eindstadium wanneer de warmterotonde volledig is uitontwikkeld. Dit betekent ook dat aardgas als transitiebrandstof niet wordt uitgesloten. Het spreekt voor zich dat de inzet van aardgas tijdelijk is en tot een minimum wordt beperkt. Streven is om de warmterotonde zo snel mogelijk met alleen duurzame warmtebronnen te bedrijven.

Uitvoering van het onderzoek in drie fasen

De haalbaarheidsstudie is opgedeeld in drie fasen, zie Figuur 4. Bij aanvang was nog niet precies duidelijk wat en op welke manier onderzocht moest worden. De gemeente Apeldoorn heeft daartoe een begeleidingscommissie ingesteld met direct betrokken ambtenaren en vertegenwoordigers van betrokken partijen bij grootschalige warmtetransitie in de stad (Firan, Duurzaam Energie Perspectief, Linthorst, Liander, Omgevingsdienst Veluwe en Waterschap Vallei en Veluwe). In onderling overleg is het projectplan opgesteld, fase 1. Vervolgens is in fase 2 de verkenning in de breedte uitgevoerd. Dit resulteerde in de basisvariant van de warmterotonde. In fase 3 is deze basisvariant nader uitgewerkt, de verdieping. Stap 4 en 6 zijn tegelijk met stap 8 uitgevoerd als onderdeel van Fase 3. Stap 9 is niet separaat uitgevoerd, wel is het warmterotonde concept gebaseerd op zoveel mogelijk zekerheden, zodat de risico's bij voorbaat zoveel mogelijk zijn gereduceerd. Onzekerheden die optreden worden in het rapport benoemd waar dat relevant is.



Figuur 4: Fasering haalbaarheidsonderzoek warmterotonde. Nadat in fase 1 het werkplan is vastgesteld is het onderzoek uitgevoerd in twee fasen: de verkennende fase (fase 2) en de verdiepende fase (fase 3)

Tot slot, de dynamiek van warmtetransitie

Op dit moment bevindt de warmtetransitie zich in turbulent vaarwater. De nieuwe warmtewet (WCW) is nog niet vastgesteld. Daardoor is het nog niet geheel duidelijk hoe praktisch invulling kan worden gegeven aan de vereiste publiek/private ontwikkeling van warmtenetten. Netcongestie speelt een rol bij wat wel en niet kan. Ruimte was al schaars, maar ook bij warmtetransitie gaat dat nu een rol spelen, zeker omdat de behoefte aan seizoensopslag van warmte groeit en de kansen voor grootschalige ondergrondse warmteopslag nog niet duidelijk zijn. De kosten van stadsverwarming worden als hoog ervaren en is regelmatig een nieuwsitem. Dit geldt zowel voor de eindgebruiker die stadswarmte te duur vindt als de warmtebedrijven die aangegeven dat het niet meer lukt om een rendabele businesscase te ontwikkelen in tijden van prijsstijgingen en beleids- en wetsonzekerheid. Het subsidie instrumentarium voor collectieve warmte, inclusief het inrichten van een waarborgfonds, is nog volop in ontwikkeling. Kortom, het is een dynamische omgeving. Binnen deze context is gezocht naar een ‘robuuste’ warmterotonde waarmee duidelijk wordt wat met de warmterotonde mogelijk is en daarmee ook wat het belang van de warmterotonde is voor het welslagen van de warmtetransitie in Apeldoorn. Hoe de reis verder zal verlopen is door de dynamiek nog niet geheel duidelijk. Ook zijn er in dit stadium nog onzekerheden over de ruimtelijke mogelijkheden die maken dat nu nog niet in detail bekend is hoe de warmterotonde er precies uit kan komen te zien. Daarom is het devies om stap voor stap verder te gaan, waarbij in iedere stap de risico’s goed worden onderkend, beheerst en op de juiste manier worden verkaveld over de partijen die betrokken zijn bij de ontwikkeling van de warmterotonde.

De resultaten en inzichten uit de haalbaarheidsstudie Warmterotonde Apeldoorn kunnen behulpzaam zijn bij de bestuurlijke afweging over het vervolg van de warmtetransitie. Daarnaast helpen de inzichten bij het nationaal agenderen van de randvoorwaarden en instrumenten die nodig zijn om tot de gewenste versnelling van de warmtetransitie te komen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de opdracht en aanpak beschreven. Hoofdstuk 3 legt uit hoe de warmtevraag van de stad Apeldoorn is bepaald. In hoofdstuk 4 zijn de warmtebronnen geanalyseerd. Hoofdstuk 5 behandelt het warmtesysteem met de ontwerpfilosofie. Hoofdstuk 6 gaat in op de businesscase van de warmterotonde. In hoofdstuk 7 worden de bijzondere onderwerpen behandeld; dit zijn onderwerpen die in overleg met de gemeente bijzondere aandacht vragen. Ook is in hoofdstuk 7 een paragraaf gewijd aan de governance van de warmterotonde. Het rapport sluit in hoofdstuk 8 af met de conclusies en aanbevelingen.

2 Opdracht en aanpak haalbaarheidsstudie

De gemeente Apeldoorn heeft Royal HaskoningDHV gevraagd een studie uit te voeren om het concept van de 'Warmterotonde' op zijn haalbaarheid te onderzoeken, waarbij de gemeente zowel inhoudelijk als procesmatig wordt ondersteund. Daarom is eerst in overleg met alle betrokkenen een Plan van aanpak opgesteld waarin vier belangrijke thema's voor het onderzoek zijn onderkend: techniek, economie, organisatie en wet- en regelgeving.

Vervolgens zijn de hoofdvragen geformuleerd die worden beantwoord in de haalbaarheidsstudie 'Warmterotonde':

- Wat is de omvang en temperatuurniveau van de vraag naar warmte en koude, nu en in de toekomst, zeker en onzeker, collectief en individueel? Dus ook koeling verdient aandacht.
- Wat is het aanbod van betaalbare, grootschalige, duurzame (rest)warmtebronnen die wijk overstijgend kunnen zijn, wat is nodig om deze LT/HT-bronnen te benutten en wat is de beschikbaarheid?
- Wat zijn de mogelijkheden van seizoensopslag van warmte op lage (WKO) en hoge temperatuur (HTO)? Dit naast de gangbare buffers.
- Gegeven de (on)mogelijkheden, wat is technisch en ruimtelijk gezien de meest logische uitvoeringsvorm van de warmterotonde, wat zijn de koppelkansen en wat is de benodigde capaciteit van infrastructuur en locatie van overdrachtstations? Wat is de Base Case van het warmtenet?
- Gezien de technische uitvoering en zijn varianten en alternatieven, hoe zit de businesscase eruit, is rendabele exploitatie mogelijk?
- Gezien de technische uitvoering en zijn varianten, wat is de MCA-score, de energie en de milieuprestatie?
- Wat is de interferentie tussen de technische uitvoering, inclusief zijn varianten, en het energiesysteem i.h.b. netcongestie?
- Gezien de businesscase en wettelijke context, wat is de voor de hand liggende governance structuur en welke rol speelt de gemeente?
- Alles overziend, is het te verkiezen om een warmterotonde te bouwen of is er een beter alternatief voor warmte in Apeldoorn?
- Gegeven de nieuwe inzichten, hoe vindt verdere uitrol van de warmtetransitie plaats in de Wijken van de Toekomst met Tijdvak 1 tot 2030 (volgens TVW)?

2.1 Plan van aanpak

Het Plan van aanpak van de haalbaarheidsstudie beschrijft de voorgenomen werkzaamheden van fase 2, de verkenning van de mogelijkheden voor een warmterotonde en fase 3, de verdieping van de warmterotonde variant die als meest kansrijk wordt gezien. Dit in relatie tot alternatieven voor de duurzame verwarming van de gebouwde omgeving in Apeldoorn. Het werkplan is vastgelegd in een document en goedgekeurd door de begeleidingscommissie (bron: RHDHV). Het Plan van aanpak start met een beschrijving van relevante uitgangspunten, begrippen in relatie tot het onderzoek naar de warmterotonde en ontwerpprincipes. De beschrijving is zo SMART mogelijk uitgevoerd om zo de uitvoering van het onderzoek zo efficiënt mogelijk te laten verlopen en om te kunnen komen tot concrete resultaten waarmee besluitvorming mogelijk is.

2.2 Definities en uitgangspunten

Een overzicht wordt gepresenteerd van de definities en uitgangspunten waarop de verkenning van de mogelijkheden en het daaropvolgende ontwerp van de warmterotonde is gebaseerd en zoals vastgelegd in fase 1, werkplan. De onderwerpen worden in willekeurige volgorde behandeld.

Warmterotonde
Onder warmterotonde verstaan we een systeem voor het transport en de levering van warmte, en eventueel koude, aan de gebouwde omgeving op een dusdanige schaalgrootte dat dit buurtoverstijgend is en waarbij meerdere buurten van warmte voorzien worden. De warmterotonde bestaat uit het geheel van warmtebronnen, transport van de warmte naar de buurten, warmteopslag, warmteoverdracht, warmtedistributie in de buurten en lokale voorzieningen om een betrouwbare, kosteneffectieve en duurzame warmtelevering mogelijk te maken. De warmterotonde maakt het mogelijk om grootschalige warmte (en koude-) bronnen op verschillende plaatsen in Apeldoorn te ontsluiten, grootschalige opslag van warmte toe te passen en wijken van warmte, en eventueel koude, te voorzien die zelf over onvoldoende bronnen beschikken. De warmterotonde is een systeem, die bijdraagt aan het beter en/of goedkoper functioneren van de warmtevoorziening. Omdat het systeem flexibel en uitbreidbaar is, wordt bereikt dat duurzame warmte steeds tegen de laagst mogelijke kosten beschikbaar wordt gesteld aan de stad.

Base case of basisvariant
De base case betreft het basisontwerp van de warmterotonde waarvan verwacht wordt dat deze technisch uitvoerbaar is. Daarbij worden alleen die delen van de stad Apeldoorn van collectieve warmte voorzien die op grond van warmtevraagdichtheid, bouwkwaliteit en verwachte volloopgraad kansrijk zijn om tot een betaalbare warmtevoorziening voor de eindgebruiker en een economisch haalbare collectieve warmtevoorziening voor de exploitant te komen. Dit alles met inachtneming van mogelijke subsidies om zo de onrendabele top te verlagen.

Demarcatie
Onderzoek omvat het gehele warmtesysteem van bron tot en met de afleverset en eventuele aanpassingen in de woning om zo de vergelijking met alternatieven mogelijk te maken.

Alternatieven
Twee alternatieven voor het collectieve systeem worden onderscheiden en wel de individuele lucht/water warmtepomp en een klein collectief warmtesysteem, waarbij lokale bronnen die in de wijk of buurt aanwezig zijn worden benut; dit kan ook een grote centraal opgestelde lucht/water warmtepomp zijn.

Warmtebronnen
De warmtebronnen zijn hernieuwbaar. Onder een hernieuwbare warmtebron worden bronnen verstaan die nationaal als zodanig zijn aangemerkt (PBL, CBS). Maatgevend is daarbij dat de bronnen geen structureel gebruik maken van fossiele energie en op termijn volledig CO_2 neutraal kunnen zijn. Tot 2040, maar zo mogelijk eerder, wordt een beperkte mate van fossiel energiegebruik voor back up en/of pieklast geaccepteerd. Dit alleen voor zover er geen redelijk duurzaam alternatief voorhanden is. Minimaal wordt voldaan aan de duurzaamheidseisen uit de conceptversie van de Wet Collectieve Warmte en het bijbehorende Besluit collectieve warmte (Bcw) en de duurzaamheids- en groeiambities uit het Klimaatakkoord.

De duurzaamheidseisen zijn:

- In het concept van het Besluit collectieve warmte is sprake van maximaal 25,0 kg CO_2/GJ in 2030;
- In het Klimaatakkoord is in 2019 echter afgesproken dat de warmtebedrijven een gemiddelde CO_2-reductie realiseren van 70% in 2030 ten opzichte van een huidige cv-ketel op aardgas: dit betekent dat de collectieve warmtesector in 2030 gemiddeld niet meer dan 18,9 kg CO_2 per GJ uit mag stoten;
- Door gebruik te maken van biobrandstoffen in de warmtestations kan altijd aan de duurzaamheids-eisen worden voldaan en leidt dit tot 0 kg CO_2/GJ vóór 2040.

Reikwijdte

Het gaat om de levering van warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater. Het gaat ook om de levering van koude. Twee situaties zijn daarbij te onderkennen:

- Levering van alleen warmte via de warmterotonde. In koudebehoefte wordt individueel voorzien;
- Levering van warmte en koude via de 'warmterotonde'.

Tijdspad

Een realistisch tijdspad voor de uitrol van de warmterotonde wordt beoogd waarbij wijken in een volgorde worden aangesloten die past bij de ontwikkeling van de stad. Als mijlpalen worden gezien 2030, 2040 en 2050, waarbij 2050 als einddatum geldt voor de warmtetransitie van Apeldoorn (en de rest van Nederland). Het tijdspad (fasering) wordt deels 'inside out' bepaald, dat is een fasering die vanuit het warmtenet bezien de meest logische is. Ook wordt het tijdpad 'outside in' bepaald, dat is dat de ontwikkeling van het warmtenet gaat aansluiten op bijvoorbeeld renovatie van wijken, infrastructuur (riool) en wegen, waarbij rekening gehouden wordt met koppelkansen.

Keuzevrijheid

Rekening wordt gehouden met keuzevrijheid van eigenaren van bestaande woningen en gebouwen daar waar het gaat om de wijze van duurzame warmtevoorziening. Dit betekent dat de volloopgraad nooit 100% zal zijn, zie verder volloopgraad.

Warmteladder

Een warmteladder wordt gehanteerd. Dit geeft de voorkeursvolgorde aan van de inzet van bronnen, zowel collectief als individueel, in de gemeente Apeldoorn. De voorkeur wordt daarbij primair bepaald door de bruikbaarheid van de bron, de verwachte kosten van warmteproductie, de duurzaamheid van de bron en de maatschappelijke acceptatie.

Een eerste indicatie van de warmteladder naar brontype:

- Cruciale bronnen: Warmte uit effluent RWZI (aquathermie) en restwarmte afkomstig van bedrijven. Dit in combinatie met opslag warmte in HTO en mogelijk ook WKO;
- Wenselijke bronnen, zeker: Lokale aquathermie gevolgd door lokale lucht/water warmtepomp;
- Wenselijke bronnen, onzeker: Geothermie (diep en ondiep), zonthermie, TED en riothermie;
- Wellicht toch noodzakelijke bronnen: Diverse vormen van bio-energie, inclusief groen gas;
- Bronnen lange termijn: Waterstof of hiervan afgeleide energiedragers voor piek en back up;
- Cruciale bronnen bij koude: WKO;
- Wenselijk voor koude: afgekoeld effluent van de RWZI.

Restwarmte heeft een bijzondere positie op de warmteladder. Restwarmte is namelijk geen goed planbare en zekere bron voor de lange termijn. Bedrijfsprocessen kunnen veranderen waardoor de warmtebron afneemt in omvang en/of temperatuur. Ook kan een bedrijf verhuizen of failliet gaan. Daarom geldt bij restwarmte dat altijd een betaalbare fall back optie aanwezig moet zijn om zo de

continuïteit van de warmtelevering te waarborgen. Is de fall back optie aanwezig dan mag restwarmte met prioriteit worden benut. Restwarmte wordt als een duurzame bron gezien als het niet gebruiken van deze bron ertoe leidt dat actief wegkoelen naar lucht of water nodig is. Het doet er daarbij niet toe of de restwarmte van fossiele of duurzame oorsprong is. Het benutten van restwarmte leidt direct tot een substantiële CO_2-reductie aan de vraagkant zonder dat de CO_2-productie aan de bronkant toeneemt. Wel geldt dat bij restwarmte van fossiele oorsprong er uitzicht moet zijn op de overgang naar duurzaam, anders is deze bron niet als toekomstbestendig aan te merken.

Voor geothermie geldt dat de geothermische warmte weliswaar duurzaam is maar dat bij de winning aardgas kan vrijkomen. Dit aardgas moet worden opgevangen en het ligt voor de hand om het aardgas in te zetten als brandstof in een warmteketel en de warmte vervolgens te leveren aan het warmtenet. Naarmate de geothermieput langer in bedrijf is, zal de aardgasproductie afnemen. Vooralsnog wordt verondersteld dat deze bijvangst voor de gemeente Apeldoorn acceptabel is en dat daarmee geothermie een wenselijke bron is.

Bio-energie wordt alleen ingezet als het echt niet anders kan. Dit is het meest waarschijnlijk bij het leveren van piekwarmte en back up warmte. Onderzocht wordt in hoeverre de inzet van bio-energie is te vermijden door het inzetten van (lokale) warmteopslagsystemen die de rol van piek en back up warmte kunnen vervullen. Gemeente Apeldoorn heeft in het vigerend coalitieakkoord aangegeven verbranding van houtachtige biomassa (houtsnippers, houtpellets) als onderdeel van nieuwe warmtesystemen niet toe te willen staan, bovendien wordt het sinds kort niet langer ondersteund vanuit de SDE++ regeling. Voor bio-energie geldt dat daar waar de brandstof (groen gas, bio-olie, hout etc.) verbrand wordt er CO_2, NOx en vaak ook fijn stof vrijkomt. De CO_2 is echter kortcyclisch van karakter en draagt daardoor op lange termijn niet bij aan een toename van het broeikasgaseffect. NOx is wel een aandachtspunt in het kader van de stikstofbelasting van Natura 2000 gebieden en tot slotkunnen zowel NOx als fijn stof invloed hebben op de luchtkwaliteit[6].

Idealiter worden de beschikbare bronnen als volgt verdeeld:
- Basislast: RWZI-warmte, geothermie en zonthermie, i.c.m. HTO;
- Midlast: Restwarmte, luchtwarmte, bodemwarmtepompen en aquathermie i.c.m. WKO;
- Piek en back up: vormen van bio-energie, gasvormige en vloeibare energiedragers;
- Opslag: WKO, HTO en MTO.

De merit order[7] wordt bepaald door de bron die (op een willekeurig moment) de goedkoopste warmte kan produceren voor directe levering en/of vullen van opslag. In basislast worden vooral die bronnen ingezet die hoog in CapEx en laag in OpEx zijn. Bij op grote schaal gebruik maken van energieopslag verschuift de inzet van de verschillende bronnen. De goedkopere basislastbronnen worden dan beter benut en de inzet van duurdere pieklastbronnen teruggedrongen.

Een indicatie van prioritering bronnen naar afstand en plaats, gericht op het beperken van investeringen in hoofdtransportleidingen:
- Bronnen nabij een afnemer hebben de voorkeur, indicatie binnen een km;
- Bronnen op een aanzienlijke afstand van de afnemer hebben niet de voorkeur, tenzij het hele grote bronnen zijn.

[6] Het Schone Lucht Akkoord zet zich o.a. in voor de terugdringing van fijn stof emissies, 90 gemeenten hebben dit akkoord ondertekend. De gemeente Apeldoorn niet. Zie https://www.schoneluchtakkoord.nl/schone-lucht-akkoord/deelnemers/
[7] Volgorde waarin de warmtebronnen worden ingezet bij toenemende warmtevraag.

Een indicatie van de prioritering van bronnen naar tijd, gericht op het beperken van investeringen in opslagcapaciteit: Bij dezelfde prijs en milieuprestaties hebben regelbare bronnen waarbij de geleverde warmte het vraagpatroon direct kan volgen de voorkeur boven bronnen waarbij warmte in meer of mindere mate moet worden opgeslagen. Er moet dus sprake zijn van milieutechnische of kostentechnische voordelen om deze bronnen in combinatie met opslag toch de voorkeur te geven (bijvoorbeeld door beperking van de inzet van een warmtepomp bij lage of negatieve E-prijzen in combinatie met opslag van warmte).

Een indicatie van prioritering bronnen naar temperatuur, gericht op het aanbieden van warmte van voldoende hoge temperatuur om comfortabele verwarming van woningen mogelijk te maken:

- Bronnen die direct inzetbaar zijn zonder tussenkomst van een warmtepomp hebben de voorkeur. Dat zijn bronnen met een temperatuur van minimaal 70°C;
- Bronnen waarbij inzet van een warmtepomp nodig is, hebben niet de voorkeur. In combinatie met warmtepomp gaat de voorkeur uit naar bronnen met een zo hoog mogelijke temperatuur, omdat de warmtepomp dan efficiënter kan werken. Zo gaat benutting van restwarmte uit het effluent van een RWZI boven benutting van warmte uit buitenlucht, omdat buitenlucht (juist wanneer er veel warmte nodig is) een lage temperatuur heeft.

Een indicatie van prioritering bronnen naar aandeel, gericht op het kunnen voorzien in de vraag naar warmte met een zo eenvoudig mogelijk systeem:

- Bronnen met een grote capaciteit hebben de voorkeur om ingezet te worden als onderdeel van de warmterotonde, indicatie boven de 0,1 PJ[8]; Warmtebronnen worden bij voorkeur aangesloten op de warmterotonde, zodat de geproduceerde warmte door de hele stad kan worden gebruikt;
- Bronnen met een kleine capaciteit worden bij voorkeur ingezet in de lokale warmtevoorziening en maken zo onderdeel uit van het distributienet. Dit is vooral aantrekkelijk als de minimale vraag in dat distributienet altijd zo groot is dat de (rest)warmte daar altijd wel kan worden afgezet, of wanneer de backbone te ver weg is van de (rest)warmtebron.

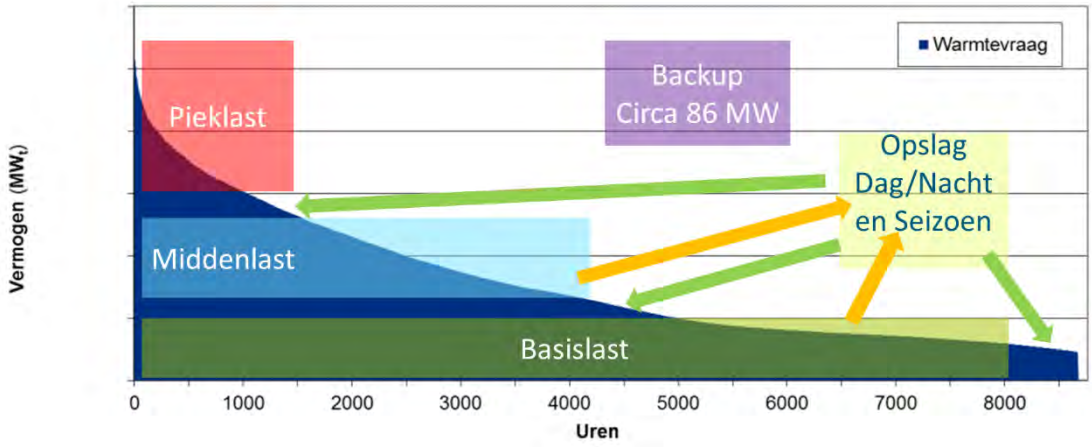
Power to Heat

Verondersteld wordt dat power to heat, dat is het toepassen van elektriciteit voor de productie van warmte, met een zo hoog mogelijk COP[9] wordt uitgevoerd. Dus het toepassen van elektrische boilers met COP van 1 is niet voorzien. Wel het toepassen van warmtepompen met een COP van 3 of meer en geothermie met een COP van ongeveer 15.

Peak load en back up bronnen

Streven is om elke bron in zijn optimale werkpunt (sweet spot=werkpunt waarin het systeem optimaal werkt en de langste levensduur heeft) te gebruiken leidend tot lage kosten en een lage milieubelasting. Ook om het hoofdtransportsysteem (backbone) zo intensief mogelijk te gebruiken (veel vollasturen en inzet op maximale capaciteit bij minimaal druk- en warmteverlies). Dit maakt dat de warmte tegen lage kosten geleverd kan worden aan warmteclusters en dat de systeemverliezen beperkt blijven. Dit vereist dat er naast basislast en middenlast bronnen ook pieklast bronnen nodig zijn, zo ook noodwarmtevoorzieningen (opslag, productie) in het geval van een calamiteit (back-up), zie Figuur 5.

[8] *1 PJ = 1.000 TJ = 1.000.000 GJ*
[9] *COP: Coefficient of Performance, prestatiefactor. Geeft aan hoeveel delen nuttig toepasbare warmte worden geproduceerd met een deel elektriciteit*



Figuur 5: Warmtevraag versus de dekking van deze vraag met verschillende typen warmtebronnen. Warmteopslag is in staat om het overschot van een bron te absorberen om dit vervolgens op een later moment weer in te zetten. Zo is minder warmtebron-vermogen nodig in middenlast en pieklast. De warmtevraag in donkerblauw is hoog in de winter (links in figuur) en laag in de zomer. In de zomer blijft een warmtevraag aanwezig, betreft warm tapwater voorziening

Omdat de piek- en back up bronnen niet vaak gebruik worden komen deze het best tot hun recht als zij in het warmtecluster zelf geplaatst worden en waar mogelijk, voor zover de capaciteit het toelaat, via de warmterotonde gedeeld worden. De piek- en back up bronnen maken onderdeel uit van het warmteoverdracht station dat daarom ook wel hulpwarmtecentrale (HWC) wordt genoemd. Kenmerkend voor deze bronnen is dat zij laag in CapEx en relatief hoog in OpEx zijn. Duurzame bronnen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn bijvoorbeeld bio-olie, bio-LNG en groen gas. Afhankelijk van de capaciteit kan warmteopslag de rol van pieklast (dag/nacht opslag) en middenlast (seizoensopslag) voor zijn rekening nemen. Dit werkt alleen als deze bronnen voldoende overcapaciteit hebben die bij regulier bedrijf niet benut wordt.

Capaciteit backbone

De capaciteit van de hoofdtransport infrastructuur wordt bepaald door in ieder geval de basislast, plus zo mogelijk een deel van de middenlast warmtevraag, dit geoptimaliseerd in combinatie met de mogelijkheden van warmteopslag. Voorkomen moet worden dat de backbone te veel overgedimensioneerd worden om zo hoge kosten te vermijden. Onderdimensionering moet ook worden vermeden omdat dan de volledige ontsluiting van de grootschalige bronnen niet mogelijk is.

Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat de backbone overal door de stad dezelfde diameter heeft en op termijn als ringleiding kan worden uitgevoerd. Daarmee wordt bereikt dat overal in de stad dezelfde mogelijkheden ontstaan voor inkoppeling van nieuwe warmtebronnen en de leveringszekerheid wordt gegarandeerd, ook bij eventuele uitval van een deel van de backbone (bijvoorbeeld bij gepland onderhoud) omdat in dat geval warmte via een omweg kan worden aangeleverd.

Aardgasnet

Verondersteld wordt dat het aardgasnet voor de individuele afnemers in de warmteclusters, die gekoppeld zullen worden aan de warmterotonde, zal worden uitgefaseerd op het moment dat collectieve warmtelevering een feit is. De levering van aardgas of enige andere vorm van gas via een leidingsysteem is dan niet meer mogelijk. Als collectieve warmtebron zal aardgas zo beperkt mogelijk worden ingezet. Tijdens de bouw en overgangsfase (indicatie 3 jaar) kan dit nog substantieel zijn, na opname van de belangrijkste duurzame warmtebronnen in het systeem alleen nog als piek- en backup

voorziening voor zover er geen duurzame alternatieven voorhanden zijn. De inzet van aardgas is verder mede afhankelijk van politieke besluitvorming. Op termijn (2050) zal aardgas uitgefaseerd moeten worden om zo te komen tot een klimaatneutraal warmtenet.

Zonnewarmte

Zonnewarmte (zonnecollectoren, zonthermie) kan een substantiële warmtebron zijn. Dit kan in de vorm van een zonneveld maar ook als zon op dak (bijv. PVT) waarbij teruglevering van zonnewarmte mogelijk is, inclusief de opslag van deze warmte in een WKO of HTO. Het ligt niet voor de hand dat elektriciteit uit zonPV systemen direct (elektrische boiler) of indirect (warmtepomp) wordt gebruikt voor de productie van warmte, deels omdat het niet effectief is deze hoogwaardige energiedrager te gebruiken voor de productie van laagwaardige warmte (wat resulteert in een hogere kostprijs en groter ruimtebeslag) en deels omdat hoge warmtevraag optreedt op momenten van lage productie uit zonPV. Wel kan juist in de zomer lokaal opgewekte elektriciteit uit zonPV worden benut voor de productie van koude met behulp van airco's.

Waterstof

Het ligt niet voor de hand om waterstof als brandstof in te zetten in de warmterotonde, zeker niet vóór 2040. Beperkte beschikbaarheid en zeer hoge kosten zijn hier debet aan. Zo waterstof al wordt ingezet dan in brandstofcellen (WKK) waarbij de restwarmte wordt benut. Ook heeft het de voorkeur om waterstof in te zetten in hoogwaardige toepassingen in de industrie waar geen andere alternatieven voorhanden zijn[10].

Rendementen en energieverlies

Gewerkt wordt met de gangbare bedrijfsparameters voor warmtebronnen qua technische prestaties en kosten. Het gaat daarbij om jaargemiddelde COP-waarden, warmteproductie per eenheid van oppervlakte, verliesfactoren bij warmtetransport en warmteopslag. De waarden die nu 'stande der techniek' zijn worden gebruikt. Zo is een belangrijke waarde een warmteverlies van naar verwachting jaargemiddeld 20% in het leidingsysteem van bron tot afnemer.

Elektriciteitsluw

Een van de ontwerpparameters is het elektriciteitsluw ontwerpen van het warmtesysteem. Dit betekent dat zo min mogelijk een beroep wordt gedaan op de capaciteit van het openbare elektriciteitsnet op kritische momenten. De maatgevende bedrijfssituatie is daarbij het 'Dunkelflaute' moment in de winter waarbij de temperatuur op -10°C ligt. Praktisch betekent dit dat elektrische boilers alleen worden ingezet op tijdstippen waarbij er sprake is van een hoog aanbod van duurzame elektriciteit in combinatie met lage of negatieve prijzen. Ook dat warmtepompen, welke juist op momenten moeten leveren bij netsituaties met hoge prijzen, bij voorkeur gebruikmaken van bronnen met een relatief hoge temperatuur en warmtepomptechnieken met een hoge COP. Ook warmteopslag op hoge temperatuur gaat helpen om de elektriciteitsvraag van het warmtesysteem op ongunstige momenten terug te dringen.

[10] Waterstofladder Natuur & Milieu (2023), https://natuurenmilieu.nl/themas/energie/waterstof/waterstof-de-waterstofladder/ Minister De Jonge heeft op 20 juli 2023 een brief gestuurd aan alle gemeenten over 'Verduurzaming van de gebouwde omgeving'. Hierin doet hij de volgende oproep aan gemeenten: "Het is belangrijk om te benadrukken dat waterstof én groen gas, zelfs na 2030, slechts in beperkte mate beschikbaar zullen zijn voor het verwarmen van gebouwen. Mocht u groen gas of waterstof als transitiestrategie in uw Transitie Visie Warmte (TVW) hebben opgenomen, dan adviseren wij u dit voornemen waar mogelijk te wijzigen in een andere duurzame bron"

Netcongestie
Rekening wordt gehouden met de netcongestiesituatie die in en rondom Apeldoorn aanwezig is en wordt verwacht in het komende decennium. Het gaat daarbij om de recente inzichten uit de investeringsplannen van de netbeheerder Liander, inclusief de afstemming met Liander over wat wel en niet mogelijk is. Oplossingen worden gezocht zodat er voldoende elektriciteit voorhanden is voor de warmtevoorziening terwijl dit niet nadelig uitwerkt voor netcongestie. Netcongestie kan de fasering van de uitrol van de warmterotonde beïnvloeden. Grote collectieve batterijen kunnen een rol spelen bij het voorkomen van netcongestie en bij het optimaal gebruik maken van lage E-tarieven, deze optimalisatie ligt buiten de scope van het onderzoek.

Koude
De mogelijkheden voor levering van koude via het warmtenet wordt meegenomen. Twee varianten zijn daarbij denkbaar: op het niveau van het distributienet in het warmtecluster of op het niveau van de warmterotonde. Een specifieke collectieve variant kan de uitkoppeling van collectieve koude vanaf de RWZI zijn. Deze vorm van centrale koude levering wordt vergeleken met de individuele vorm van koudelevering per gebouw. Koude kan alleen worden geleverd als het koude afgifte systeem in een woning of gebouw daarvoor geschikt is. Vastgesteld wordt in hoeverre met koudelevering van meet af aan rekening moet worden gehouden, inclusief de daarbij behorende voorinvesteringen, of dat koudelevering ook op een later moment kan worden toegevoegd aan het warmtesysteem.

Klimaatverandering
Het meest waarschijnlijke scenario (KNMI) voor klimaatverandering wordt meegenomen in het onderzoek. Dit door de verandering in het aantal graaddagen (warmte) en zomerse dagen of koeldagen (koude) te bepalen als functie van de tijd. Door deze verandering daalt de warmtevraag en neemt de vraag naar koude toe. Op de afnemende vraag naar warmte (ook door energiebesparing) willen we anticiperen door de dimensionering van de warmterotonde. Zo wordt voorkomen dat structurele overcapaciteit ontstaat met alle kosten van dien. Overcapaciteit, wanneer die toch mocht ontstaan, wordt opgevangen door ‘overloop warmteclusters’ te onderkennen. Dit zijn warmteclusters die in eerste instantie niet aangesloten worden maar mogelijk in tweede instantie wel. Voor deze clusters geldt dat de warmtetransitie via de hybride warmtepomp verloopt naar uiteindelijk een definitieve vorm van duurzame warmtevoorziening.

Definitie graaddag
Het aantal graaddagen wordt bepaald door het aantal graden dat de gemiddelde etmaaltemperatuur van de dag onder de 18°C ligt. Door dit van meer dagen op te tellen krijg je het aantal graaddagen van een maand of een jaar. Hoe hoger het getal, hoe kouder dat jaar was.
Een graaddag is gedefinieerd als referentietemperatuur (18°C) minus de gemiddelde temperatuur over de gehele dag, geminimaliseerd op 0. De gemiddelde temperatuur over een dag is in Nederland typisch gemeten bij het KNMI in de Bilt. Als de gemiddelde temperatuur over een bepaalde dag 10 graden Celsius was, dan heeft die dag een equivalent van 8 graaddagen. Als de gemiddelde temperatuur hoger

ligt dan de referentietemperatuur (bijvoorbeeld 20 graden), dan is er typisch geen verwarming nodig; het aantal graaddagen is dan 0 (en niet -2).

Definitie koeldag of zomerse dag

Een zomerse dag heeft een temperatuur van 25°C of hoger. Het aantal koeldagen is gelijk aan de som van afwijkingen ten opzichte van 1 ˚C voor alle dagen met een gemiddelde temperatuur van 17 ˚C of meer; een daggemiddelde temperatuur van bijvoorbeeld 19˚C voegt twee koeldagen toe (bron: KNMI). Een koeldag is een maat voor de koelbehoefte op een specifieke plaats. In Nederland is een koeldag gedefinieerd als de gemiddelde dagtemperatuur minus de referentietemperatuur mits groter dan nul. De referentietemperatuur is gesteld op 17 °C. Op jaarbasis worden koeldagen gesommeerd.

Warmteclusters

Gewerkt wordt met warmteclusters, dit is een afgebakend gebied waarbij de warmtevraag in combinatie met ruimtelijke en technische factoren dusdanig is dat het zich leent voor ontsluiting door een collectieve warmtevoorziening. Een warmtecluster kan dus groter zijn dan een buurt, maar ook kleiner en ook meerdere buurten overlappen. Met behulp van de SETuP [11] analyse wordt bepaald welke warmteclusterindeling logisch is voor Apeldoorn. Daarna volgt een verfijning in overleg met de gemeente die rekening houdt met alle van belang geachte factoren.

Volloopgraad

De volloopgraad geeft aan welk percentage van de in een warmtecluster aanwezige warmteafnemers naar verwachting uiteindelijk worden aangesloten op het warmtenet. Het uitgangspunt is een volloopgraad van 90%. Per warmtecluster wordt vastgesteld, gezien de opbouw van dit cluster, wat als een realistisch geachte volloopgraad wordt gezien. Als ondergrens wordt gezien een volloopgraad van 80%. Bij een lager percentage verslechtert de haalbaarheid van een warmtenet snel. Door de volloopgraad te begrenzen op 90% wordt aan inwoners tot op zekere hoogte keuzevrijheid geboden om voor een individuele oplossing te gaan op basis van veelal een lucht/water warmtepomp.

Volloopsnelheid

De volloopsnelheid heeft betrekking op een warmtecluster en geeft aan hoelang het duurt voordat een cluster met warmteafnemers in zijn geheel is aangesloten. De volloopsnelheid wordt per warmtecluster vastgesteld en kan variëren van 1 tot 5 jaar. De richtlijn van 1 jaar geldt voor het lokale distributienet achter de WOS, 3 jaar voor het distributienet in een warmtecluster van beperkte omvang (tot 30 MWth) en 5 jaar in een warmtecluster van grote omvang (boven de 30 MWth). Op het moment van de eerste aansluiting kan met een tijdelijke lokale vorm van warmtevoorziening (aardgas) worden gewerkt. Op het moment van de laatste aansluiting zal de warmte uit de warmterotonde en hulpwarmtecentrale volledig beschikbaar zijn. Het moment waarop de overstap van lokaal aardgas naar collectief plaatsvindt wordt per warmtecluster bepaald.

Brononzekerheid

Bronnen kunnen om twee redenen onzeker zijn. Ten eerste omdat er nog onvoldoende bekend is over de eigenschappen van de bron, ten tweede omdat het onzeker is of de bron op de lange termijn nog beschikbaar is. Onder de eerste categorie vallen de bronnen die gebruik maken van de ondergrond

[11] *SETuP is de digitale tool die RHDHV gebruikt om gedetailleerde en warmtevraag analyses uit te voeren. Dit als functie van plaats, type woning of gebouw, energielabel en verwachte energiebesparing*

(geothermie). Nader onderzoek is hier nodig, eventueel aangevuld met onderzoeksboringen[12], om voldoende zekerheid te krijgen over locatie en capaciteit. Onder de tweede categorie valt restwarmte.

In de benadering van het onderzoek wordt in de basisvariant alleen van de zekere bronnen uitgegaan. Onzekere bronnen worden als een upside gezien welke de haalbaarheid kan verbeteren als uit nader onderzoek blijkt dat de kosten en beschikbaarheid gunstig uitvallen. Restwarmte wordt verder alleen meegenomen als een fall back bron is onderkend. Als fall back bron wordt de collectieve lucht/water warmtepomp en mogelijk ondiepe geothermie of lokale aquathermie aangemerkt. Fall back op langere termijn zou ook het verder kunnen ontwikkelen van geothermie zijn. De mate waarin dit mogelijk is, is nu nog onduidelijk.

Geothermie

Voor geothermie geldt dat dit niet een oneindige bron voor warmtewinning is. Deels komt dit voort uit de eindige technische levensduur van de boring. Maar belangrijker is het thermisch uitputten van de ondergrond. De snelheid waarmee uitputting optreedt is een onzekere factor, de ervaring in Nederland met geothermie is daarvoor nog te beperkt. Wij doen dit door de benutbare geothermische dichtheid te halveren ten opzichte van het onderkende potentieel. Zo kan een bron thermisch herstellen terwijl tegelijkertijd een andere bron thermisch benut wordt. Als thermische levensduur zien wij een periode van 25 jaar.

Hoge Temperatuur Opslag (HTO)

Voor de warmterotonde is hoge temperatuur warmteopslag, dat is opslag op een temperatuur van rond de 70°C[13], een sleuteltechnologie welke een grote impact kan hebben op de duurzaamheid en betaalbaarheid van de warmtelevering, omdat daarmee warmte welke in de zomer goedkoop kan worden opgewekt, beschikbaar kan worden gemaakt voor inzet in de winterperiode. Er is echter nog relatief weinig ervaring met HTO in Nederland, een voorbeeld waarvan wel informatie beschikbaar is betreft het HTO-project in Middenmeer[14]. Omdat nu nog onzeker is of en in welke mate HTO mogelijk is in Apeldoorn wordt hier vooralsnog niet mee gerekend in de basisvariant.

Lage temperatuur opslag (WKO)

Voor benutting van warmtebronnen met een relatief lage temperatuur zoals aquathermie en restwarmte uit de industrie gedurende het stookseizoen is grootschalige ondergrondse opslag op lage temperatuur of middentemperatuur in aquifers wenselijk. Vastgesteld zou moeten worden of het opslagpotentieel aansluit bij de behoefte. Vanwege de lage temperatuur waarop een WKO opereert en de middentemperatuur waarop de warmterotonde opereert maakt WKO geen onderdeel uit van de warmtevoorziening via de warmterotonde. Wel kan de warmterotonde worden gebruikt om WKO's te regenereren.

Energiebesparing

Ook bij stadsverwarming blijft energiebesparing en terugdringen van de warmtevraag cruciaal. Dit is om twee redenen van belang: ten eerste leidt een lage warmtevraag tot een lage energierekening, daarbij

[12] *Recent heeft EBN laten weten dat er voorlopig geen onderzoeksboring zal plaatsvinden in de directe omgeving van Apeldoorn stad*

[13] *Gesproken wordt van hoge temperatuuropslag omdat, in tegenstelling tot de gangbare WKO waarbij warmte op een temperatuur van 15°C wordt opgeslagen, de warmte op een relatief hoge temperatuur kan worden opgeslagen. De techniek is vergelijkbaar met WKO, een geschikte aquifer in de ondergrond wordt benut. Door de opslag op hoge temperatuur is geen tot minimale inzet van de warmtepomp nodig om de warmte als nuttige warmte in te zetten*

[14] *Zie https://iftechnology.nl/kennisbank/hoge-temperatuur-opslag-bij-ecw-in-middenmeer/ en https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2023/05/1jun2023_Potentieonderzoek_HTO_EBN_IF_Technology_-Rotterdam_Den_Haag_-Leidse_Regio.pdf.pdf*

aangetekend dat lage vraag wel kan leiden tot hoger vastrecht en een hogere GJ-prijs. Ten tweede maakt een lagere vraag de inzet van beperkt beschikbare warmtebronnen mogelijk in een groter gebied leidend tot meer aansluitingen. Warmtebedrijven gaan altijd uit van enige mate van energiebesparing zodat met meer zekerheid duidelijk wordt hoeveel warmte op termijn daadwerkelijk verkocht kan worden. Een lagere vraag maakt vaak ook dat de aanvoertemperatuur van de geleverde warmte beperkt kan blijven, zodat een breder aanbod van warmtebronnen kan worden ingezet en de warmteproductie efficiënter kan worden uitgevoerd. Het stimuleren van het gebruik van lage temperatuur afgiftesystemen kan hieraan bijdragen. Minder warmteafzet betekent overigens ook dat de specifieke kosten van de investering in het warmtenet per GJ toenemen. Er wordt van uitgegaan dat in de bestaande bouw uiteindelijk alle woningen en gebouwen minimaal energielabel C worden, zo mogelijk energielabel B.

Betaalbaar

Randvoorwaarde is een betaalbare warmtevoorziening: dat is betaalbaar voor inwoners met een lager inkomen. Vanuit nationaal perspectief kan worden belicht wat onder betaalbaar moet worden verstaan. Als maatschappelijk aanvaardbare kosten voor duurzame verwarming wordt een bedrag van € 2.328 per jaar gezien, waarbij de kosten niet meer bedragen dan 9% van het gestandaardiseerd besteedbaar inkomen (kosten inclusief BTW en overige belastingen, prijspeil 2023). Betaalbaar wil niet zeggen dat er geen subsidie nodig is voor de initiële investeringen om zo tot een economisch aantrekkelijk project te komen voor de investeerders.

Energiearmoede

De warmterotonde moet bijdragen aan het terugdringen van energiearmoede, dat is die situatie waarin een eindverbruiker een substantieel deel van zijn inkomen, meer dan 9%, kwijt is aan de kosten van verwarming. De warmtevoorziening moet dan ook altijd worden gezien i.c.m. het terugdringen van de warmtevraag door isolatie en bewonersgedrag. Het belang van dit laatste zal worden benadrukt in het onderzoek, maar niet worden uitgewerkt. Andere gemeentelijke acties en instrumenten moeten hierin voorzien; zo ook rijksinstrumenten en wetgeving die een meer gedifferentieerde tariefstelling mogelijk maken. Tijdens het onderzoek moet duidelijk worden hoe koppeling mogelijk is met het thema energiearmoede en of dit bijvoorbeeld invloed heeft op de fasering.

Betrouwbaarheid en leveringszekerheid

Onder betrouwbaar (= levering zeker) wordt in dit kader de technische betrouwbaarheid verstaan in de dagelijkse operatie. Kunnen warmteafnemers erop vertrouwen dat onder alle omstandigheden de warmtevoorziening in de vraag naar warmte voorziet? Dit betekent dat het systeem zo robuust gebouwd moet worden dat dit daadwerkelijk het geval is, zonder dat daarin overdreven wordt met alle kosten van dien. Bij het ontwerp van het warmtesysteem worden de ontwerpregels gehanteerd die gangbaar zijn voor grote warmtenetten om tot een betrouwbaar systeem te komen. Dit betekent praktisch dat in een warmtecluster, mits technisch uitvoerbaar, er voldoende voorzieningen moeten komen voor piek, back-up en opslag. De N-1 benadering wordt daarbij gehanteerd: als het grootste systeemonderdeel onvoorzien uitvalt dan blijft de warmtevoorziening nog in stand. Daarnaast wordt groot onderhoud in de zomer gedaan op momenten dat de warmtevraag laag is, er is dan altijd voldoende capaciteit beschikbaar om in de vraag te voorzien in koude perioden.

Toekomstbestendig

Onder toekomstbestendig wordt in dit kader verstaan dat het ontwerp van de warmterotonde dusdanig robuust is dat geen voortijdige wijzigingen of aanpassingen nodig zijn. Dit geldt voor de techniek en voor de organisatievorm. Toekomstbestendig wil ook zeggen dat ‘lock in’ situaties voorkomen worden. Voortijdig afschrijven van productiemiddelen moet voorkomen worden. Voorkomen moet worden dat

systeemcomponenten onnodig worden overgedimensioneerd. Evenzo moet onderdimensionering worden voorkomen, waarbij dure tijdelijke maatregelen nodig zijn om dit op te lossen. Een toekomstbestendig systeem kan dus meegroeien met de tijd en maakt dat de totale kosten laag en voorspelbaar zijn en blijven.

Stikstof en fijn stof, emissies naar lucht

Het warmtesysteem moet emissie-arm worden uitgevoerd. Dit betekent dat alleen bronnen worden toegepast die niet leiden tot significante luchtvervuiling en stikstofdepositie. Verbrandingsprocessen zijn daarbij in het nadeel. Alleen als het echt niet anders kan en dan met 'state of the art' rookgasreinigingstechnieken wordt warmteproductie door verbranding toegestaan, dit voor een zo beperkt aantal draaiuren.

Warmtekrachtkoppeling

Het toepassen van WKK met als doel de productie van elektriciteit en warmte heeft niet de voorkeur. Dit omdat de WKK-technieken overwegend op verbranding zijn gebaseerd met alle emissies van dien. Ook omdat de warmteproductie vaak een afgeleide is van de elektriciteitsproductie. Wanneer er warmte beschikbaar komt uit WKK's van derden is het wel zaak deze warmte zo goed mogelijk te benutten, zo nodig in combinatie met warmteopslag. Toepassen van brandstofcellen als emissieloze WKK-techniek op basis van waterstofoverschotten is mogelijk op lange termijn (na 2050) wel een optie.

Overige broeikasgassen en ozonlaag

De emissie van overige broeikasgassen moet worden voorkomen. Dit betekent dat 'state of the art' koelmiddelen worden gebruikt in de warmtepomp met een lage broeikasgas impact, zo mogelijk nul. Ook moet de weglek van methaan worden voorkomen bij het toepassen van geothermie.

Veilig

Het systeem moet boven alles veilig zijn. Dat betekent dat bouw en bedrijfsvoering plaatsvindt volgens de gangbare normen. In dit opzicht heeft collectieve warmtevoorziening een aantal intrinsieke voordelen ten opzichte van het gebruik van aardgas of een andere brandstof achter de voordeur. De veiligheidsrisico's zijn het grootst in relatie tot de bronnen. Deze risico's zullen worden benoemd in het onderzoek, inclusief de mitigatie maatregelen. Door de afwezigheid van individuele gasketels bij kleinverbruikers wordt het risico op explosie of CO-vergiftiging gemitigeerd.

Vijfde generatie warmtenet

Het streven is om de warmterotonde minimaal als een vierde generatie warmtenet uit te voeren. Dat is een warmtenet op middentemperatuur met levering op maximaal 70°C 'aan de voordeur' waarbij zoveel mogelijk laagwaardige warmtebronnen nuttig worden aangewend. De vierde generatie is de basisvariant. De mogelijkheden van de vijfde generatie[15] of (Z)LT-net (bronnet) worden verkend waarbij ook koudelevering mogelijk wordt, naast centrale ook decentrale bronnen worden ingezet, waarbij warmte en koudeopslag op grote schaal plaatsvinden en waarbij de temperatuur van warmtelevering vergaand wordt verlaagd. In het onderzoek zal worden beschouwd wat de consequenties zijn van levering van warmte aan woningen op lage temperatuur. Daarbij wordt in het bijzonder gedacht aan de productie van warm tapwater met behulp van een warmtepompboiler of boosterwarmtepomp. Globaal wordt bepaald wat per saldo het voordeel is voor de warmtevoorziening, dit als onderdeel van de vijfde generatie verkenning.

[15] *https://www.nplw.nl/technieken/warmtenet/5e+generatie+warmte-+en+koudenetten/default.aspx*

Businesscase
De businesscase benadering sluit aan op de wijze waarop deze in Kerschoten wordt gehanteerd. Het gaat daarbij om de uitgangspunten, de financiële parameters en de wijze van businesscase analyse op de lange termijn, zodat de nadelen van mogelijk hogere initiële kosten van een efficiëntere uitvoeringsvariant kunnen worden afgewogen tegen hierdoor gerealiseerde besparing van energie en kosten op de langere termijn. CapEx, OpEx en DevEx worden voor de warmterotonde op maat bepaald voor de basisvariant.

Eigendom en sturing
De optimale inrichting qua eigendom en aansturing van de warmterotonde (governance) wordt niet bij voorbaat vastgelegd, maar maakt onderdeel uit van het onderzoek. Het gaat daarbij in het bijzonder of en in welke mate de gemeente de eigenaar zou moeten zijn van de warmterotonde en welke voordelen dit brengt voor de eindgebruiker qua kosten, leveringszekerheid en duurzaamheid. Ook de wenselijkheid of noodzakelijkheid van het voeren van centrale regie op de inzet van bronnen en opslag zal hierbij worden betrokken. De betrokkenheid van het GWIB[16] en andere stakeholders in Kerschoten wordt meegewogen in het nader uitwerken van de eigendomsverhoudingen. Vertrekpunt is dus de wijze waarop dit nu wordt ingericht voor het warmtenet Kerschoten. Rekening wordt gehouden met de nieuwste ontwikkelingen rond de warmtewet (WCW).

Nauwkeurigheid
Waar onnauwkeurigheden of onzekerheden optreden, wordt dit expliciet vermeld in het onderzoek. Ook wordt een indicatie gegeven van de omvang. In de gevoeligheidsanalyse kan dit vervolgens worden meegenomen. In dit stadium is de nauwkeurigheid nog laag. De kwantitatieve inzichten, technisch en financieel, worden vooral gebruikt voor onderlinge vergelijking van de mogelijkheden.

Subsidies
In De businesscase wordt bij de basisvariant alleen rekening gehouden met subsidies op de warmtebron (ISDE, SDE++). De businesscase bepaalt de onrendabele top (OT) na verdiscontering van alle zekere inkomstenbronnen en uitgaande van een BAK van € 5.600. Bepaald wordt in hoeverre de subsidies voldoende zijn om de onrendabele top te compenseren. De belangrijke subsidievormen die worden onderkend zijn: SDE++ subsidie voor warmtebronnen, warmtenetten investeringssubsidie (WIS), subsidie voor energiebesparing in woningen en gebouwen, ISDE voor afleverset[17] en warmtepomp[18] voor particulieren en SAH-subsidie voor verhuurders[19]. Afhankelijk van de situatie kunnen de subsidies wel of niet (tegelijk) van toepassing zijn. Naast subsidies is op dit moment het Waarborgfonds Warmtenetten in ontwikkeling waardoor de inbreng van 10% eigen vermogen volstaat en de rentelasten aanzienlijk kunnen worden verlaagd.

Nieuwbouw
De warmterotonde is primair bestemd voor de warmtetransitie in de bestaande bouw. Toch is het voorstelbaar dat aansluiten van nieuwbouw op de warmterotonde een win win kan zijn. Aansluiting kan dan bijvoorbeeld op de retour van de warmterotonde plaatsvinden. Zo wordt warmte op lage temperatuur geleverd aan de wijk, bijvoorbeeld voor balancering van de aanwezige WKO-bronnen.

[16] *https://www.gwib.nl/*
[17] *https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/isde/woningeigenaren/aansluiting-warmtenet*
[18] *https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/isde/woningeigenaren/warmtepomp*
[19] *https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sah*

Achter de voordeur
In de basis variant wordt MT-warmte geleverd via een afleverset die voorziet in de vraag naar warm tapwater en ruimteverwarming. De afleverset wordt vaak geplaatst in de meterkast op de plek van de gasmeter. Het bestaande cv-leidingsysteem van de aardgas cv wordt slim benut zodat minimale ombouw nodig is. In de aangesloten woning is geen warmtepomp, warmwatervat of elektrische boiler nodig. Aanpassing van het warmteafgifte systeem is niet nodig, de bestaande radiatoren worden gebruikt. Daarbij is het idee dat door isolatie de warmtevraag daalt. Deze daling en verbetering van het isolatieniveau maakt het mogelijk om de warmte op termijn op lage temperatuur (rond de 45°C) te leveren. Weliswaar is de uitkoeling van de radiatoren dan lager, maar ook de warmtevraag is lager zodat de woning altijd voldoende verwarmd kan worden. Aandachtspunt is de mogelijke vervanging van radiatoren, zeker bij einde levensduur, in ruimten die frequent verwarmd worden (huiskamer) door een lage temperatuur uitvoering. Bij levering van warmte op lage temperatuur is per woning wel apparatuur nodig om warm tapwater te maken.

Elektrisch koken
Een overgang van gasgestookt koken naar elektrisch koken maakt onderdeel uit van de warmtetransitie. Een kookplaat en mogelijk ook een elektrische oven moet worden geïnstalleerd, plus extra groep in de meterkast en een leiding naar de keuken en een Perilex aansluiting. De hiermee gemoeide kosten maken geen onderdeel uit van de businesscase. Vooralsnog blijft deze investering buiten beschouwing. Enerzijds omdat elektrisch koken ook bij de alternatieven gaat plaatsvinden, dus niet onderscheidend is, anderzijds omdat de trend is dat op natuurlijke vervangingsmomenten steeds meer overgestapt wordt van gas naar elektrisch koken.

Gevoeligheden businesscase
Vastgesteld wordt wat naar verwachting de belangrijkste gevoeligheden van de businesscase zullen zijn. De idee is om ongeveer 5 maar zeker niet meer dan 10 gevoeligheden te beschouwen. Het onderzoek moet duidelijk maken waarom juist deze parameters zo bepalend zijn voor de businesscase en wat de mogelijkheden zijn om de risico's die hiermee samenhangen te beheersen.

Technologiekeuze en TRL
Het onderzoek zal gebaseerd zijn op commercieel beschikbaar en technisch uitontwikkelde technieken (TRL 9 = Technology Readiness Level) op een schaalgrootte zoals nodig bij de warmterotonde. De technische volwassenheid blijkt uit het kunnen benoemen van minimaal een sleutelreferentie waarin de betreffende techniek met succes minimaal 1 jaar is toegepast. Dit blijkt ook uit het kunnen noemen van minimaal een leverancier die deze techniek levert en waarbij de leverancier een trackrecord heeft van minimaal 5 jaar, bij voorkeur in Nederland maar in ieder geval in Europa. Daar waar het echt niet anders kan wordt gemotiveerd afgeweken van dit uitgangspunt.

Referentieproject warmterotonde
Het regionale energiebedrijf Stadtwerke München (SWM) heeft verdere stappen aangekondigd in zijn inspanningen op het gebied van de energietransitie. SWM exploiteert al zes geothermische centrales in en rond München met een warmtenet rond de stad (warmterotonde). Het nutsbedrijf maakt nu bekend de zevende vanaf 2024 te willen bouwen op het terrein van het Michaelibad (zwembaden) in het

zuidoosten van München. Na voltooiing moet het voldoende warmte bieden voor ongeveer 75.000 inwoners van München[20].

2.3 Drijfveren voor varianten warmterotonde

De varianten die onderzocht worden, geven invulling aan de belangrijkste drijfveren rondom de warmtetransitie, waarbij rekening wordt gehouden met de energietransitie in zijn maatschappelijke context. Er zijn drie belangrijke drijfveren onderkend:

- Zuinig omgaan met beperkt beschikbare warmtebronnen. Bronnen zijn eerder schaars dan in overvloed aanwezig, dus elke bron is belangrijk en daarmee ook de seizoensopslag van warmte gericht op het meer volledig kunnen benutten van de beschikbare bronnen. Dit maakt dat (waar mogelijk) ook het ontwikkelen van klein collectieve warmtesystemen wenselijk is. De warmte van de warmterotonde wordt zo alleen daar ingezet waar lokaal geen warmte of alleen kostbare alternatieven voorhanden zijn;
- Betaalbaarheid garanderen. Omdat de kosten voor een groot deel afhangen van de warmtevraag, betekent dit dat een collectief warmtesysteem wordt geprioriteerd in gebieden met een hoge warmtevraag dichtheid en voor zover financieel interessant ook de hieraan grenzende gebieden. Dit leidt tot de vraag hoe kostenoptimalisatie plaatsvindt: alleen betrokken op warmterotonde of op de gehele stad inclusief individuele en klein collectief duurzame warmte. Ook of socialisatie van de kosten tussen de verschillende gebieden die de warmterotonde bedient wenselijk en mogelijk wordt geacht. De WCW (concept) legt overigens beperkingen op ten aanzien van de mogelijkheden om tussen verschillende gebieden binnen één aangewezen warmtekavel tarieven te differentiëren, waardoor het socialiseren van kosten onontkoombaar is;
- Vermijden netcongestie. Leidt tot een elektriciteitsluw warmtesysteem. Dus warmtebronnen toepassen met een hoge COP [21] en vermijden van piekvraag elektriciteit op momenten van dreigende Dunkelflaute, dat zijn de piekmomenten in de winter in ochtend en namiddag.

[20] *https://www.swm.de/passende-waermeversorgung-finden*
[21] *COP geeft aan hoeveel nuttige warmte wordt geproduceerd met een zekere hoeveelheid elektriciteit. Een hoge COP betekent dat er relatief weinig elektriciteit nodig is voor de warmtevoorziening*

3 Warmtevraag

Voor het ontwikkelen van de warmterotonde voor de stad Apeldoorn is het van belang in kaart te brengen wat de omvang en het temperatuurniveau is van de vraag naar warmte en koude, nu en in de toekomst, zeker en onzeker, collectief en individueel. Hierbij wordt ingespeeld op de toenemende vraag naar koude en de afnemende vraag naar warmte als gevolg van klimaatverandering. Onderscheid wordt gemaakt in gebieden met een hoge warmtevraagdichtheid die bij uitstek geschikt zijn voor collectieve warmtesystemen en gebieden die zich beter lenen voor individuele verwarming, maar ook in de warmtevraag van woningen en van gebouwen, niet zijnde woonverblijven. Het gaat daarbij om warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater.

3.1 Uitgangspunten warmtevraag

De warmtevraag van de gebouwde omgeving in Apeldoorn is onderzocht. Gekeken is naar zowel de totale warmtebehoefte van gebouwen als de warmtevraagdichtheid. Gebieden met een hoge warmtevraag en hoge warmtevraagdichtheid (veel aansluitingen geconcentreerd bij elkaar) zijn het meest gunstig voor de rendabele ontwikkeling van een warmtenet.

In het onderzoek naar de warmtevraag zijn uitgangspunten gekozen om de warmtevraag nauwkeuriger te kunnen bepalen en zorgvuldiger te verdelen over alle inwoners en gebouwen in Apeldoorn stad. Industrie- en bedrijventerreinen zijn buiten beschouwing gelaten omdat de warmtebehoefte van deze terreinen vaak moeilijk te bepalen is en omdat voor dit soort gebieden meer maatwerk nodig is om aardgasvrij te worden. Voor nieuwbouwplannen is meer maatwerk nodig en verwachten we een lage financiële haalbaarheid bij aansluiting op de warmterotonde door de lage warmtevraag en lage warmtevraagdichtheid. Meer voor de hand ligt dat nieuwbouw individueel of klein collectief (WKO) duurzaam verwarmd wordt, met mogelijk een koppeling aan de warmterotonde voor regeneratie van de WKO of voor piekvoorziening. Flexibiliteit en enige overdimensionering in het warmtenet is voorzien waardoor ook nabijgelegen gebieden waar gewenst aangesloten kunnen worden.

Buurten buiten de bebouwde kom van Apeldoorn stad blijven buiten beschouwing vanwege de ongeschiktheid voor een grootschalig collectief warmtesysteem. Voor het bepalen van de warmtevraag wordt bij woningen onderscheid gemaakt tussen de warmtevraag voor verwarming en warm tapwater. De warm tapwatervraag wordt constant verondersteld. Met douchewater warmteterugwinning kan deze vraag wel worden verlaagd. De vraag voor ruimteverwarming zal veranderen. Voor utiliteit wordt alleen naar verwarming gekeken omdat de warm tapwatervraag heel erg afhangt van de daadwerkelijke functie en gebruik en over het algemeen relatief laag is. Voor bedrijventerreinen is een inschatting gemaakt op basis van de analyse van meerdere bronnen, te weten SETuP, data CE Delft, Klimaatmonitor[22] en verbruiksgegevens aardgas van Liander.

We gaan uit van de toekomstige warmtevraag door ook isolatie en klimaatverandering mee te nemen. Voor woningen nemen we daarvoor de gangbare isolatieopties mee. Met behulp van de isolatiepotentie tool in SETuP[23] berekenen we per gebouw wat de toekomstige warmtevraag wordt na het toepassen van alle realistisch mogelijke isolatieopties, dit op basis van bouwjaar en energielabel. De warmtevraag van utiliteit is moeilijker te bepalen op basis van kengetallen en gebouw eigenschappen. Er is een te grote variatie, door bedrijfsspecifieke processen. Om vertekening te minimaliseren, is gekozen om panden waar een pure "utiliteitsfuncties" aannemelijk is, zoals op industrie- bedrijventerreinen, buiten

[22] https://klimaatmonitor.databank.nl/
[23] *SETuP is ontwikkeld door Royal HaskoningDHV om de warmtevraag en warmtenetwerken te berekenen.*

beschouwing te laten. Voor dit soort gebieden is het ook aannemelijk dat een kleinschaligere gebiedsoplossing tot stand komt. Utiliteitsvastgoed wat aanwezig is binnen woongebieden is moeilijk om te splitsen en maakt onderdeel uit van de warmtevraag analyse. Dit zijn vaak panden met utiliteitsfuncties zoals zorg, winkels en kantoren waar de warmtevraag beter te modelleren is.

Voor de afname van de warmtevraag door klimaatverandering gaan we uit van de klimaatscenario's van het KNMI (2014).[24] Deze scenario's geven een beeld van ons klimaat in 2100 en hoe dit naar verwachting zal gaan veranderen. De procentuele afname van het aantal graaddagen gebruiken we als kental voor de te verwachten afname in de totale warmtevraag.

De warmtevraag wordt bepaald door de kansrijke gebieden te bepalen die qua warmtevraag interessant kunnen zijn voor een warmtenet, los van wijk- en buurtgrenzen. Zo wordt het mogelijk optimale warmteclusters te bepalen. Daarvoor hanteren wij de volgende ontwerpprincipes:

- Warmtevraagdichtheid (op basis van SETuP);
- Corporatiebezit (op basis van VIVET-microdata);
- Aanwezigheid van meergezinswoningen (op basis van SETuP);
- Aanwezigheid van utiliteit (op basis van SETuP);
- Oudere woningen van voor 1945 (op basis van SETuP);
- Energielabel (op basis van data RVO);
- Bepalende infrastructuur (zoals grotere wegen, water of spoorlijnen);
- Eerste orde afstemming omvang warmtecluster versus omvang nabije warmtebronnen.

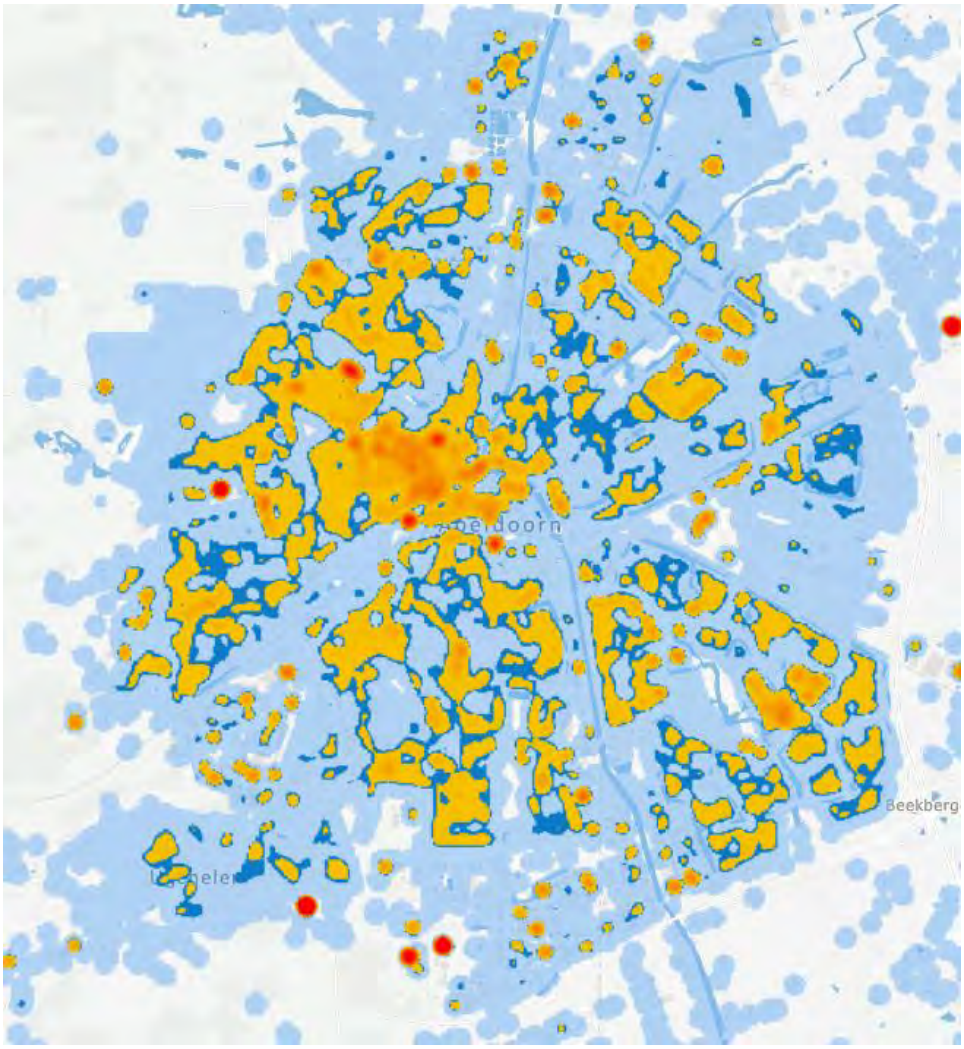
3.2 Berekening warmtevraag

Met behulp van de tooling SETuP is de warmtevraag van de stad Apeldoorn modelmatig berekend. SETuP maakt een inschatting van de warmtevraag voor tapwater en ruimteverwarming voor elk adres en pand in de stad Apeldoorn door middel van gespecificeerde kengetallen op basis van een aantal gebouwkenmerken. Deze kenmerken zijn:

- Typologie;
- Bouwjaar;
- Energielabel;
- Gebruiksoppervlakte;
- Gebruiksfunctie.

De warmtevraag per adres is geaggregeerd op gebiedsniveau en vertaald naar een warmtevraag per hectare. Hiermee is een warmtevraagdichtheidskaart gemaakt zoals weergegeven in Figuur 6 .

[24] *Inmiddels is een update beschikbaar van de klimaatscenario's uit 2014, zie https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatscenario-s. Deze update bevestigt en versterkt het beeld van 2014.*



Figuur 6: Warmtevraagdichtheidskaart voor de gebouwde omgeving van Apeldoorn. Blauw is lage warmtevraagdichtheid. Oranje hoge warmtevraagdichtheid en daarmee in potentie aantrekkelijk voor stadsverwarming

3.3 Toekomstige warmtevraag

Duurzaamheid en energiekosten zijn belangrijke maatschappelijke thema's. Onze verwachting is dat nagenoeg alle woningen in Apeldoorn zelfstandig geïsoleerd zullen worden de komende jaren. Dit fenomeen kennen wij als "autonome verduurzaming". Het effect hiervan is tweeledig:

1. De totale warmtevraag wordt lager van gebouwen in Apeldoorn;
2. Het benodigde temperatuurniveau, waarmee gebouwen verwarmd kunnen worden, wordt ook lager doordat de aanwezige warmteafgiftesystemen makkelijker de betreffende gebouwen kunnen verwarmen.

Mede door de hoge kosten en bouwtechnische kaders van gebouwen verwachten wij dat gebouw-eigenaren in de komende jaren gangbare en kosteneffectieve isolatiemaatregelen zullen toepassen waardoor vrijwel alle woningen op midden temperatuur (MT, 60 tot 70°C) verwarmd kunnen worden. Er is geen onderscheid gemaakt tussen monumentale en niet-monumentale panden bij de berekening van de isolatiemogelijkheden en besparingen.

Aan de hand van de eerdergenoemde gebouwkenmerken is berekend met welke isolatiemaatregelen gebouwen geïsoleerd kunnen worden en wat de impact daarvan is op de warmtevraag. Alle gebouwen in de stad Apeldoorn zijn dus fictief geïsoleerd waardoor ze geschikt zijn voor MT-warmte. Maatregelen die uitgevoerd worden in het MT-isolatiescenario zijn:

- Spouwmuurisolatie;
- HR++ glas;
- Kierdichting;
- Vloer- of bodemisolatie.

De warmtevraag die resteert nadat woningen zijn geïsoleerd is de toekomstige warmtevraag. Deze warmtevraag is gebruikt voor de technische en economische analyses om de businesscase en de nodige warmte-infrastructuur te berekenen. Voor nieuwere en gerenoveerde panden is voor de toekomstige warmtevraag uitgegaan van een lage temperatuur warmtevraag (LT-warmte). De gebruikte methodiek wordt beschreven in paragraaf 3.8.3.

Afname warmtevraag door klimaatverandering

Voor de autonome afname van de toekomstige warmtevraag door klimaatverandering is uitgegaan van 10% afname. Dit is gebaseerd op de klimaatscenario's van het KNMI (2014). Uit de scenario's blijkt dat het aantal graaddagen rond 2050 10% tot 20% lager zal zijn ten opzichte van de periode 1981 tot 2010. De 10% afname in warmtevraag wordt vanaf het eerste jaar toegepast. Te verwachten is dat deze afname geleidelijk verloopt, startend met 0% in het eerste jaar van de warmterotonde en eindigend met 20% rond 2050[25].

3.4 Variant hoge warmtevraagdichtheid

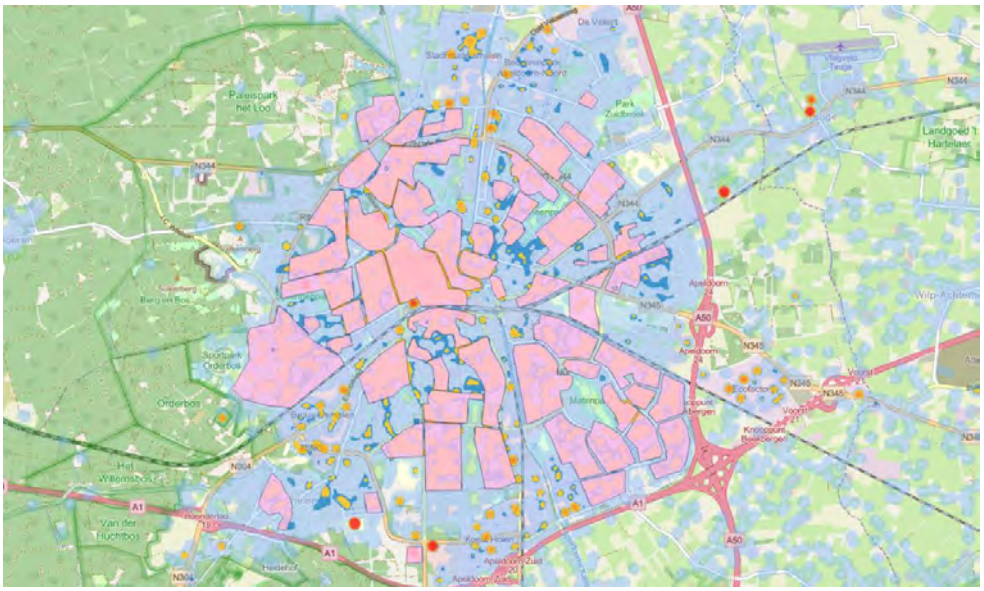
Het meest financieel-gunstige scenario voor een warmtenet bestaat uit een warmtenet met een zeer hoge totale warmtevraag en maximaal aantal afzonderlijke aansluitingen. De aanwezigheid van dit soort "clusters" met een hoge warmtevraagdichtheid (groter dan 1,5 TJ/ha) zijn sterk bepalend op de businesscase van het warmtenet, omdat daarmee relatief weinig warmtenet-infrastructuur aangelegd hoeft te worden en er relatief veel warmte verkocht kan worden en vastrecht in rekening gebracht kan worden. Echter bestaat een stad nooit uit één groot warmtecluster, maar eilanden van hoge warmtevraagdichtheid omringd door gebieden van lagere warmtevraagdichtheid.

Waar die eilanden zouden kunnen zijn, en hoe het warmtenet moet worden ontworpen om daar optimaal op aan te sluiten is onderzocht in de variant "hoge warmtevraagdichtheid". Zo worden de 'Krenten uit de pap' gehaald voor stadsverwarming. Dit noemen we dan ook het 'Krenten uit de pap' scenario.

Aan de hand van de warmtevraagdichtheidskaart (Figuur 6) zijn warmtevraagclusters geïdentificeerd (Figuur 7). Wanneer er binnen deze warmtevraagclusters ook kleine gebieden zijn met een lage warmtevraagdichtheid, zijn deze meegenomen wanneer het logisch is dat deze tijdens de aanleg van een toekomstig warmtenet ook aangesloten worden.

Het scenario hoge warmtevraagdichtheid telt ongeveer 52.000 afzonderlijke aansluitingen op het warmtenet, met een totale warmtevraag van ongeveer 2,1 PJ per jaar.

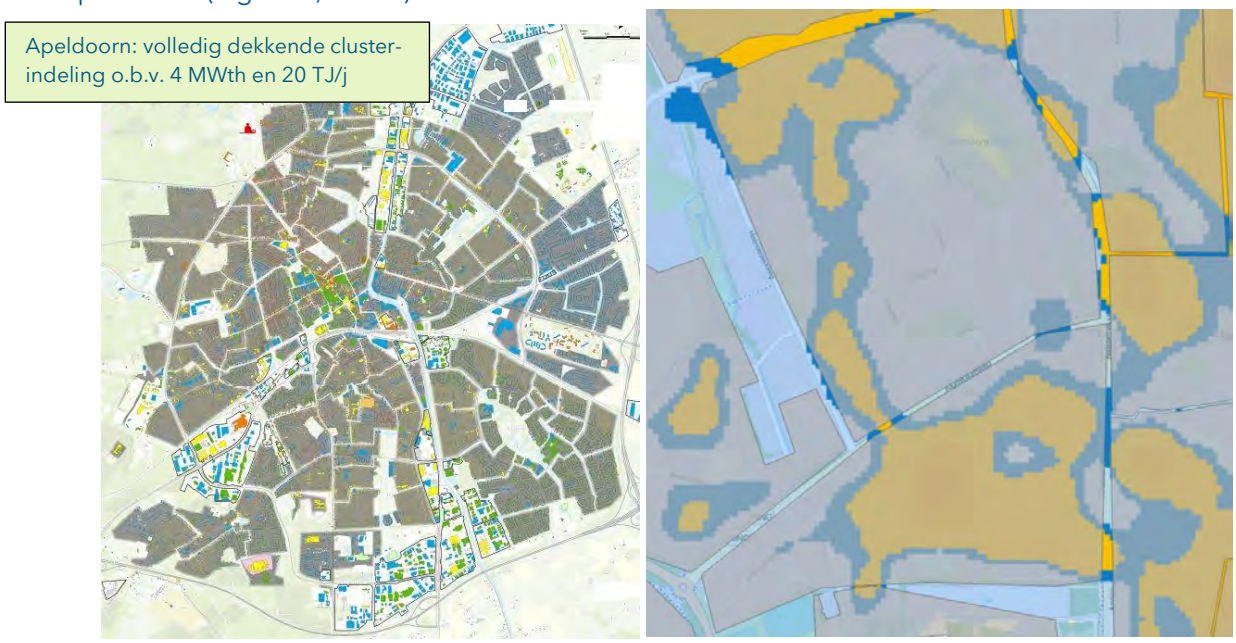
[25] *Economisch gezien is dit een worst case benadering omdat de cashflow vanaf jaar 1 direct al 10% lager ligt terwijl de cashflow ontwikkeling in werkelijkheid geleidelijk zal dalen*



Figuur 7: Identificatie warmtevraag clusters. De geselecteerde clusters zijn in "roze" vlakken te herkennen, overlappend met de oranje hoge warmtevraag dichtheidsclusters uit figuur 6. De roze vlakken kwalificeren zich in beginsel voor de warmterotonde

3.5 Variant volledige dekking

Het aansluiten van het maximaal aantal gebouwen in Apeldoorn-stad is het alternatieve scenario dat is onderzocht. Een dekkende indeling van kleinere warmteclusters is ingetekend. Hierbij is rekening gehouden met een totale warmtevraag per cluster van ongeveer 20 TJ per jaar. Deze omvang is gebaseerd op de typische grootte (4 MWth) van een warmteoverdrachtsstation (WOS). Op de kaart (Figuur 8, links) is het dekkingsgebied van dit scenario te zien over de gehele stad Apeldoorn. In de uitwerking op schaal van het verzorgingsgebied per WOS is gekeken waar natuurlijke grenzen zijn vanuit de bestaande infrastructuur (onder andere grote wegen, waterwegen en bedrijventerreinen). Dit is te zien op de kaart (Figuur 8, rechts).



Figuur 8: Variant volledige dekking: links het dekkingsgebied, rechts uitvergroting van de bestaande infrastructuur waarmee rekening gehouden is om tot de warmteclusterindeling te komen

In het scenario “volledige dekking” zijn de geselecteerde verzorgingsgebieden per WOS te herkennen als “grijze vlakken”. Binnen een WOS-verzorgingsgebied zijn er zowel hoge- en lage warmtevraag-dichtheidsgebieden en panden met verschillende isolatiekwaliteit.

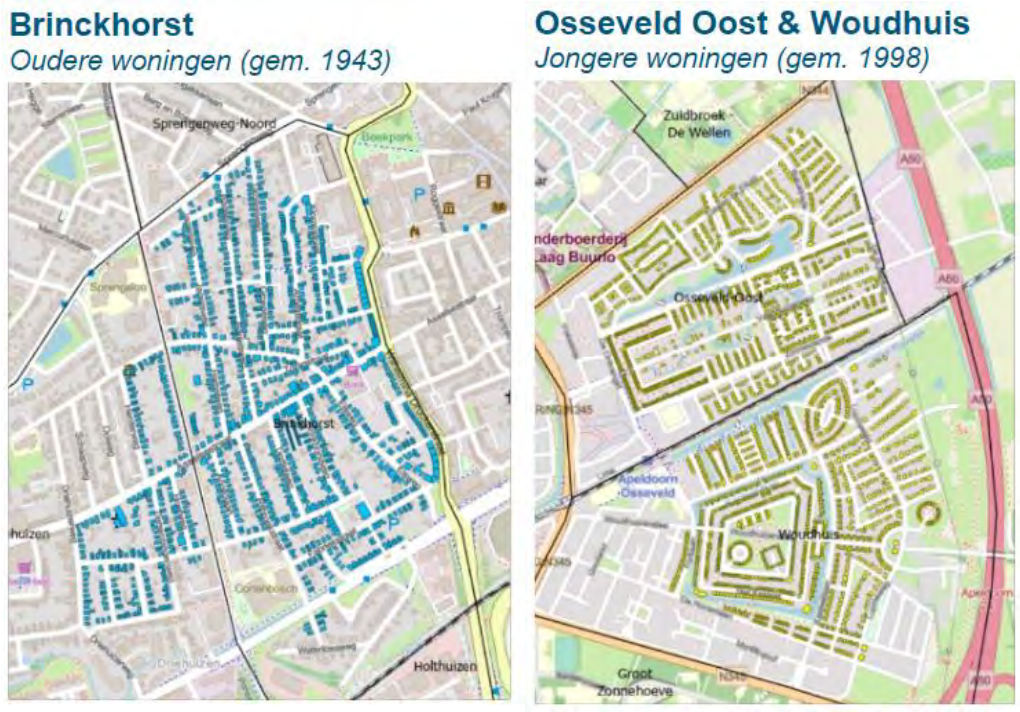
Het scenario volledige dekking telt ongeveer 70.000 afzonderlijke aansluitingen op het warmtenet, met een totale warmtevraag van ongeveer 3,0 PJ per jaar.

3.6 Validatie warmtevraag

Om meer zekerheid te bieden is de door SETuP berekende warmtevraag vergeleken met de gemiddelde gaslevering van kleinverbruikers per postcode 6 gebied van Liander. De aanname is dat woningen nu voornamelijk met aardgas verwarmd worden, waardoor het gasverbruik per postcodegebied overeen zou moeten komen met de nodige warmtevraag van woningen. In het gemiddelde gasverbruik per postcode 6 gebied wordt de gasvraag voor koken niet verwijderd.

In de validatie is er geen correctie voor de gasvraag voor koken gedaan. Van het totale gasverbruik per postcode 6 gebied, zal de gasvraag voor koken ongeveer 5% bedragen (kengetal). Door het kleine aandeel zal het effect hiervan minimaal zijn waardoor correctie niet nodig is. Ook is gekozen om twee gebieden te valideren met verschillende bouwperiodes om daarmee een bandbreedte te laten zien in de uitkomsten. De gebieden bevatten zo min mogelijk panden met een utiliteitsfunctie en bestaan uit postcodegebieden met een volledig bekende gaslevering. Voor twee gebieden is de berekende toekomstige warmtevraag met de actuele gaslevering gevalideerd:

1. De Brinkhorst (oudere woningen, gemiddeld bouwjaar 1943);
2. Osseveld Oost & Woudhuis (nieuwere woningen, gemiddeld bouwjaar 1998).



Figuur 9: De gebieden Brinckhorst en Osseveld Oost & Woudhuis

De vergelijking is samengevat in de onderstaande Tabel 1. De gaslevering van 2016 is illustratief meegenomen om het effect van gasprijzen en autonome verduurzaming weer te geven. Door de oorlog

in Ukraine zijn de gasprijzen vanaf 2019/2020 flink gestegen. Het gevolg was dat het gasverbruik flink gedaald is, enerzijds door gedragsverandering en anderzijds door de groeiende interesse voor (na)isolatie. In de onderzochte wijken gaat het om een daling van 10 tot 20% tussen 2016 en 2023.

Tabel 1: Vergelijking gaslevering gebieden Brinckhorst en Osseveld Oost & Woudhuis

Bron	Brinckhorst		Osseveld & Woudhuis	
Warmtevraag in het verleden *Gaslevering KV Liander 2016*	92 TJ	121%	127 TJ	111%
Huidige warmtevraag *Gaslevering KV Liander 2023*	76 TJ	100%	114 TJ	100%
Toekomstige warmtevraag MT *SETuP berekende waarde*	67 TJ	88%	98 TJ	86%

De toekomstige warmtevraag is in lijn met de verwachtingen: ten opzichte van 2023 is de berekende warmtevraag voor Brinckhorst en Osseveld & Woudhuis- respectievelijk 12% en 14% lager. De berekende warmtevraag voor de gehele gemeente Apeldoorn is 15% minder dan de meest recent gasleveringsdata van 2023. Besparingsstudies die RHDHV in het verleden heeft uitgevoerd laten zien dat een besparing van tussen de 10% en 20% gangbaar is. De berekende besparing valt daarmee binnen de gangbare bandbreedte.

De aardgasvraag van 2016 is aanzienlijk hoger dan de aardgasvraag in 2023. Dit is deels te verklaren doordat 2023 een warmer jaar is geweest waardoor het verbruik voor ruimteverwarming gemiddeld 15% lager geweest is[26]. Daarnaast is dit te verklaren door de toename van het (na)isoleren van woningen en het effect van de gestegen gasprijzen op het verbruik van huishoudens tijdens de energiecrisis in 2023.

In de warmtevraag op termijn wordt rekening gehouden met verdergaande isolatie (daling 10%) en met klimaatverandering (daling 10%). Als referentie is het energiecrisisjaar 2023 gekozen, wat een relatief warm jaar geweest is. Zo wordt de warmtevraag niet overschat.

3.7 Koudevraag

Op dit moment hebben de meeste bestaande woningen nog geen koeling. Wel is een trend te zien dat steeds meer huishoudens kiezen voor het installeren van een (mobiele) airco[27]. Dit heeft onder andere te maken met klimaatverandering waardoor er steeds meer warme dagen zijn. Uit de meest recente KNMI-klimaatscenario's 2023[28] blijkt dat deze trend zich voort zal zetten richting 2100. Afhankelijk van het scenario is de verwachting dat het aantal tropische dagen (warmer dan 30°C) zal toenemen van gemiddeld 5 naar 9 tot 30 dagen ten opzichte van de periode 1991 tot 2020. Hiermee zal ook de behoefte aan koeling verder toe nemen.

Effect klimaatverandering op koudevraag gebouwde omgeving

CE Delft heeft op basis van de KNMI-klimaatscenario's 2014 becijferd dat de koudevraag voor de gebouwde omgeving zal verdubbelen in 2050 ten opzichte van 2020[29]. Deze toename wordt veroorzaakt door de combinatie van klimaatverandering en betere isolatie waardoor de zomerse warmte minder makkelijk weg kan. Voor woningen is berekend dat voor de huidige situatie zonder isolatie de

[26] *Het aantal gewogen graaddagen in De Bilt was in 2016 2833 en in 2023 2.437. Gemiddeld was het aantal graaddagen de afgelopen 10 jaar 2.718*
[27] *Bron: NOS, 7 juli 2023, Steeds meer mensen een airco, maar experts zien liever zonwering (nos.nl)*
[28] *Bron: KNMI, oktober 2023, KNMI - KNMI'23-klimaatscenario's*
[29] *Bron: CE Delft, 2023, Kansen voor warmtekoudenetten*

koudevraag 4% van de warmtevraag is. Uitgaande van het isoleren van alle gebouwen neemt de koudevraag in de huidige situatie toe naar 30% van de huidige warmtevraag. Als dan naar 2050 gekeken wordt, rekening houdend met de KNMI-klimaatscenario's uit 2014, dan neemt de koudevraag toe naar ruim 70% van de dan verwachte warmtevraag. Voor utiliteitsgebouwen is de verwachting voor het warmste scenario dat de koudevraag in 2050 zelfs groter kan zijn dan de warmtevraag en daarmee leidend zal worden voor het ontwerp van warmte- en koudesystemen voor gebouwen. Het wordt dus steeds belangrijker om bij het ontwerp van een warmtenet rekening te houden met koudelevering. Dit geldt ook voor het warmteafgiftesysteem in een woning, waaraan aanpassingen nodig zijn om met behulp van dit systeem koeling mogelijk te maken.

Invulling koudevraag bestaande gebouwde omgeving in combinatie met een warmtenet

Het leveren van koude aan gebouwen kan zowel individueel als collectief geregeld worden. Individueel is de airco met buitenunit (Lu/Lu warmtepomp) een veel toegepaste techniek. Daarnaast bestaan er minder bekende technieken zoals absorptiekoeling waarbij geen elektriciteit maar een warmtebron (zoals bijvoorbeeld een warmtenet) wordt gebruikt om koeling te leveren.

Het meest bekende collectieve koudesysteem is warmte koude opslag (WKO), dat op dit moment vooral veel toegepast wordt voor utiliteitsgebouwen vanwege de relatief hoge koudevraag van utiliteitsgebouwen. Verschillende varianten zijn mogelijk afhankelijk van het gewenste temperatuur niveau voor warmtelevering. Grofweg gaat het om drie varianten:

- Bronnet: Ook wel een zeer lage temperatuur-net genoemd (ZLT), is een 2-pijpsnet waarbij de warmte en koude op de temperatuur van de warmtebron (typisch 15 tot 20 °C) geleverd wordt en een individuele warmtepomp nodig is om de warmte op te waarderen naar het gewenste niveau. Het voordeel is dat gebouwen direct gekoeld kunnen worden vanuit het bronnet, zonder tussenkomst van een warmtepomp;
- Lagetemperatuurnet: een tweepijpsnet waarbij de warmte van de bron eerst opgewaardeerd wordt naar een hogere temperatuur (typisch 30 tot 50 °C). De warmte kan dan direct geleverd worden aan de aangesloten gebouwen. Voor koeling is een individuele Lu/Lu warmtepomp (airco) nodig;
- Gescheiden warmte en koudelevering: een vierpijps-net waarbij de koelings- en verwarmingsleidingen volledig gescheiden zijn. Op deze manier kan zowel de warmte als koude centraal geregeld worden en zijn er geen individuele warmtepompen nodig.

De meest geschikte variant voor het toepassen van koeling hangt voor een belangrijk deel af van de aan te sluiten gebouwen. Oudere gebouwen (met na-isolatie) zijn bijvoorbeeld lastig met een lage of bronnet temperatuur te verwarmen zonder grote aanpassingen aan de gebouwschil en het warmteafgiftesysteem. Op dit moment ontbreekt daardoor het perspectief op een verdienmodel voor een collectieve koude voorziening. Voor nieuwere of gerenoveerde gebouwen is een bronnet of lagetemperatuurnet wel een mogelijkheid. Kijkend naar de gebouwde omgeving in Apeldoorn zal de koude-oplossing per gebied gaan verschillen. De gebouwen die geschikt zijn voor LT-verwarming liggen verspreid over de stad. Alleen in de wijken Woudhuis en Osseveld Oost zijn bijna alle gebouwen relatief nieuw. De verwachting is daarom dat de koudevoorziening decentraal ingevuld zal worden, hetzij individueel of (met name bij nieuwbouw) eventueel als klein collectief WKO-systeem, Daarmee kan per gebied de beste variant gekozen worden. Voor deze haalbaarheidsstudie zien we de koudevoorziening daarom gescheiden van het warmtesysteem en vormt dit geen integraal onderdeel van de warmterotonde. Wel zijn er mogelijk koppelkansen door bij WKO-installaties bronnen te balanceren met zomerse warmte vanuit de warmterotonde.

Het dekken van de warmtevraag in de zomer met individuele koeling (airco) leidt naar verwachting niet tot een toename van de netcongestie omdat juist in deze periode een overvloed aan zonPV elektriciteit beschikbaar is.

Koeling met absorptiewarmtepompen
Met deze techniek is het mogelijk om koude te produceren vanuit een HT- of MT-warmtenet. De drijvende kracht komt dan uit de warmte en niet uit elektriciteit, zoals bij een warmtepomp of airco. In de toekomst kan deze techniek een rol gaan spelen bij het koelen van bestaande gebouwen die aangesloten zijn op een warmtenet. De toepassing is vooral interessant voor grote gebouwen die niet op WKO aangesloten kunnen worden. Deze techniek vereist een zo hoog mogelijke temperatuur om technisch koudelevering mogelijk te maken. Bij een MT-warmtenet is dit met de huidige stand der techniek op de grens van wat mogelijk is. Een ander aandachtspunt is dat dit type warmtepomp relatief groot is waardoor, vooral in kleinere gebouwen, de inpassing een uitdaging is.

3.8 Uitwerking warmtevraaggebieden voorkeurscenario

Voor het voorkeurscenario is de opbouw van de warmtevraag verder uitgewerkt. Het voorkeurscenario richt zich op de warmtevoorziening van gebieden in de stad met hoge warmtevraag dichtheid (variant hoge warmtevraagdichtheid zoals beschreven in paragraaf 3.4). De belangrijkste reden hiervoor is de match tussen de warmtevraag en het warmteaanbod. Grootschalige warmtebronnen zijn schaars goed in Apeldoorn. Dat betekent dat het aanbod bij voorkeur wordt ingezet in gebieden die het meest kansrijk zijn. Op basis van de warmtevraagdichtheidkaart voor Apeldoorn zijn er verschillende warmtegebieden gedefinieerd die vanuit de warmterotonde backbone gevoed kunnen worden. Deze zijn als uitgangspunt gebruikt voor het dimensioneren van het distributienet achter de backbone en de lokale warmtebronnen voor middenlast, pieklast en backup.

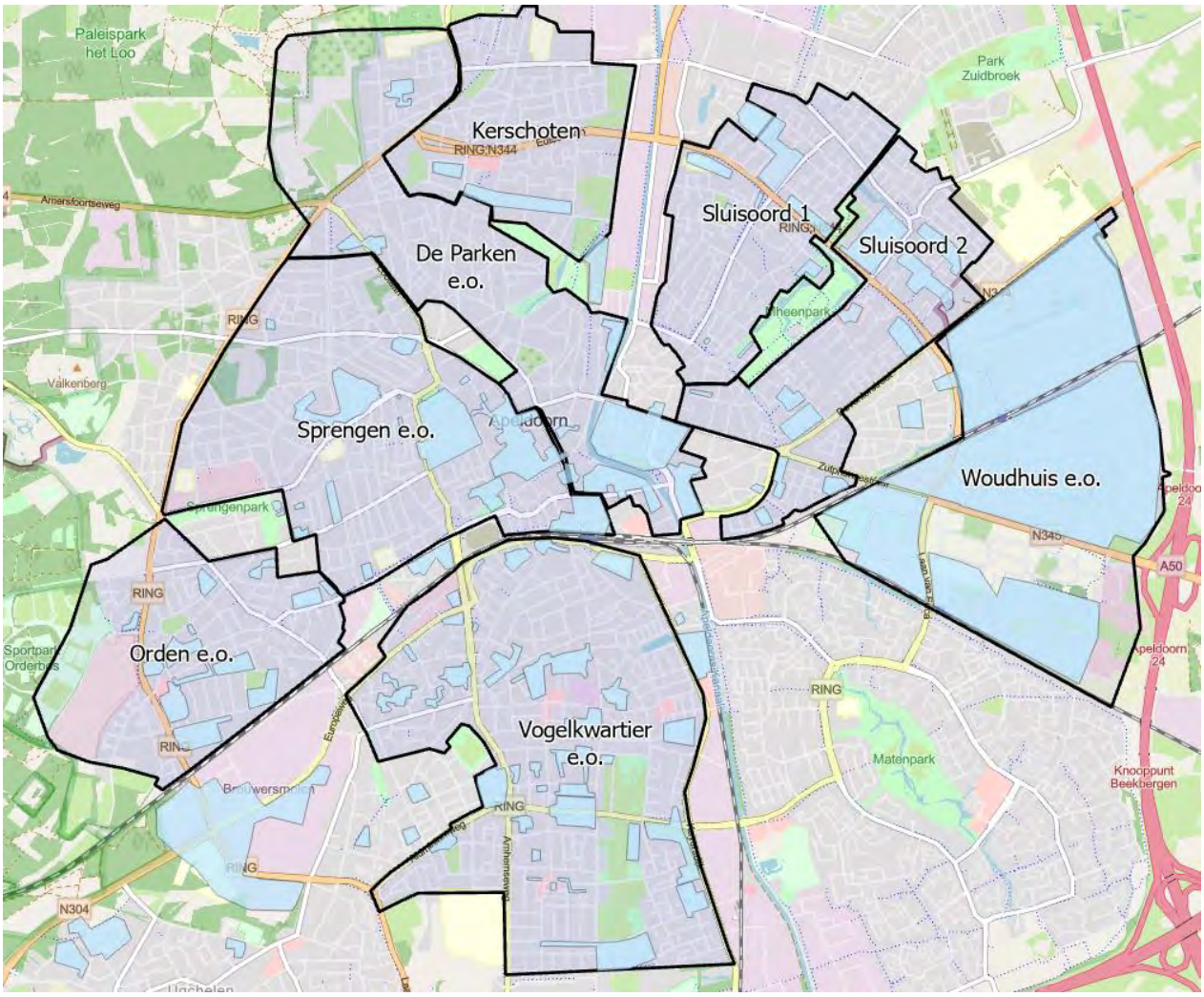
3.8.1 Beschrijving warmtegebieden

Op basis van de warmtevraagdichtheidskaart voor Apeldoorn (zie Figuur 6) zijn 7 warmtegebieden[30] geïdentificeerd. Het gaat hierbij om een eerste schets waarbij rekening is gehouden met reeds bestaande warmtenetten en ontwikkelingen zoals warmtenet Zuidbroek, warmtenet Kerschoten en De Maten. Daarnaast is een inschatting gemaakt van de gebouwen die relatief makkelijk LT-ready te maken zijn. In Figuur 10 is een kaart weergegeven met daarin de warmtegebieden ingetekend met onderscheid naar midden temperatuur (grijs) en lage temperatuur (blauw).

3.8.2 Bepaling grenzen warmtegebieden

Als uitgangspunt zijn de hoge warmtevraagdichtheidclusters genomen voor het scenario hoge warmtevraagdichtheid (zie paragraaf 3.4). De vlekkenkaart van gebieden die daaruit naar voren komt is over de kaart van Apeldoorn gelegd. Vervolgens is bepaald welke clusters logisch zijn om samen te nemen, rekening houdend met de uitgesloten gebieden en natuurlijke obstakels of scheidingen tussen de clusters zoals grotere wegen, kanalen, spoor, ander type gebouwen of bijvoorbeeld een bedrijventerrein. Dit heeft geleid tot 7 warmtevraaggebieden die we onderscheiden voor de warmterotonde. Alle gebouwen die binnen elk warmtevraaggebied vallen zijn meegenomen voor aansluiting op de warmterotonde met uitzondering van de bedrijventerreinen.

[30] *Gesproken wordt van een warmtegebied of warmtecluster omdat de grenzen van het gebied niet per se hoeven samen te vallen met de grenzen van een buurt of wijk. Een warmtegebied kan meerdere wijken en/of gedeelten van wijken omvatten*

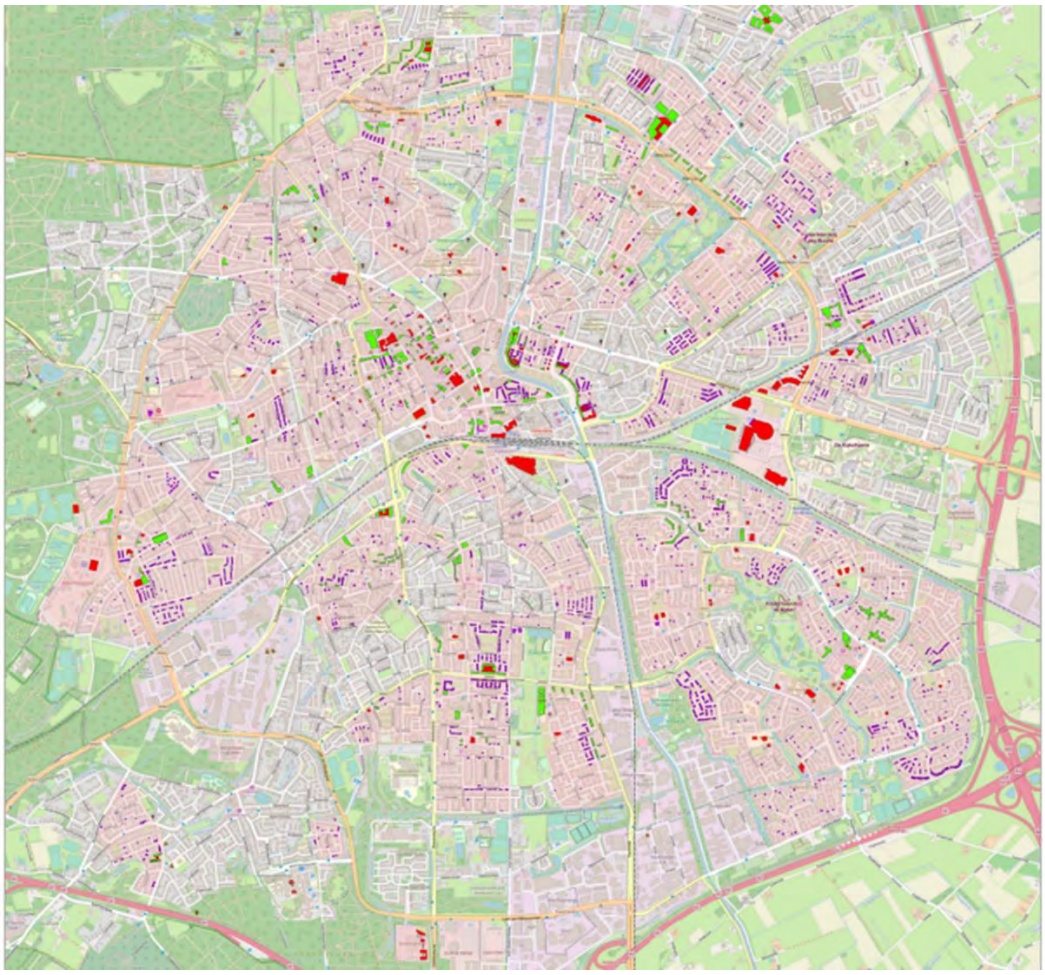


Figuur 10: Overzichtskaart van de warmtegebieden met daarin aangegeven de LT-warmtegebieden (lichtblauw). Deze gebieden zijn als uitgangspunt gebruikt voor het schetsontwerp van de warmterotonde

3.8.3 Bepalen van LT-gebieden

Voor de warmterotonde wordt onderscheid gemaakt tussen gebouwen die op een middentemperatuur (60 tot 70°C) verwarmd moeten worden en gebouwen die op een lage temperatuur (30 tot 50°C) verwarmd kunnen worden. Dit heeft ermee te maken dat het voor oudere gebouwen lastiger is om deze geschikt te maken voor lage temperatuur verwarming. Dit vergt kostbare maatregelen zoals het vernieuwen van daken en vloeren en aanpassing van het warmteafgiftesysteem. Bij nieuwere (of gerenoveerde) gebouwen zijn deze maatregelen vaak wel uitgevoerd.

Om een inschatting te maken of een gebouw geschikt is voor lage temperatuurverwarming, ook wel LT-ready genoemd, zijn zowel het bouwjaar (BAG 2024) als het energielabel (RVO, 2024) van elk gebouw beschouwd. Gebouwen met een energielabel A en hoger of een bouwjaar vanaf 2006 zijn in huidige staat geschikt geacht voor lage temperatuur verwarming. In Figuur 11 zijn de gebouwen weergegeven die geschikt bevonden zijn voor lage temperatuurverwarming in de stad Apeldoorn. Per warmtevraaggebied is bepaald hoe omvangrijk de lage temperatuur warmtevraag is, zie tabel 2.



Figuur 11: Overzichtskaart met de inschatting van de gebouwen die geschikt zijn voor lage temperatuur verwarming. In het paars gebouwen met een woonfunctie en in het rood gebouwen met een utiliteitsfunctie

3.8.4 Technische uitgangspunten warmtevraaggebieden

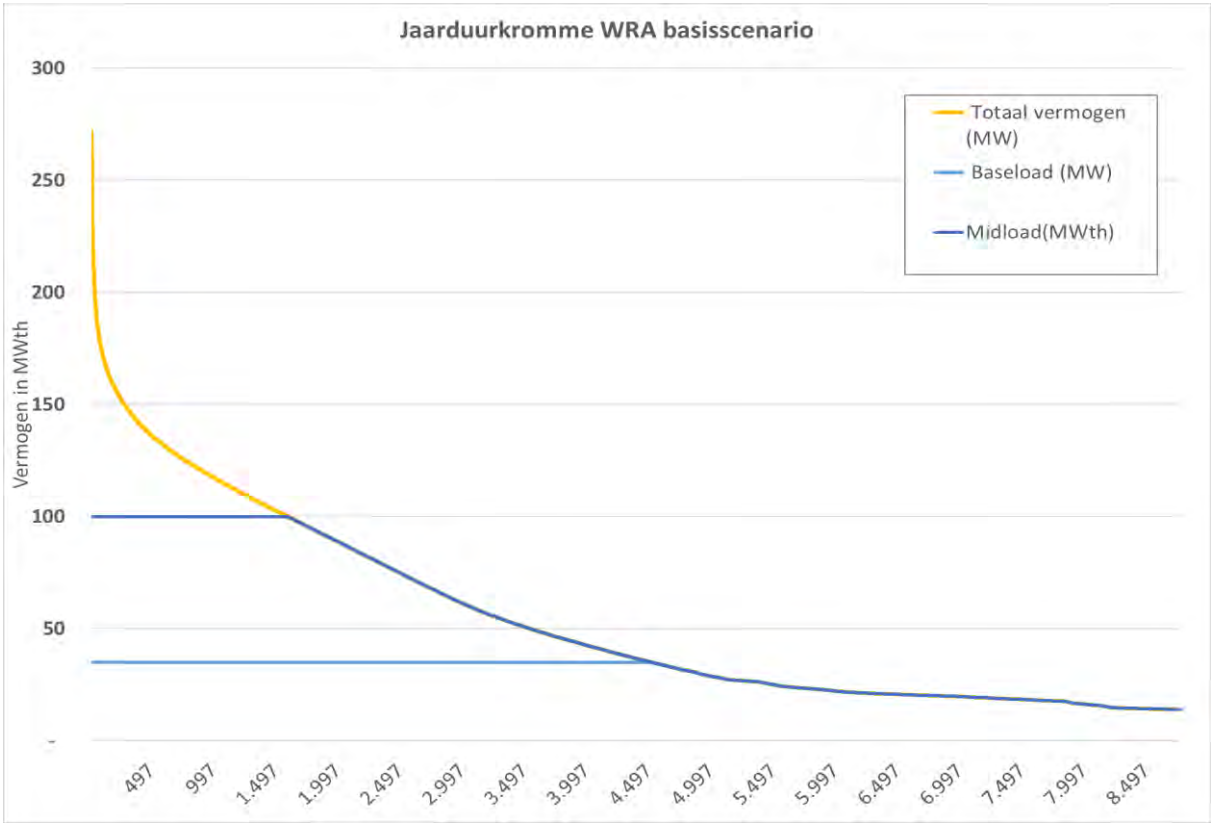
Voor elk warmtevraaggebied is de totale warmtevraag van alle gebouwen bepaald (zie de uitgangspunten in paragraaf 3.1). Op basis daarvan is een belastingjaarduurkromme bepaald om de warmtevraag te vertalen naar het benodigde thermische vermogen om alle gebouwen comfortabel te kunnen verwarmen op een koude winterdag. In Tabel 2 zijn de uitkomsten per warmtevraaggebied weergegeven waarbij de warmtevraag op lage temperatuur apart bepaald is. De warmtevraag heeft een omvang van 1.760 TJ per jaar. Rekening houdend met een volloopgraad van 90% en dalende warmtevraag van 10% door klimaatverandering heeft de netto warmte een omvang van 1.408 TJ. Dit is de hoeveelheid warmte die uiteindelijk verkocht gaat worden en onderdeel uitmaakt van de businesscase. De netto warmtevraag is als volgt verdeeld:

Type	Aansluitingen, netto aantal	Warmtevraag, netto TJ/jaar	Idem, per aansluiting GJ/jaar
Woningen	38.790	1.120	28,9
Utiliteit	4.302	288	66,9
Totaal	43.092	1.408	32,7

Tabel 2: Overzicht van de uitgangspunten per vraaggebied. De totale warmtevraag is de totaal berekende warmtevraag na isolatie van alle gebouwen naar MT-ready. Dit is de warmte die geleverd moet worden aan de afnemers. Hierin zijn nog niet de uitgangspunten meegenomen voor de reductie van de warmtevraag door klimaatverandering, het volloopscenario en warmteverliezen in het warmtenet

Warmtevraag-gebied	Totale warmtevraag, bruto	Totaal aantal aansluitingen bij 100%	Waarvan LT-warmte	Aantal aansluitingen LT bij 100%	Benodigd thermisch vermogen
	TJ/jaar	Aantal	TJ/jaar	Aantal	MWth
Sprengen e.o.	458	11.552	63	2.962	72
Orden e.o.	163	4.247	30	1.195	24
Sluisoord	275	8.592	41	1.384	43
De Parken e.o.	256	5.522	45	1.855	39
Vogelkwartier e.o.	391	12.638	77	3.120	60
Woudhuis e.o.	217	5.329	162	5.185	34
Totaal	**1.760**	**47.880**	**418**	**15.701**	**272**

In Figuur 12 is de bijpassende jaarbelastingduurkromme weergegeven voor het geheel van alle warmtegebieden. Dit is als uitgangspunt gebruikt voor het bepalen van de benodigde bronnenmix van basislast (RWZI), middenlast en pieklast, zie hoofdstuk 4.



Figuur 12: Jaarduurkromme op basis van de totale warmtevraag voor de gehele warmterotonde. Gebruikte uitgangspunten: warmtevraag o.b.v. MT-ready, afname warmtevraag 10%, Volloopgraad warmtenet 90%, warmteverliezen 20%

3.8.5 Gebieden die niet meegenomen zijn in het ontwerp

Een aantal gebieden zijn niet meegenomen in het verzorgingsgebied van de warmterotonde. Hieronder wordt per gebied een onderbouwing gegeven waarom deze buiten beschouwing is gelaten:

- **Warmtenet Zuidbroek:** Dit is een bestaand warmtenet met een eigen warmtebron die onafhankelijk van de warmterotonde kan opereren. Deze wijk beschikt over een warmtenet van Ennatuurlijk gebaseerd op een 5 MWth biomassacentrale met houtsnippers en een 3 MWth BioWKK werkend op biogas. Er kunnen zich twee scenario's voordoen. In het eerste geval blijft de huidige infrastructuur in stand. Zuidbroek blijft dan een warmte eiland met biobased brandstoffen voor de basislast en middenlast warmtevoorziening. De piek en backup voorziening is op dit moment nog met aardgas. Hiervoor is een duurzaam alternatief gewenst, een duurzaam gas of bio-olie liggen daarbij het meest voor de hand. Het is ook denkbaar dat de biobased warmtevoorziening wordt uitgefaseerd door een integratie met de warmterotonde. Dit zal wel ten koste gaan van het beschikbare potentieel aan warmtelevering elders in de stad via de warmterotonde. Het delen van piek en back up vermogen wordt niet als drijfveer gezien voor koppeling van Zuidbroek aan de warmterotonde, immers elk warmteafzetgebied heeft dit vermogen nodig en delen leidt tot afname van de leveringszekerheid. Vooralsnog wordt daarom verondersteld dat Zuidbroek een zelfstandig warmte eiland blijft op basis van biobased brandstoffen. Een koppeling met de warmterotonde biedt vanuit de warmterotonde bezien vooralsnog geen meerwaarde;
- **Warmtenet Kerschoten:** In Kerschoten wordt reeds een warmtenet ontwikkeld waarvoor het ontwerp op dit moment al gemaakt wordt. De restwarmte van de RWZI is de warmtebron voor het warmtenet. Bij de ontwikkeling van de warmtebron bleek dat er zoveel potentie was dat het idee ontstond voor een grootschalig warmtenet in Apeldoorn, de warmterotonde. Voor de benodigde ruimte op de RWZI wordt daarom zo mogelijk al rekening gehouden met opschaling van de warmtebron. Kerschoten is daarmee de eerste stap naar grootschalige warmtewinning uit de RWZI.

  Voor het warmtenet Kerschoten ligt er al een ontwerp waarbij Kerschoten direct vanaf de RWZI gevoed wordt. Om dat proces niet te vertragen is ervoor gekozen om in het kader van dit onderzoek Kerschoten als een zelfstandige ontwikkeling te beschouwen waarbij rekening gehouden wordt met het feit dat beiden van dezelfde warmtebron gebruik maken;
- **Wijk van de toekomst De Maten:** Voor De Maten is een bronnenstudie[31] uitgevoerd waaruit is gebleken dat daar lokale warmtebronnen aanwezig zijn waarmee de wijk van warmte kan worden voorzien. Het warmtenet voor De Maten kan daarom los van de warmterotonde ontwikkeld worden. Een koppeling met de warmterotonde is mogelijk een interessante optie voor optimalisatie, maar is in eerste instantie niet noodzakelijk. Het verdiepende onderzoek naar de collectieve warmtevoorziening voor De Maten heeft duidelijk gemaakt dat De Maten nagenoeg zelfvoorzienend kan zijn, gebruik makend van de lokale warmtebronnen in en nabij de wijk. De restwarmte die Grolleman kan leveren is met ongeveer 10 MWth veel hoger dan eerder verondersteld. Dit, in combinatie met het benutten van de bronnen in de wijk, vooral aquathermie, maakt dat de noodzaak om verbonden te zijn met de warmterotonde beperkt is voor het leveren van warmte in de basislast. Toch wordt een koppeling met de warmterotonde voorzien om de deling van warmtebronnen voor de stad te faciliteren en de leveringszekerheid van het totale systeem te verbeteren. Zo kan ten alle tijde gebruik worden gemaakt van de restwarmte van Grolleman voor de stad, ook op momenten dat er lokaal in De Maten geen vraag naar is. De elektriciteitsluwe bronnenstrategie is: Grolleman in basislast en aquathermie in middenlast, waar mogelijk in combinatie met lokale seizoensopslag van warmte;

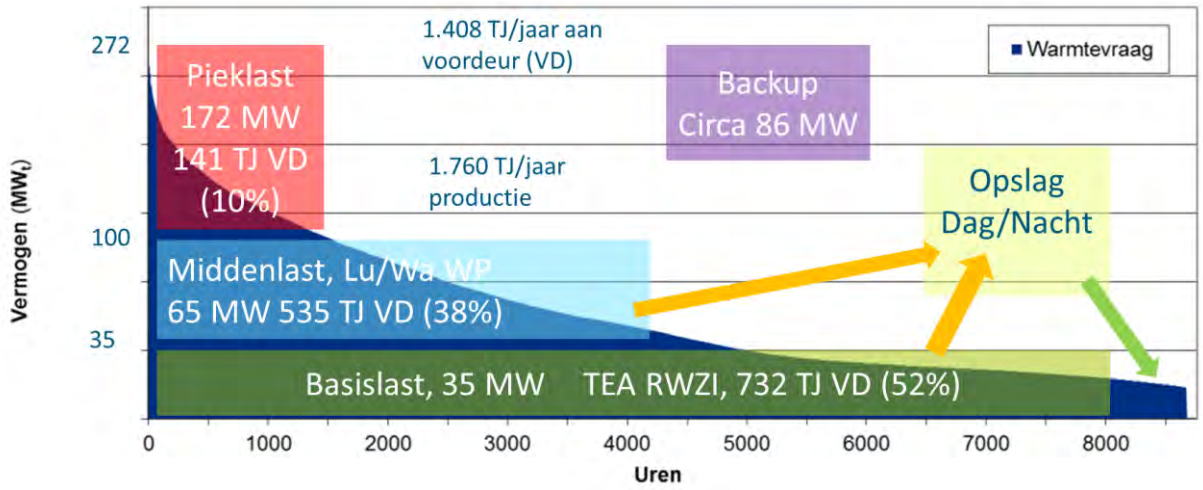
[31] *Bronnenstudie De Maten Apeldoorn, Royal HaskoningDHV, mei 2024*

- **Bedrijventerreinen:** Door het specifieke gebruik van warmte voor bedrijfsprocessen en ruimteverwarming vragen bedrijven om meer maatwerk om de haalbaarheid te bepalen voor het aansluiten op een warmtenet. De bedrijventerreinen zijn daarom buiten beschouwing gelaten;
- **Gebiedsontwikkeling BSK:** Een grote binnenstedelijke gebiedsontwikkeling is die van het BSK-gebied. Dit betreft nieuwbouw in een mix van functies. Voor de warmtevoorziening is de verwachting dat overwegend WKO ingezet gaat worden (individueel of collectief). Deze nieuwbouw wordt daarom niet meegenomen in de basecase. Een mogelijke upside is het leveren van warmte vanuit de warmterotonde voor het regenereren van de WKO-bronnen.

.

4 Warmtebronnen

In Apeldoorn zijn verschillende warmtebronnen onderkend. De belangrijkste is de RWZI in Noord-Apeldoorn, waarbij warmte uit effluent (rioolwater) wordt gehaald, het concept thermische energie uit afvalwater (TEA). Daarnaast zijn geothermie en restwarmte relevant. Ook kunnen thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), grootschalige lucht/water warmtepompen deel uitmaken van de bronnenmix. Tot slot zijn piek en back up bronnen nodig met een lage CapEx-intensiteit. Deze bronnen worden in combinatie met elkaar ingezet, zie Figuur 13. Daarbij is ook warmteopslag relevant om zo de beschikbare bronnen beter te kunnen benutten. Wel zijn met warmteopslag investeringen gemoeid en treden er verliezen op. Opslag moet dan ook afgewogen worden tegen het installeren van extra vermogen voor warmteproductie.



Figuur 13: Jaarduurcurve warmtevraag en de invulling met verschillende soorten warmtebronnen leidend tot een bronnenstrategie voor de warmterotonde

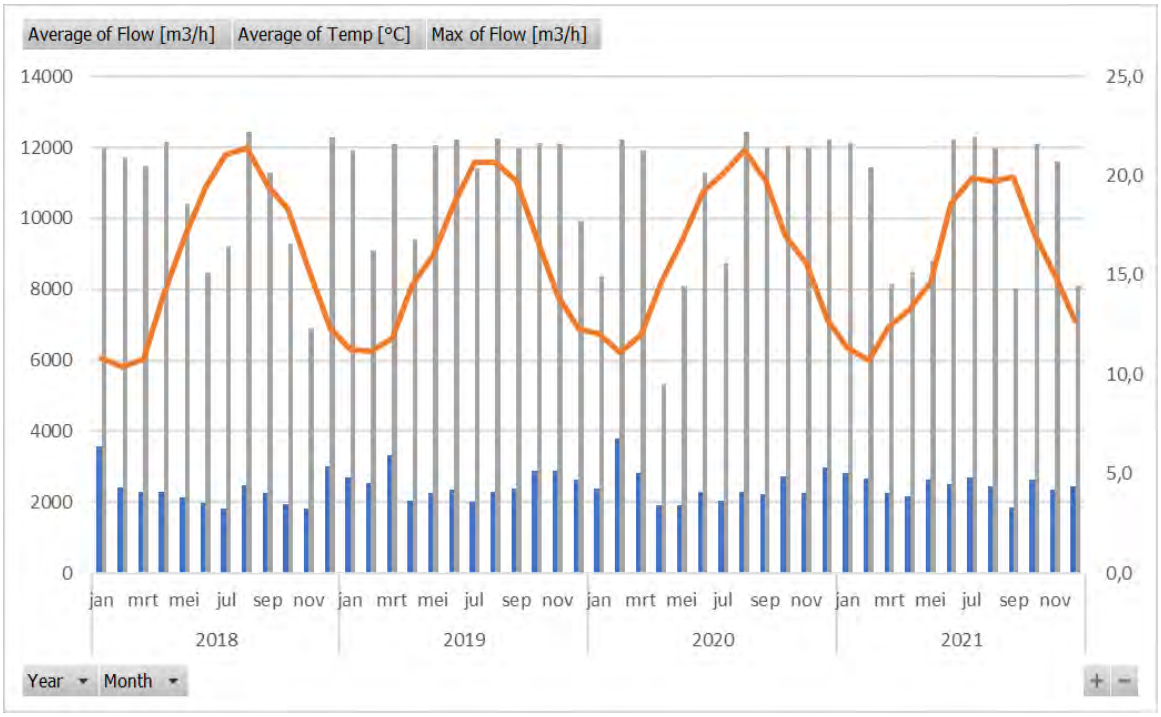
4.1 RWZI, TEA warmte

Een analyse is uitgevoerd op de mate waarin TEA warmte is te onttrekken aan de RWZI in Apeldoorn, dit op basis van het aanbodpatroon van effluent. Deze paragraaf presenteert de resultaten van de berekeningen, uitgevoerd met een Excel rekenmodel.

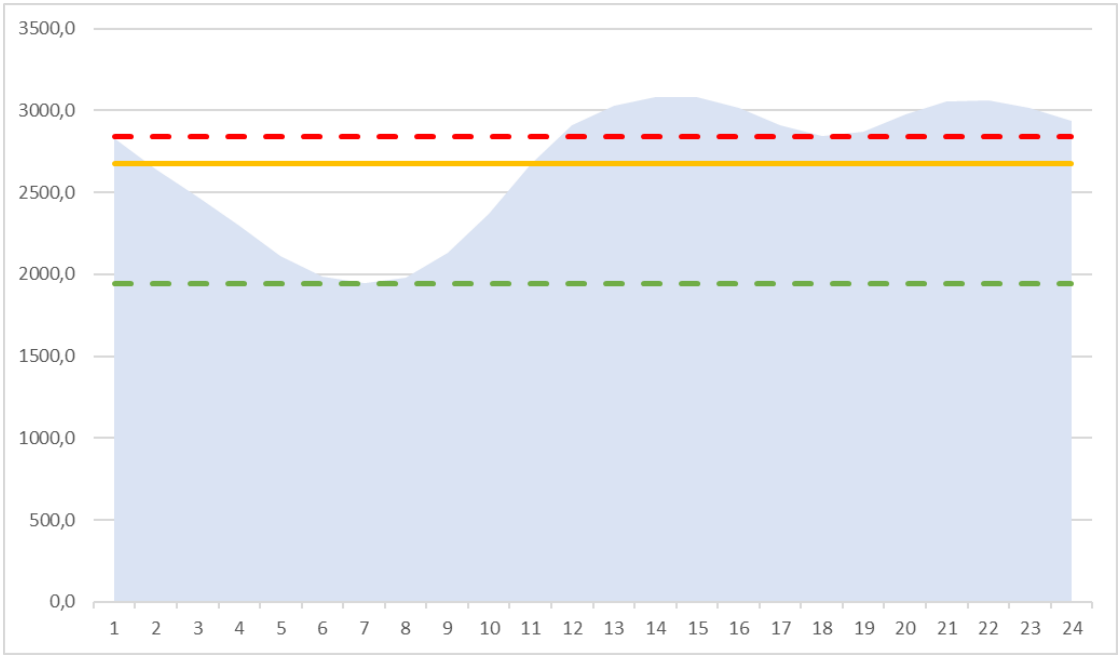
Uitgangspunten:

- Uitkoeling van het effluent vindt plaats tot de maximaal door RWS toegestane 4°C;
- De ingaande temperatuur van het effluent is gebaseerd op de tijdreeks 2018 - 2021, uurwaarden;
- Aantal bedrijfsuren van TEA is gesteld op 7.000 uur per jaar.

In onderstaande Figuur 14 en Figuur 15 is het aanbod van effluent, zowel het debiet als het temperatuurverloop, vanuit de RWZI over de periode 2018 tot en met 2021 inzichtelijk gemaakt.



Figuur 14: Aanbod van effluent over de periode 2018 tot en met 2021, flow en temperatuur, Maandwaarden, Temperatuur varieert tussen de 10 en 21°C. Oranje=maandgemiddelde temperatuur effluent; Grijs: maximaal debiet in m^3 per uur optredend in een maand; Blauw: maandgemiddeld debiet in m^3 per uur



Figuur 15: Verloop effluent debiet over de dag in m^3/uur; Lichtblauw: debiet van uur tot uur in m^3 per uur; Groene lijn: minimale debiet in de ochtend (0.00 tot 12.00), waarde 1.942 m^3/uur; Oranje lijn: daggemiddelde debiet voor dimensionering TEA, waarde 2.675 m^3/uur; Rode lijn: minimale debiet in de middag (12.00 tot 24.00), waarde 2.841 m^3/uur

Tussenresultaten:

- Minimaal effluent debiet, optredend in de ochtend 1.942 m^3/uur;
- Minimaal effluent debiet, optreden in de middag 2.841 m^3/uur;
- Daggemiddelde debiet voor dimensionering TEA 2.675 m^3/uur;
- Thermisch vermogen behorend bij optimale flow 50 MWth, input warmtepomp.

Het thermisch vermogen volgt uit het daggemiddelde debiet van 2.675 m^3/uur en een ingaande effluenttemperatuur van 20,1°C met een uitgaande effluenttemperatuur van 4°C. De uitkoeling is 16,1°C. Uitgaande van een Cp waarde van 4,187 J/kgK bedraagt het thermisch vermogen 50 MW. Het thermisch vermogen is gebaseerd op de gemiddelde situatie in de zomermaanden.

Een effluentbuffering kan worden ingezet voor het opvangen van fluctuaties over de dag. Het effluent overschot dat in het tweede deel van de dag optreedt, kan zo in het eerste deel van de dag alsnog worden benut. De gewenste omvang van de effluent buffercapaciteit staat gelijk aan 3 uur overschotbuffering. De bijbehorende buffercapaciteit is 2.197 m^3. Uitgaande van een hoogte van 10 m heeft de buffer een doorsnede van 16,6 m ($V = \pi \times r^2 \times h$). Bij een hoogte van 5 m is de doorsnede van 23,7 m. Het zou een waardevolle verbetering zijn van de potentie van de bron, echter op dit moment is hiervoor geen fysieke ruimte onderkend op het terrein van de RWZI.

Het aanbod van warmte uit de RWZI is anticyclisch met de warmtevraag, wat vraagt om seizoensbuffering. Dit soort buffering vraagt echter enorme volumes, wat alleen ondergronds mogelijk is door de warmte op te slaan in aquifers (HTO). Seizoensbuffering wordt nog niet meegenomen in de basisvariant, dit wordt gezien als een potentiële upside. Wel is in Case 2 berekend hoeveel dit extra zou kunnen brengen aan warmtepotentieel vanuit de RWZI.

Gerekend wordt met een COP van 4,0[32] voor de warmtepomp. De warmtepomp brengt de temperatuur van de warmte onttrokken aan het effluent omhoog naar MT-niveau. Het nominale elektrische vermogen van de warmtepomp is 16,5 MWe, dat is 18,5 MVA bij cos phi 0,9. Thermisch ingaand vermogen 50 MWth nominaal. Thermisch uitgaand vermogen 66,5 MWth nominaal.

Resultaat zonder effluent buffering bij 7.000 bedrijfsuren (zie ook Tabel 3):

- Gemiddelde flow 1.900 m^3 per uur;
- Maandgemiddelde temperatuur 15,7 °C;
- Gemiddeld vermogen effluent 25,9 MWth;
- Gemiddeld vermogen warmtepomp 34,6 MWth bij 8,7 MWe;
- Warmteproductie uitgaand warmtepomp 871 TJ per jaar.

[32] *Waarde vergelijkbaar met waarde die PBL hanteert is het SDE++ advies 2024, rekening houdend met effect schaalgrootte verschil.*

Tabel 3: Warmteproductie RWZI TEA zonder effluentbuffer, Case 1

Maand	Gem. T in °C	MWth in	MWth uit	GJ/maand
Januari	11,4	16,3	21,7	45.580
Februari	10,8	15,1	20,2	42.366
Maart	11,8	17,2	22,9	48.026
April	14,1	22,4	29,8	62.675
Mei	16,1	26,7	35,6	74.812
Juni	19,0	33,1	44,1	92.661
Juli	20,4	36,3	48,4	101.743
Augustus	20,8	37,1	49,4	103.748
September	19,7	34,8	46,4	97.363
Oktober	17,3	29,4	39,2	82.354
November	14,9	24,2	32,2	67.684
December	12,5	18,8	25,1	52.619
			Totaal	871.629

Resultaat met effluent buffering 2.197 m^3 bij 7.000 bedrijfsuren (zie ook Tabel 4):

- Gemiddelde flow 2.600 m^3 per uur;
- Maandgemiddelde temperatuur 15,7°C;
- Gemiddeld vermogen effluent 35,5 MWth;
- Gemiddeld vermogen warmtepomp 47,3 MWth bij 11,8 MWe;
- Warmteproductie uitgaand warmtepomp 1.193 TJ per jaar.

Tabel 4: Warmteproductie RWZI TEA met effluentbuffer, Case 2

Maand	Gem. T in °C	MWth in	MWth uit	GJ/maand
Januari	11,4	22,3	29,7	62.372
Februari	10,8	20,7	27,6	57.974
Maart	11,8	23,5	31,3	65.720
April	14,1	30,6	40,8	85.766
Mei	16,1	36,6	48,7	102.375
Juni	19,0	45,3	60,4	126.799
Juli	20,4	49,7	66,3	139.227
Augustus	20,8	50,7	67,6	141.971
September	19,7	47,6	63,4	133.233
Oktober	17,3	40,2	53,7	112.694
November	14,9	33,1	44,1	92.620
December	12,5	25,7	34,3	72.005
			Totaal	1.192.756

Wat opvalt aan voorgaande tabellen is dat juist in de winter het aanbod van RWZI-warmte laag is, terwijl de warmtevraag hoog is. Het maandgemiddeld beschikbaar vermogen ligt op minimaal 27 MWth. Ook zal het overschot in de zomer niet direct volledig bruikbaar zijn, tenzij het mogelijk is om dit in een HTO-voorziening op te slaan. Dit wordt niet aangenomen in de base case.

Gemiddelde capaciteiten en vollasturen warmteleiding bij 66,5 MWth vanuit RWZI bezien:

- Case 1 34,6 MWth en 871 TJ/jaar 4.560 vollasturen productie;
- Case 2 47,3 MWth en 1.193 TJ/jaar 6.230 vollasturen productie.

In hoeverre de uitgaande capaciteit van de RWZI en daarbij behorende bruto te leveren warmte kan worden benut, uitgaande van de base case zonder seizoensopslag warmte (HTO), hangt af van:

- De jaarduurcurve van de warmtevraag volgens variant hoge warmtevraagdichtheid;
- In het bijzonder de vraag naar warmte in de winter wanneer hoge basislast is vereist;
- De mate waarin dag/nacht buffering wordt toegepast warmtenet zijdig.

Een productiecapaciteit van ruim 60 MWth (inclusief Kerschoten) is mogelijk vanuit de RWZI bezien gedurende de zomermaanden. Voor het bepalen van de capaciteit van de backbone is nu uitgegaan van 40 MWth wat, door extra bronvermogen bij te plaatsen, kan groeien tot maximaal 60 MWth. Een deel van de warmte die door de RWZI netto geleverd wordt aan het warmtenet gaat verloren door leidingverliezen in hoofdtransport en distributie. Dit leidingverlies is vooralsnog gesteld op 20%.

Inzet RWZI voor Kerschoten

Voor Kerschoten wordt op dit moment een warmtenet ontwikkeld waarbij de RWZI ook als warmtebron wordt gebruikt. Het benodigde piekvermogen voor Kerschoten is berekend op 30 MWth. In het huidige warmteconcept wordt het volledige piekvermogen van 30 MWth uitgekoppeld van de RWZI zodat in combinatie met opslag maximaal gebruik gemaakt kan worden van warmte uit de RWZI.

Bij de ontwikkeling van de warmterotonde zal de warmtevraag veel groter worden en de RWZI als basisbron ingezet gaan worden voor Kerschoten én de warmterotonde. Dit zorgt ervoor dat de potentie van de RWZI maximaal benut kan worden. Als uitgangspunt is genomen dat de RWZI per jaar 135 TJ aan warmte produceert voor Kerschoten bij 5 MWth. Omdat wordt aangenomen dat het warmtenet Kerschoten volledig gebruik gaat maken van de warmte van de RWZI is minder warmte beschikbaar voor de rest van de stad. Het gevolg is dat bij ontwikkeling van de warmterotonde de bronnenmix verder aangevuld moet worden, dit bij voorkeur in combinatie met opslag.

4.2 Ondergrond als warmtebron

De ondergrond kan op verschillende wijzen relevant zijn in relatie tot het ontwerp van de warmterotonde, Van diep naar ondiep kunnen vier diepteniveaus worden onderscheiden:

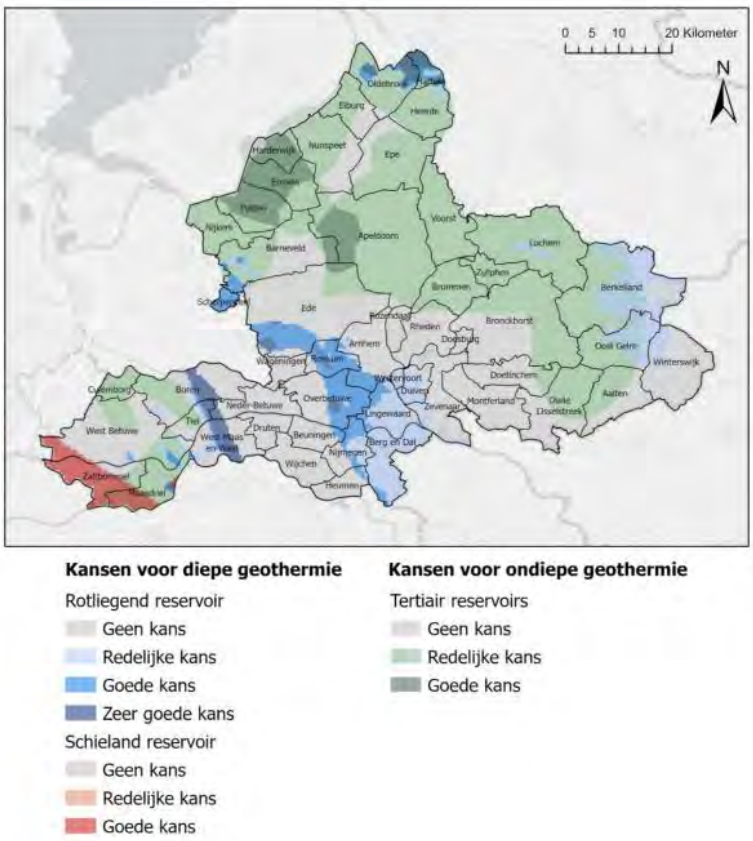
- Diepe geothermie — Direct gebruik van warmte, temperatuur boven de 60°C;
- Ondiepe geothermie — Gebruik van warmte met behulp van warmtepomp;
- Hoge temperatuur opslag — Seizoensopslag van warmte;
- WKO — Warmte en koude opslag.

De kenmerken hiervan zijn:

- Hoe dieper de boring, hoe meer ruimte bovengronds nodig is. Bij diepe geothermie kan worden uitgegaan van 1 ha bovengronds;
- Het gaat hier om permeabele zandlagen in de ondergrond waar water doorheen kan lopen;
- Omdat het kapitaalsintensief is, is het aantal vollasturen per jaar belangrijk voor de rentabiliteit;
- Het is risicovol, pas na de onderzoeksboring is duidelijk of rendabel energie ontsloten kan worden;
- De winning van warmte uit geothermie wordt gekenmerkt door een relatief hoge COP, dus er wordt veel warmte gewonnen op basis van relatief weinig elektriciteit;
- De warmteverliezen bij ondergrondse warmteopslag kunnen oplopen tot ongeveer 20%.

4.2.1 Geothermie

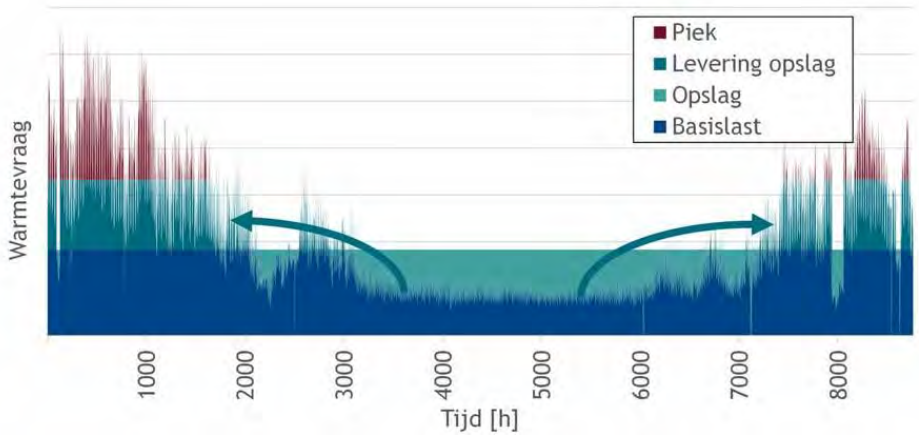
Op een diepte tussen de 1.000 en 2.000 m lijkt geen geschikte aardlaag aanwezig te zijn in Apeldoorn voor diepe geothermie van enige omvang. Winnen van geothermische warmte op hoge temperatuur is dus weinig kansrijk. Tot 500 m zijn er wel kansen voor ondiepe geothermie, in de aardlaag Heers, Brussel of Vessem, zie ook Figuur 16. Het temperatuurniveau ligt tussen de 30 en 40°C. Een onderzoeksboring moet meer duidelijkheid geven over het potentieel en de locaties voor geothermie. Inmiddels is bekend geworden dat de voorgenomen boring door EBN in de directe nabijheid van Apeldoorn niet doorgaat.



Figuur 16: Potentiekaart geothermie[33]

4.2.2 Hoge Temperatuur Opslag

De mogelijkheden voor Hoge Temperatuur Opslag (HTO) zijn met name kansrijk aan de oostrand van de stad Apeldoorn, en mogelijk op bedrijventerreinen. Aan de westrand is dit niet mogelijk vanwege de waterwin- en natuurgebieden. Een HTO kan plaatsvinden door het aanboren van de aardlaag Maassluis (200 m), Oosterhout (250 m) of dieper Breda (300 m). Een aandachtspunt hierbij is de brak-zout grens onder de Maassluis laag op 250 m, dit geeft een risico van menging.



Figuur 17: Voorbeeld van het inpassen van een HTO op basis van de warmtevraag door het jaar heen. Warmteoverschot in de zomer wordt opgeslagen in de HTO om vervolgens in koude perioden te worden ingezet

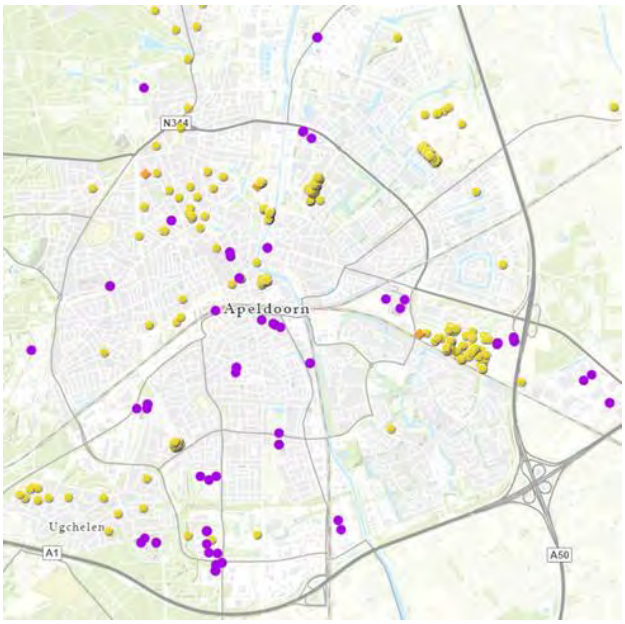
[33] https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2023/03/Potentieonderzoek-Geothermie-Gelderland.pdf

4.2.3 WKO

In de stad Apeldoorn zijn er wisselende mogelijkheden voor toepassing van Warmte koude Opslag (WKO). Dit wordt veroorzaakt door de variërende dikte van het laagpakket van Twello. Van west naar oost varieert de dikte van 0 tot 100 meter. Daardoor varieert de potentie voor WKO grofweg van meer dan 150 m^3/h in het westen tot 0 tot 50 m^3/h in het oosten. Een laag debiet maakt WKO nog niet onhaalbaar voor een enkel gebouw of complex. Echter betekent dit voor grootschalige toepassing van WKO wel dat de potentie laag is omdat er relatief veel bronnen nodig zijn.

In Figuur 18 zijn de bestaande WKO-systemen in Apeldoorn weergegeven. WKO is vooral toegepast bij utiliteitsbouw verspreid de stad. Deze hebben een decentrale warmte koude voorziening. WKO kan de warmterotonde ontlasten door het in te zetten bij nieuwbouw en gebouwen die geschikt zijn voor LT-warmte. Tevens kan de warmterotonde worden gebruikt als regeneratiebron voor de WKO-systemen.

WKO, daar waar mogelijk en zinvol, krijgt voorrang op de warmterotonde. Het WKO potentieel van de stad is significant, maar wel sterk afhankelijk van de locatie. WKO vindt al toepassing in Apeldoorn en uitbreiding is mogelijk. Vooral in de utiliteit waarbij de schaalgrootte en de vraag naar koude matchen met WKO. Voor toepassing van WKO is een lage temperatuursysteem vereist. Bij bestaande bouw vereist dit de nodige aanpassingen. Nog niet duidelijk is waar WKO toegepast kan worden. Een indicatie van de impact op de vraagreductie van de warmterotonde is 10%. Insteek is om WKO's in symbiose met de warmterotonde te ontwikkelen, het balanceren van WKO's kan dan met zomerse warmte overschotten van de warmterotonde gebeuren. Dit is een wederzijdse win win.



Figuur 18: Overzicht van de open (paars) en gesloten (geel) WKO-systemen in Apeldoorn (bron: WKOtool, juli 2024)

WKO-concept in combinatie met stadsverwarming

Bij het nieuwbouwproject CityPlot Buiksloterham in Amsterdam wordt een innovatieve techniek ingezet om huizen te verwarmen. Het gaat om een combinatie van stadswarmte met koudelevering, ook wel hybride WarmteKoudeOpslag (hWKO) genoemd. Deze techniek helpt om netcongestie te beperken. Het project is onderdeel van Westpoort Warmte, een samenwerking tussen de gemeente Amsterdam en Vattenfall. De duurzame warmte voor de huizen wordt geleverd via het stadswarmtenet waardoor met een veel kleinere WKO-installatie in de totale energiebehoefte kan worden voorzien. WKO-projecten zijn een voorbeeld van zogeheten vierde generatie warmtenetten. De warmte- en koudeopslag levert koeling op warme dagen en ruimteverwarming tot 40°C.

"We zien door eisen in de BENG (Bijna Energieneutrale Gebouwen) dat er meer en meer behoefte is aan de combinatie van duurzame warmte met koeling", zegt Michiel Houwing van Vattenfall. "Bij de bouw van nieuwe woningen en appartementen, maar ook van kantoren en bijvoorbeeld schoolgebouwen, is er steeds meer oog voor koelingsoplossingen. Zeker in gebieden waar al een stadwarmtenet ligt, is de keuze voor een hybride WKO logisch. Je profiteert aan de ene kant van koeling van de WKO en aan de

andere kant is je warmtelevering door de koppeling met stadswarmte extra stabiel en betrouwbaar. Daarnaast zijn er in individuele woningen geen eigen warmtepompen nodig, wat veel ruimte in de woning bespaart." (Bron: Vattenfall).

4.3 Zonthermie

Zonthermie wordt in toenemende mate toegepast in stadsverwarming. Een van de eerste projecten is het Zoneiland van Vattenfall in Almere[34] en nu wordt zonnewarmtepark Dorkwerd gebouwd die warmte gaat leveren aan de stad Groningen [35]. De zonthermieparken leveren warmte in basislast, een functie die in Apeldoorn door de RWZI wordt vervuld. In Apeldoorn kan een zonthermiepark tot zijn recht komen als die gecombineerd kan worden met HTO zodat de warmte die zomers geoogst wordt in de winter kan worden ingezet. Omdat het HTO potentieel op dit moment nog onzeker is wordt zonthermie niet ingezet in de basisvariant van de warmtepompen. Ook omdat zonthermie veel ruimte vraagt en ruimte een schaars en kostbaar goed is. Mocht er in de toekomst ruimte komen voor een zonthermiepark dan kan deze warmte alsnog via de warmterotonde nuttig grootschalig worden ingezet.

Zonthermie is, naast grootschalig, kleinschalig mogelijk met zonnecollectoren op dak i.c.m. een warmwatervat in de woning. Experimenten zijn uitgevoerd voor teruglevering van deze zonnewarmte aan het warmtenet van Eneco in Ypenburg, dit heeft geen opvolging gehad. In Apeldoorn wordt deze vorm van teruglevering weinig kansrijk geacht omdat de RWZI via de warmterotonde op zonnige dagen naar verwachting genoeg warmte kan leveren om de vraag te dekken. Ook hier geldt, wanneer HTO kan worden toegepast dan hoeft zomerse warmte niet verloren te gaan.

4.4 Bronnenstrategie

De bronnenstrategie geeft voorrang aan die bronnen die CapEx intensief zijn en elektriciteit extensief. Dit leidt tot de volgende inzetstrategie:

- Geothermie, echter op dit moment niet beschikbaar;
- RWZI TEA in combinatie met effluent buffering;
- Hoge temperatuuropslag in middenlast, inzet van zomerse geothermie en TEA warmte;
- Water/water warmtepompen (TEO) voor zover winbaar;
- Lucht/water warmtepompen;
- Bio-olie of duurzame gasvormige brandstof voor piek en back up;
- Zonthermie, aanvullend daar waar zinvol, al dan niet gecombineerd met WKO.

De verwachting is dat TEA en ondiepe geothermie in grote mate vergelijkbaar zijn. Ondiepe geothermie is naar verwachting CapEx intensiever, maar zal een hogere COP (= minder elektriciteit) vragen. Omdat ondiepe geothermie op dit moment niet exploiteerbaar is, wordt TEA RWZI daarom de basislastbron. De inzet van middenlast gebeurt waar mogelijk met HTO en daarnaast met lucht/water warmtepompen. Piek en back up wordt verzorgd door gasvormig of vloeibare duurzame brandstoffen om zo het elektriciteitsnet te ontzien in de winter. Inzet van E-boilers wordt niet overwogen.

[34] *https://www.vattenfall.nl/stadsverwarming/almere/*
[35] *https://warmtestad.nl/duurzame-warmte/zonnewarmtepark*

5 Warmtesysteem

Op grond van de inzichten in de warmtevraag, het warmteaanbod en mogelijke warmteopslag is een conservatieve base case van het warmtesysteem voor de warmterotonde vastgesteld, inclusief een voorstel voor de daarbij behorende fasering in de realisatie. Vanuit deze base case zijn de varianten verkend die relevant en realistisch lijken. De base case en systeemvarianten zijn getoetst met een MCA-analyse en zo mogelijk geoptimaliseerd. Dit wordt vergeleken met de variant waarbij er geen warmtenet is, maar individuele bewoners hun warmtevraag invullen met individuele warmtepompen.

5.1 Uitvoeringsvarianten

Het ontwerp van de warmterotonde loopt langs twee dimensies, zie tabel:

- Hoog en laag scenario warmtevraag. In het basisscenario (Laag scenario) alleen de warmteclusters met hoge warmtevraagdichtheid bedienen, met als groeimogelijkheid uitbreiding naar andere stadsdelen (Hoog scenario);
- Bronnenmix met en zonder intensief gebruik van de ondergrond. Vanwege de op dit moment nog grote onzekerheid van de geothermische mogelijkheden is in de basis variant uitgegaan van geen geothermie toepassen, indien dit wel kan zou dit een meerwaarde kunnen bieden.

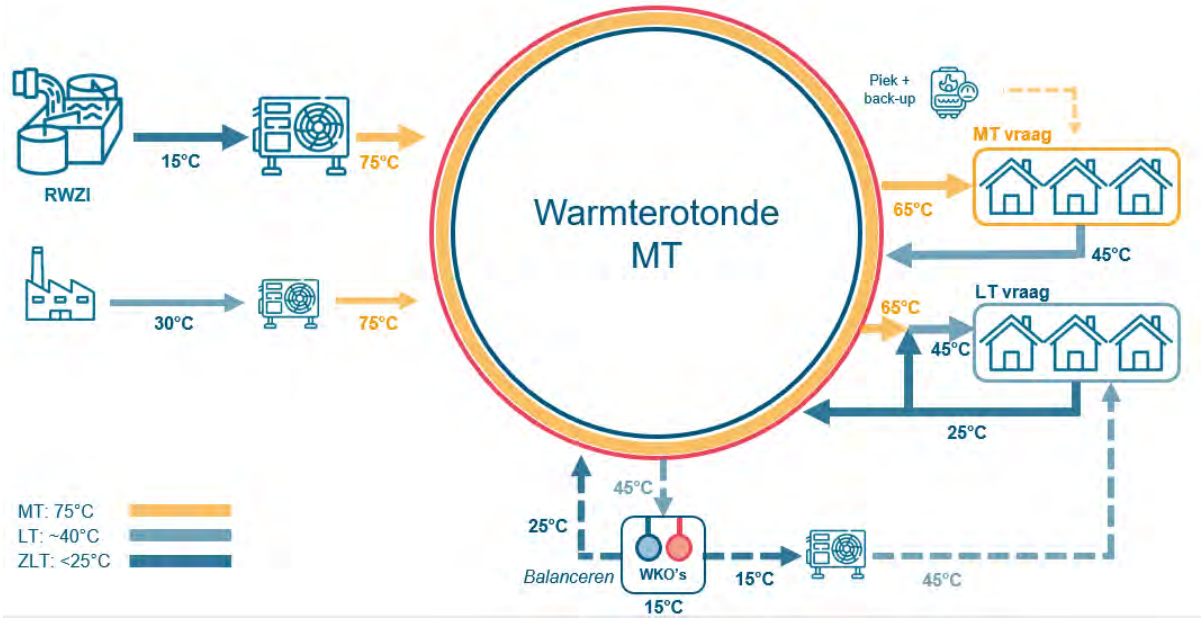
Hoe meer + bij COP des te lager de elektriciteitsvraag per geleverde GJ warmte.

Scenario matrix	Hoge warmtevraag	Lage warmtevraag
Wel geothermie	**Lage inzet lucht WP** **COP ++**	**Geen inzet lucht WP** **COP +++**
Geen geothermie	**Hoge inzet lucht WP** **COP +/-**	**Basis variant:** **Lage inzet lucht WP** **COP +**

Referentie: individuele lucht /water warmtepomp

5.2 Basisvariant

De basis variant is de uitvoeringsvorm van de WRA waarvan relatief zeker is dat deze maakbaar en uitvoerbaar is, waarbij de beschikbare grootschalige warmtebronnen optimaal worden benut en waarbij de warmtevraag in delen van de stad met een geconcentreerde warmtevraag wordt ingevuld. Naast deze base case hebben wij enkele uitvoeringsvarianten nader verkend om zo een onderbouwde uitspraak te kunnen doen over hoe WRA het best kan worden uitgevoerd.



Figuur 19: Principeschema van de warmterotonde, basisvariant

De basisvariant wordt als volgt gedefinieerd, zie ook figuur 19:

- Van de vier beschouwde uitvoeringsvarianten (zie par 5.1) wordt de variant met een lage warmtevraag en geen geothermie, dus ook geen HTO leidend. Dit is de variant met de beste match tussen vraag en aanbod en met de grootste bronzijdige zekerheid op dit moment. Daarmee de variant die het meest zeker is dat zij ook daadwerkelijk uitgevoerd kan worden. De andere varianten hebben onzekerheden die alleen door nader onderzoek kunnen worden weggenomen en wel op de volgende manier:
  - Onderzoeksboring geothermie en HTO, zoals eerder was voorzien door EBN maar vooralsnog helaas geannuleerd;
  - Verkenning van 'overschot' warmte (groeimogelijkheid uitbreiding naar andere stadsdelen) na invulling van de basis variant[36].
- Warmtevraag scenario volgens variant hoge warmtevraagdichtheid (zie paragraaf 3.4), dat is alleen die gebieden beschouwen met hoge warmtevraag dichtheid. In dit scenario is 20% van de aansluitingen LT-ready;
- Warmtelevering vindt plaats op MT-niveau, dat is 75°C bij de bron en 65°C aan de voordeur;
- Warmte wordt op maat gemaakt bij de bron, hoofdtransportnet opereert dus op MT-niveau;
- Met uitzondering van isolatie naar minimaal label C en installeren van een afleverset zijn er geen verdere aanpassingen achter de voordeur nodig;
- Een afname van 10% op de warmtevraag wordt toegepast om zo rekening te houden met afname van graaddagen in de toekomst, verdergaande isolatie op termijn en gedrag als reactie op naar verwachting duurder wordende warmte;
- Een aansluitgraad van uiteindelijk 90% wordt verondersteld binnen het WRA-gebied, 10% wordt dus ingevuld met individuele warmteoplossingen, oftewel Lu/Wa water warmtepomp;
- Alleen zekere bronnen worden ingezet, dus restwarmte en TEA. Dus geen ondiepe geothermie, waarvan de onderzoeksboring voorlopig niet doorgaat en daarmee het potentieel onzeker blijft;

[36] *De haalbaarheidsstudie leert dat van een overschot geen sprake is als alleen de RWZI als grootschalige bron kan worden ingezet. Kunnen andere bronnen, zoals geothermie, ingezet worden dan kan alsnog een overschot ontstaan.*

- Buffers worden toegepast in de WRA: dit betreft TEA warmtebuffering bij RWZI en dag/nacht warmtebuffering gericht op peak shaving zo mogelijk decentraal geplaatst in de wijk;
- Collectieve Lu/Wa WP worden toegepast, zo mogelijk decentraal in de wijk om in de middenlast warmte te voorzien. De inzet hiervan wordt beperkt; met name gericht op het vullen van het 'gat' tussen de basislast bronnen en de piek/back up bronnen, om zo een beroep op de lokale netcapaciteit zo klein mogelijk te houden;
- Piek en back up bronnen worden zo mogelijk decentraal in de wijk toegepast. In eerste instantie met aardgas, later met duurzaam gas en/of duurzame vloeibare brandstof. Niet met elektriciteit;
- Voor warmteverliezen in het systeem wordt 20% op jaarbasis aangehouden;
- Bij LT ready woningen en gebouwen wordt bij voorkeur WKO toegepast als beter alternatief voor Lu/Wa WP. Wanneer WKO mogelijk is dan is direct aansluiten op WRA niet nodig, alleen wellicht voor regeneratie van de WKO;
- De gefaseerde ontwikkeling van de WRA vindt plaats over periode 2030 t/m 2050;
- In koeling wordt voorzien wanneer aangesloten wordt op WKO. WRA beschikt dus niet over een 4-pijps systeem met een koudenet. Reden om dit achterwege te laten is dat het perspectief op een verdienmodel voor collectieve koude voorziening in de bestaande bouw ontbreekt;
- Koeling in WRA-gebied met airco, bij voorkeur in combinatie met zonPV op het dak.

5.3 Expertsessie systeemvarianten

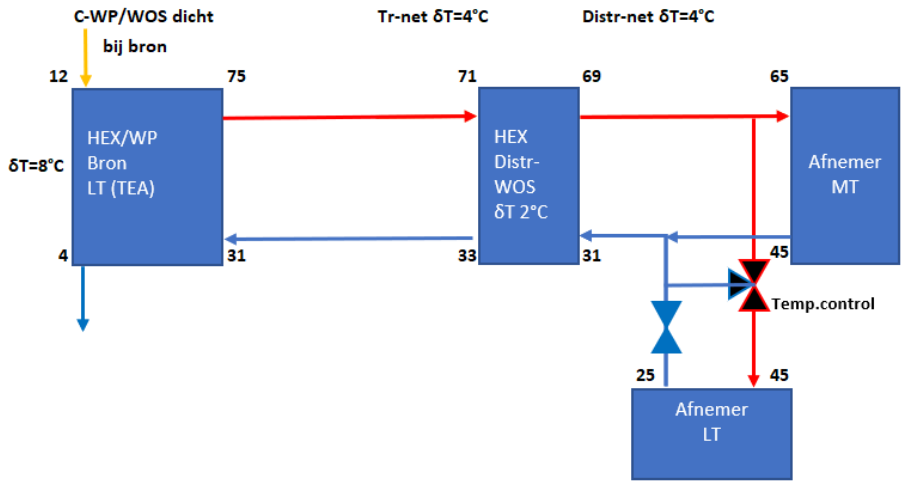
Om tot een keuze voor een gedragen warmtesysteemvariant te komen voor nadere uitwerking van de warmterotonde is er op 16 februari 2024 een expertsessie gehouden met externe deskundigen, met als doel een gezamenlijk gedeeld beeld krijgen van de meest geschikte warmtesysteemvariant. In bijlage 2 een overzicht van de personen die hebben deelgenomen aan de Expertsessie.

5.4 Definitie systeemvarianten

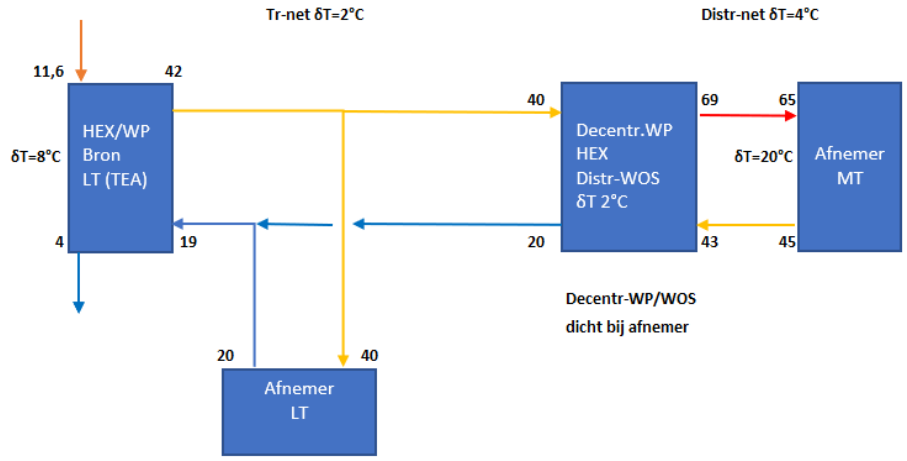
We onderscheiden als systeemvarianten verschillende temperatuurvarianten, die we als volgt definiëren:

- MT-net:
  - Warmtepompcentrale bij de hoofdbron; opwaardering LT naar MT;
  - Warmtenet op midden temperatuur (MT) waarbij 55≤Ta≤75℃ met een gehanteerde aanvoertemperatuur van 75°C;
  - Warmtelevering bij MT-afnemer 65°C; met cascadering naar LT-afnemer 40°C;
- LT-net:
  - Warmtenet op lage temperatuur (LT) waarbij 25≤Ta≤55°C met een gehanteerde aanvoertemperatuur van 40°C;
  - Warmtelevering bij LT-afnemer 40°C;
  - Warmtepompcentrale decentraal in de wijk; opwaardering LT naar MT;
  - Warmtelevering bij MT-afnemer 65°C;
- LT-levering:
  - Warmtenet op lage temperatuur (LT) waarbij 25≤Ta≤55°C met een gehanteerde aanvoertemperatuur van 40°C;
  - Warmtelevering bij afnemer 40°C;
  - Opwaardering achter de voordeur naar tapwaterniveau 65°C.

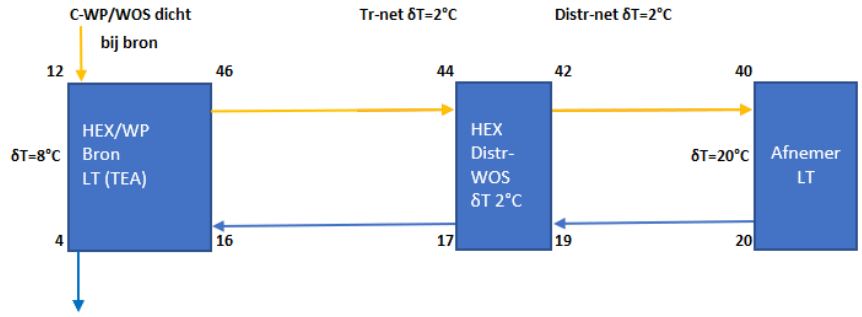
De drie systeemvarianten zijn schematisch weergegeven in de Figuren 20 (MT-net), 21 (LT-net) en 22 (LT-levering). Met een multi ctriteria analyse zijn de systeemvarianten zijn onderling nader met elkaar vergeleken. Als eerste zijn de criteria gedefinieerd, zie 5.5, vervolgens is de analyse uitgevoerd, zie 5.6.



Figuur 20: Principeschema van MT-net met daarnaast mogelijkheid van levering LT-warmte



Figuur 21: Principeschema van LT-net met decentrale opwaardering naar MT-warmte



Figuur 22: Principeschema van (Z)LT-levering

5.5 Definities criteria MCA

We hanteren de volgende definities voor de Multi Criteria Analyse (MCA), uitgaande van de situatie nu:

- Seizoen gemiddelde coëfficiënt of performance SCOP: De SCOP bevat de bijdrage aan de warmteopwekking van alle componenten in elke configuratie (de hoogste COP scoort het beste, de laagste scoort het slechtste);
- Toekomstbestendigheid van het warmtenet: De beschikbaarheid van (Z)LT-warmtebronnen is groter dan de beschikbaarheid van HT-warmtebronnen. Een warmtenet ontworpen voor lage temperatuurlevering is bronflexibeler, verlaagt de inzet van een warmtepomp en zal daardoor toekomstbestendiger zijn. Dit onder de voorwaarde dat warmteafnemers met (Z)LT-warmte uit de voeten kunnen;
- Bediening van de koelvraag: In hoeverre kan het systeem de toekomstige koelvraag bedienen?
- CO_2 uitstoot: De CO_2 uitstoot bevat bijdrage door het elektriciteitsverbruik van de apparatuur, zoals warmtepompen, elektrische ketels, pompen, etc. Het elektriciteitsverbruik is sterk gekoppeld aan de SCOP en de piekvoorziening; een hogere SCOP resulteert in een lager elektriciteitsverbruik. De CO_2-emissiefactor is de afgelopen tien jaar al gehalveerd, en zal richting 2050 tot nagenoeg nul dalen vanwege het steeds grotere aandeel duurzame bronnen. Dat betekent dat op termijn het totale elektriciteitsverbruik en vooral het tijdstip waarop elektriciteit wordt verbruikt wel van invloed is op de OPEX, maar niet op de CO_2 uitstoot;
- Robuustheid Dunkelflaute: De robuustheid van het E-net voor Dunkelflaute wordt in algemene zin bepaald door het opgestelde elektrische vermogen. Buffering is hierbij van belang;
- CAPEX: Wat zijn de totale investeringskosten van de gehele levenscyclus. Als de beoordeling op 4 (zeer goed) uitkomt, betekent dit de laagste kosten (nul is dus zeer hoge kosten). De CAPEX bevat de gecombineerde kosten voor bron, opslag, warmtecentrale, leidingwerk en aanpassingen op woningniveau;
- OPEX: Wat zijn de totale exploitatiekosten van de gehele levenscyclus. Als de beoordeling op 4 (zeer goed) uitkomt, betekent dit de laagste kosten (nul is dus zeer hoge kosten). De OPEX bevat de gecombineerde kosten voor onderhoud, beheer en elektriciteitsverbruik;
- Impact achter de voordeur van de woning: Buffervat, opwaardering en koeling. Veel ruimtebeslag en aanpassing geeft een lage score;
- Ruimtebeslag per collectief afleverstation: Buffervat, opwaardering. Veel ruimtebeslag geeft een lage score;
- Ruimtebeslag warmtecentrale distributie: De warmtecentrale voor het distributiesysteem verhoogt de temperatuur vanuit de bron naar de gewenste aanvoertemperatuur;
- Vereiste aanpassing gebruikersgedrag: Een warmtenet met een lagere aanvoertemperatuur en piekvermogen vraagt meer aanpassing van bewoners. Door het lagere aansluitvermogen op woningniveau duurt het opwarmen van woningen langer;
- Ruimtebeslag in de ondergrond: Een hogere aanvoertemperatuur (Ta) levert een verhoogd risico op thermische interferentie op en vereist daarom een grotere afstand tot drinkwaterleidingen. Een hogere aanvoertemperatuur vereist ook meer ruimte ten behoeve van expansiebochten;
- Verzwaring elektriciteitsnet: Het elektrische vermogen wordt gedomineerd door de gekozen elektrische piekvoorziening. De elektrische piekvoorziening staat voornamelijk centraal opgesteld. In de MT-variant zal de verzwaring van het E-net voornamelijk plaats moeten vinden op een centrale locatie;
- Thermisch vermogen / Piekvoorziening: De centrale opwaardering bij een MT net resulteert in een hogere transporttemperatuur waardoor er grotere thermische verliezen optreden over het distributienet.

5.6 Resultaten multi criteria analyse

Trade off matrix - Multi Criteria Analysis - Warmtenet-systeemvarianten

			Gemeente Apeldoorn					
	Temperatuurvariant		MT-net		LT-net		(Z)LT-levering	
	Karakteristiek		WP-centraal	+ cascadering	WP-decentraal	+ MT-levering	WP-lokaal	LT-net
	Criteria	Weging %	Beoordeling	Score	Beoordeling	Score	Beoordeling	Score
Duurzaamheid 30%	SCOP	6	2	12,00	2	12,00	3	18,00
	Toekomstbestendigheid	6	2	12,00	3	18,00	2	12,00
	Bediening van de koelvraag	6	2	12,00	2	12,00	3	18,00
	CO2 uitstoot	6	2	12,00	2	12,00	2	12,00
	Robuustheid Dunkelflaute	6	4	24,00	3	18,00	2	12,00
Kosten 30%	CAPEX	15	3	45,00	3	45,00	2	30,00
	OPEX	15	2	30,00	2	30,00	3	45,00
Draagvlak 20%	Impact achter de voordeur van de woning	5	3	15,00	2	10,00	1	5,00
	Ruimtebeslag per collectief afleverstation	2	3	6,00	3	6,00	2	4,00
	Ruimtebeslag warmtecentrale distributie	3	3	9,00	1	3,00	4	12,00
	Vereiste aanpassing gebruikersgedrag	10	4	40,00	4	40,00	2	20,00
Overig 20%	Ruimtebeslag in de ondergrond	7	2	14,00	1	7,00	1	7,00
	Verzwaring elektr.net	4	3	12,00	2	8,00	1	4,00
	Thermisch vermogen / Piekvoorziening	9	2	18,00	2	18,00	3	27,00
	Totaal	100	37,00	261,00	32,00	239,00	31,00	226,00

Score = Beoordeling * Weging

Beoordeling	Omschrijving
0	Slecht
1	Matig
2	Redelijk
3	Goed
4	Zeer goed

Weging	Omschrijving
15	Zeer belangrijk
10	Belangrijk
7	Gemiddeld
4	Minder belangrijk
2	Niet belangrijk

In bovenstaande Trade off Matrix zijn de verschillende criteria gegroepeerd in Duurzaamheid (30%), Kosten (30%), Draagvlak (20%) en Overig (20%). De wegingsfactoren zijn hierbij procentueel verdeeld. Als resultaat constateren wij dat de variant MT-net (70 tot 40 °C) met centrale opwaardering van LT naar MT het beste scoort. Met name de robuustheid bij Dunkelflaute, de impact achter de voordeur van de woning, het ruimtebeslag in de ondergrond en de verzwaring van het elektriciteitsnet scoren hier gunstig.

Dat betekent dat het MT-systeem het meest geschikte systeem is voor de bestaande bouw (80% van de stad), waarmee nu direct op een elektriciteitsluwe wijze duurzame warmte geleverd kan worden zonder al te veel gevolgen voor de bewoners, en waarbij ook LT-warmte geleverd kan worden.

5.7 Ontwerpfilosofie

Voor de warmterotonde in Apeldoorn is aan de hand van een fictief rekenvoorbeeld een analyse uitgevoerd naar het beste systeemprincipe voor het hoofdnet, met betrekking tot onder andere uitkoeling, toekomstige temperatuurverlaging en pompenergie. In deze notitie wordt kort uiteengezet wat het meest optimale systeemprincipe is met onderbouwing per criterium.

Uitgangspunten voor het ontwerp van de warmterotonde zijn:

- Temperatuurregime MT: aanvoer 70°C; retour 45°C;
- Temperatuurregime LT: aanvoer 45°C; retour 30°C;
- Hoofd- en subnetten zijn fysiek gescheiden door middel van een warmtewisselaar;

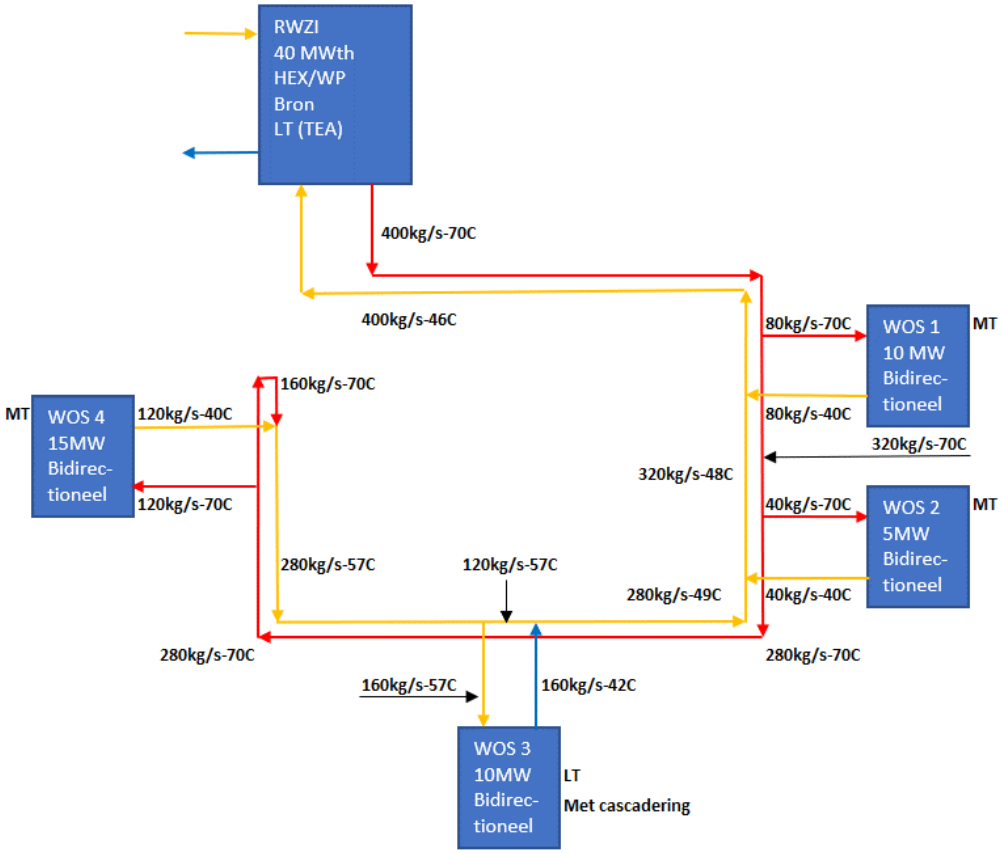
- Bron 40 MWth, als rekenvoorbeeld genomen 4 warmteoverdrachtstations met respectievelijk 10, 5, 10 en 15 MW warmtevraag. WOS 3 vraagt bovendien LT-warmte. Dit is een fictief rekenvoorbeeld, ter toetsing en vergelijking;
- Soortelijke warmte van water is 4,2 kJ/kg/K; met een uitkoeling van ca 30 graden is een debiet van circa 320 kg/s nodig.

Meegenomen zijn in ieder geval de gewenste 'gesloten' rotonde en cascadering (aansluiten op de retour van LT-vragers), in willekeurige volgorde:

- Optie 1: Open rotonde met cascadering en primaire pomp (passief systeem);
- Optie 2: Open rotonde met cascadering en secundaire pompen (actief systeem);
- Optie 3: Open rotonde zonder cascadering met secundaire pompen;
- Optie 4: Gesloten rotonde met secundaire pompen.

5.7.1 Optie 1: Open rotonde met cascadering

In Figuur 23 is een schets van optie 1 weergegeven, een fysiek open tweepijps rotonde waarin de LT-vrager (WOS 3) in cascade is aangesloten. Het systeem is passief, omdat er in het hoofdnet een masterpomp en eventueel een aantal boosterpompen aanwezig is/zijn met een continu debiet, zodat het debiet per subnet/WOS met behulp van waterzijdig ingeregelde regelkleppen moet plaatsvinden. Met behulp van terugslagkleppen wordt de stroming één kant op geforceerd.



Figuur 23: Open rotonde met cascadering

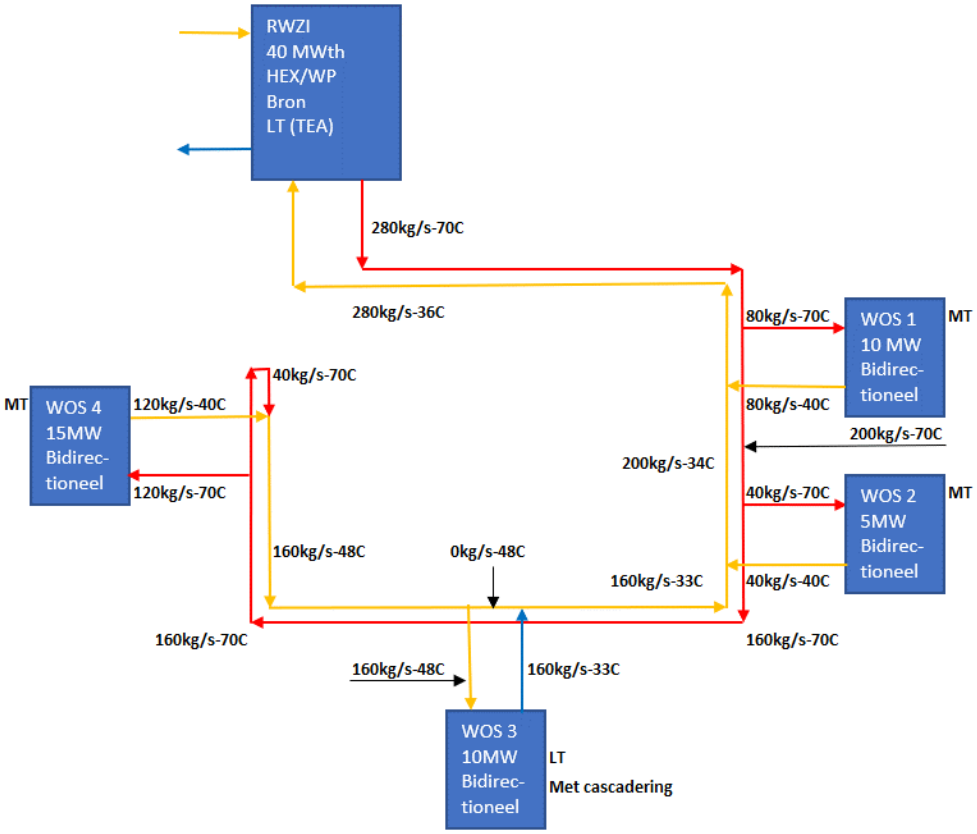
Om WOS 3 in cascade te kunnen aansluiten, is een kortsluiting van de aanvoer met de retour (na WOS 4) nodig, met een eigen regelklep. Om te voorkomen dat WOS 3 eigen afgekoeld water gaat recirculeren, is een terugslagklep tussen de aansluiting van de aanvoer en de retour nodig. Hydraulisch is dit een uitdagend systeem, omdat WOS 3 met zijn regelklep op de retour is aangesloten. Een hydraulische analyse zou uit moeten wijzen of dit een reële mogelijkheid is.

Kenmerken optie 1:

- Veel pompenergie nodig in verband met regelkleppen;
- Vast ingestelde regelkleppen niet handig bij wisselende vraag;
- Uitkoeling niet optimaal in de zomer in verband met vaste debieten;
- LT-aanvoertemperatuur is niet te regelen;
- Naar einde toe kan leidingdiameter worden verjongd.

5.7.2 Optie 2: Open rotonde met cascadering en secundaire pompen

Dit systeem is vergelijkbaar met optie 1 met het verschil, dat hier elke WOS een eigen pomp heeft waardoor het gevraagde debiet af kan hangen van de werkelijke warmtevraag (vraaggestuurd) en de uitkoeling altijd optimaal kan zijn. Omdat bij dit systeemprincipe de afnemers precies krijgen wat ze nodig hebben, is er een terugslagklep tussen de aanvoer en retour van WOS 3 nodig om ervoor te zorgen dat deze zijn eigen retourwater niet gaat bijmengen.



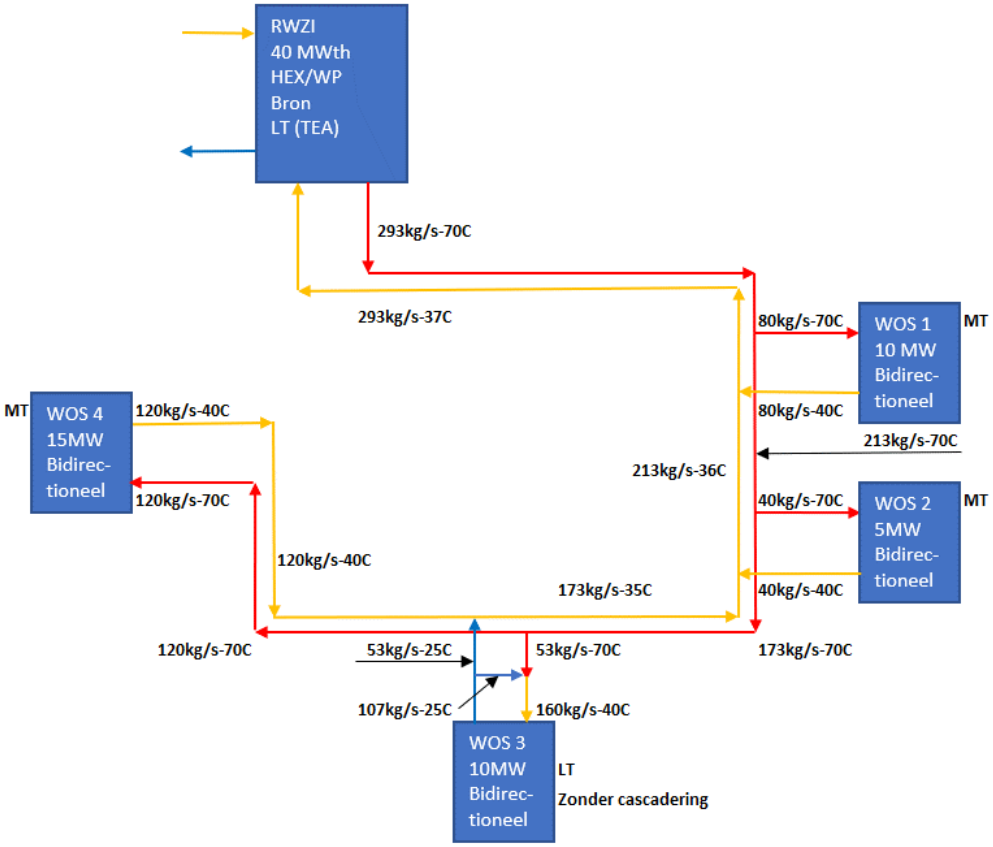
Figuur 24: Open rotonde met cascadering en secundaire pompen

Kenmerken optie 2:

- Zuinig systeem, alleen pompenergie die nodig is;
- Uitkoeling in de zomer beter door lagere debieten;
- LT-aanvoertemperatuur is niet te regelen;
- Naar einde toe kan leidingdiameter worden verjongd;
- Geregelde eindpomp nodig zodat WOS 3 niet recirculeert.

5.7.3 Optie 3: Open rotonde zonder cascadering met secundaire pompen

Dit systeem is vergelijkbaar met optie 2 met het verschil, dat de LT-afnemer ook parallel (op de aanvoerleiding) aangesloten is, zodat deze zelf zijn aanvoertemperatuur kan regelen met behulp van het ter plaatse bijmengen met eigen afgekoeld retourwater. De kortsluiting uit optie 2 kan vervallen.



Figuur 25: Open rotonde zonder cascadering

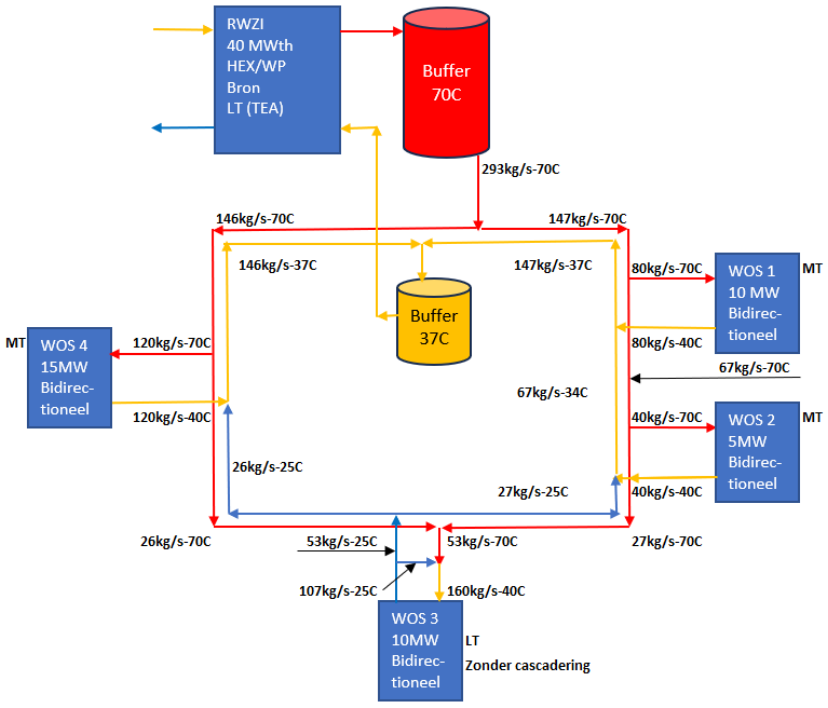
Kenmerken optie 3:

- Zuinig systeem, alleen pompenergie die nodig is;
- Uitkoeling in de zomer beter door lagere debieten;
- LT-aanvoertemperatuur is te regelen;
- Bij toekomstige overgang van de WRA op LT voor alle afnemers hoeft WOS 3 niet opnieuw aangesloten te worden. Wanneer ook huidige MT-afnemers vergelijkbaar worden aangesloten kan bij overgang op LT eventueel een WP worden bijgeplaatst om MT op WOS- of wijkniveau te maken ten behoeve van warm tapwater;
- Naar einde toe kan leidingdiameter worden verjongd.

5.7.4 Optie 4: Gesloten rotonde zonder cascadering met secundaire pompen

Wanneer optie 3 gesloten wordt biedt dit de mogelijkheid dat de stroom beide kanten op kan gaan in verband met eventueel onderhoud in een bepaald gedeelte van de stad. De eventuele buffervaten kunnen ook bij alle andere opties worden toegepast, deze zorgen ervoor dat de warmtepomp bij de RWZI de tijd krijgt om pieken en dalen in de warmtevraag op te vangen. Op zich werkt de leiding zelf ook als buffer. In een later stadium zal een dynamische berekening nodig zijn om dit verder te analyseren.

De kracht van het systeem: het van twee kanten kunnen aanvoeren van warmte, is tegelijkertijd ook een risico omdat water stil kan komen te staan. In het voorbeeld zoals in figuur 26 weergegeven, staat het water bijna stil bij WOS 3. Als het stil zou komen te staan doordat dit station minder vraagt en het drukvaltechnisch bijvoorbeeld alleen nog langs de oostkant wordt voorzien, dan zal het water tussen WOS 4 en WOS 3 na enige tijd geen 70°C meer zijn. Wanneer dan bijvoorbeeld de vraag van WOS 1 wegvalt of vermindert, duurt het even voordat de warmtepomp terug regelt. Het afgekoelde water zal, opgeduwd door het teveel aan warm water, richting WOS 3 stromen waardoor daar tijdelijk geen/minder warmte beschikbaar is. Dit probleem kan worden verholpen door een circulatiepomp/boosterpomp te plaatsen, dit is (nog) niet verder uitgewerkt. Wanneer in de toekomst extra bronnen aan het systeem worden toegevoegd heeft dit systeemtype de voorkeur. Zeker als ervoor wordt gekozen om de diameter overal gelijk te houden is dit systeemtype maximaal flexibel.



Figuur 26: Gesloten systeem zonder cascadering

Kenmerken optie 4:

- Zuinig systeem, alleen pompenergie die nodig is;
- Uitkoeling in de zomer beter door lagere debieten;
- LT-aanvoertemperatuur is te regelen;

- Bij toekomstige overgang op LT van alle afnemers, hoeft WOS 3 niet opnieuw aangesloten te worden. Wanneer ook huidige MT-afnemers vergelijkbaar worden aangesloten kan bij overgang op LT een WP worden bijgeplaatst om MT op WOS- of wijkniveau te maken;
- Mogelijkheid WOS-en van beide kanten te bereiken;
- Maximale toekomstige flexibiliteit met betrekking tot inpassen nieuwe warmtebronnen.

Conclusie ontwerp warmterotonde

Vanuit het oogpunt van energieverbruik is een warmtenet met pompen per afnemer zuiniger dan een systeem met een hoofdpomp en regelkleppen per afnemer. Daarnaast is een dergelijk systeem flexibeler, niet alleen op het gebied van wisselende vraag, maar ook ten aanzien van de stromingsrichting. Dit laatste is in geval van een gesloten rotonde een voorwaarde.

Een gesloten rotonde is aan te bevelen voor maximale flexibiliteit, vooral ook in het geval van toekomstige warmtebronnen die op een andere plaats zullen gaan invoeden. Wel wordt een booster/circulatiepomp aangeraden om ervoor te zorgen dat aanvoerwater nooit ergens stil kan komen te staan.

Cascadering wordt afgeraden, naast een hydraulische uitdaging is ook de temperatuur van de aanvoer naar de LT-afnemer niet te regelen.

Wanneer in de toekomst wordt overgegaan van MT naar LT, dan is het van belang dat het logaritmisch gemiddelde temperatuurverschil tussen bron en afnemer, vergelijkbaar blijft zodat de warmtewisselaars blijven passen. Ook de afkoeling zou vergelijkbaar moeten blijven zodat de leidingdiameters optimaal blijven bij de resulterende snelheid. Bijvoorbeeld, als de afkoeling halveert is tweemaal de oppervlakte van de warmtewisselaars nodig. Ook zal de snelheid in de leiding verdubbelen waardoor de pompen wellicht niet meer passen.

Een mogelijkheid is om een groeimodel uit te werken, die gefaseerd gerealiseerd kan worden. Zo ontstaat er eerst een open rotonde conform Optie 3 als een Omega-model met voeding naar beide zijden van de stad. Uiteindelijk kunnen de beide Omega-takken zodanig naar elkaar toe groeien dat deze aan elkaar aangesloten kunnen worden en door middel van een afsluitersysteem open en dicht gezet kan worden. Hierdoor ontstaat Optie 4, de gesloten rotonde.

5.8 Aansluiten LT-ready gebieden

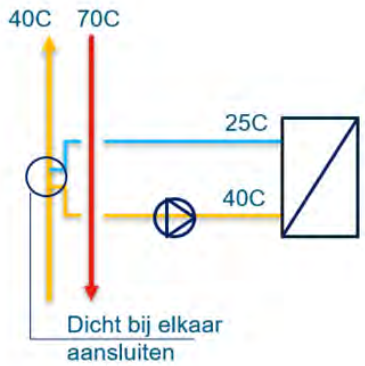
Voor alle gebouwen in Apeldoorn is een inschatting gemaakt of zij geschikt zijn voor de levering van LT-warmte, zie paragraaf 3.8.3 voor de gebruikte methodiek. LT-warmte voorziening in een MT-backbonevariant kan op twee manieren plaatsvinden:

1. Direct vanuit het WKO-systeem dat voor balancering verbonden is met de WRA. Omvang hangt primair af van het beschikbare WKO potentieel;
2. Vanuit een directe koppeling met de WRA-backbone, via cascadering of rechtstreeks op de aanvoerleiding. Technisch is dit beperkt tot circa 40% van de warmtevraag in het WRA-gebied. Deze opties worden hieronder nader uitgewerkt.

Aansluitmogelijkheden, vier varianten

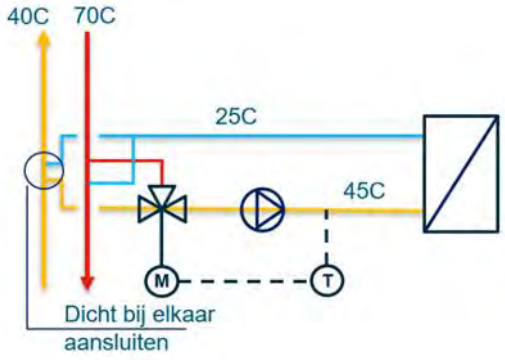
1. **LT-ready cluster aansluiten op backbone-retour (cascadering)**

- -/- Aansluiting dient aangepast te worden als WRA-backbone wordt verlaagd naar LT-niveau;
- -/- Temperatuur is niet te regelen, zonder ook warmwater aanvoer af te koelen;
- -/- LT-afnemers hebben hiermee onvoldoende warmte.



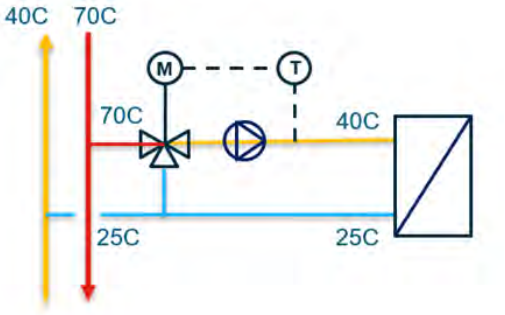
2. **LT-ready cluster aansluiten op retour (cascadering) met temperatuurregeling**

- -/- Aansluiting dient aangepast te worden als WRA-backbone wordt verlaagd naar LT-niveau;
- +/+ Temperatuur is te regelen op de gewenste temperatuur.



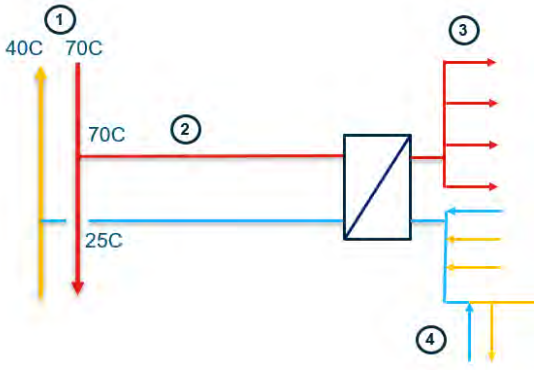
3. **LT-ready cluster aansluiten op aanvoer WRA met temperatuurregeling**

- +/+ Temperatuur is te regelen op de gewenste temperatuur;
- +/+ Gereed als WRA wordt verlaagd naar LT;
- +/- Lage retourtemperatuur.



4. **LT-ready cluster aansluiten op retour (cascadering) van MT-gebouwen**

- 1.Backbone; 2.Transportnet; 3.Distributienet naar MT-gebouwen; 4.MT-retour ten behoeve van aansluiten LT-gebouwen;
- +/+ Bij verlaging naar LT alleen op 4e niveau aansluiting aanpassen;
- -/- Op 4e niveau aanpassen in de toekomst.



Temperatuurverlaging in het transportnet is pas mogelijk op het moment dat merendeel van aansluitingen (80% of meer) daar klaar voor is, resterend deel moet dan van MT WP worden voorzien.

Conclusie

Optie 3 is de meest gunstige variant, aangezien deze toekomstbestendig is en niet meer hoeft te worden aangepast wanneer de WRA-backbone van MT naar LT wijzigt. Tevens is de temperatuur in het aangesloten cluster continu en optimaal te regelen op het gewenste niveau.

5.9 Aansluiten wijk Kerschoten

De ontwikkeling van het warmtenet Kerschoten is al in volle gang en kent een eigen ontwikkeling. Er is reeds een concept ontwerp gemaakt voor het warmtenet en voor de uitkoppeling van de restwarmte van de RWZI. Alle technische installaties en (hulp)warmtebronnen zijn voorzien op de locatie van de RWZI. Kerschoten krijgt zijn eigen regelstations in de wijk. Bij de RWZI is tevens rekening gehouden met een ruimtereservering voor opschaling van de warmtebron naar maximale capaciteit ten behoeve van de warmterotonde, o.a. door het bijplaatsen van warmtepompen. Daarbij is al onderkend dat deze uiteindelijke opschaling van de faciliteiten op de RWZI van het niveau Kerschoten naar het niveau van de warmterotonde gepaard gaat met extra kosten. Voor de investeringskosten die op korte termijn dienen te worden gemaakt om dit mogelijk te maken is eerder een raming afgegeven van € 3,5 mln.

Kerschoten kan zelfstandig ontwikkeld worden in relatie tot de warmterotonde. Het ontwerptraject van Kerschoten koppelen aan die van de warmterotonde zou betekenen dat het ontwerp nog niet definitief gemaakt kan worden, omdat de ontwikkeling en aanleg van de warmterotonde nog veel onzekerheden kent en een investeringsbesluit daarvoor niet op korte termijn wordt verwacht. Het gevolg kan zijn dat de aanleg van Kerschoten daardoor vertraagd wordt. Het uitgangspunt voor deze studie is daarom dat Kerschoten vooruitlopend op de warmterotonde als eerste stap ontwikkeld wordt. Kerschoten krijgt dan een eigen voedingsleiding direct vanaf de RWZI. Er hoeft dus geen extra capaciteit in de voedingsleiding ten behoeve van de warmterotonde te worden meegenomen. Wel is het wenselijk om alvast bepaalde gebouwen en voorzieningen op het terrein van de RWZI te overdimensioneren, om later onnodig hogere meerkosten te voorkomen. De backbone dimensionering van de warmterotonde dient in een volgende fase nader te worden bepaald. De route en capaciteit is indicatief en schetsmatig in deze haalbaarheidsstudie aangegeven.

5.10 Bepaling capaciteit backbone warmterotonde

Het zal nog jaren duren voordat de warmterotonde volledig gerealiseerd is; deze wordt gefaseerd aangelegd. Tegelijkertijd worden isolatiemaatregelen en energiebesparing gestimuleerd. Wij verwachten daarom dat wanneer de warmterotonde gerealiseerd is, meer woningen geïsoleerd zijn en dus ook een lagere warmtevraag zullen hebben. Er is om die reden vanuit gegaan om het warmtenet te

dimensioneren op een lagere warmtevraag. Het uitgangspunt is dat alle gebouwen nageïsoleerd zijn en daarmee op middentemperatuur verwarmd kunnen worden (MT-ready). Dit betekent dat de woningen minimaal energielabel C hebben.

De warmterotonde start vanuit de RWZI-bron, de bron met het grootste warmtepotentieel in de stad. Een ontwikkeling zuidoostwaarts is voorzien. Er zijn kansen voor de koppeling van verschillende gebieden met de warmterotonde, waaronder BSK. Synergievoordelen zijn mogelijk in overlappende infrastructurele werkzaamheden, zoals verbreding Laan van Zevenhuizen. Warmtelevering aan een nieuw warmtecluster kan gestart worden op het moment dat de back bone is aangelegd naar dit cluster. Vervolgens wordt een hulpwarmtecentrale gebouwd in het waarmee het goreiend aantal aansluitingen wordt bediend. In geval de backbone nog niet is aangelegd en er toch behoefte is aan collectieve warmte, dient met een tijdelijke bron (gasketel) de wijk van warmte te worden voorzien.

Uitgangspunten

De rol van de backbone is de verbinding tussen de hoofdbron (RWZI) en de verschillende warmteclusters, daarnaast als uitwisselingssysteem tussen de verschillende bronnen en clusters om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen. Uitgaande van het beschikbare vermogen van de RWZI-bron (40 tot 60 MWth) zal dit voor alle wijken beschikbaar moeten komen. Een gesloten warmterotonde concept (= doorontwikkeling van optie 3 naar optie 4) vraagt een backbone die overal dezelfde capaciteit heeft om, in geval van calamiteiten, te allen tijde alle wijken van warmte te voorzien, hetzij linksom of rechtsom. Dus als er een calamiteit aan het begin van de oosttak ontstaat, moet het volledige vermogen voor alle wijken via de westtak kunnen worden getransporteerd. De backbone capaciteit moet naar beide takken gelijk zijn, in het kader van redundantie. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor een eerste indicatie van de dimensionering van de backbone:

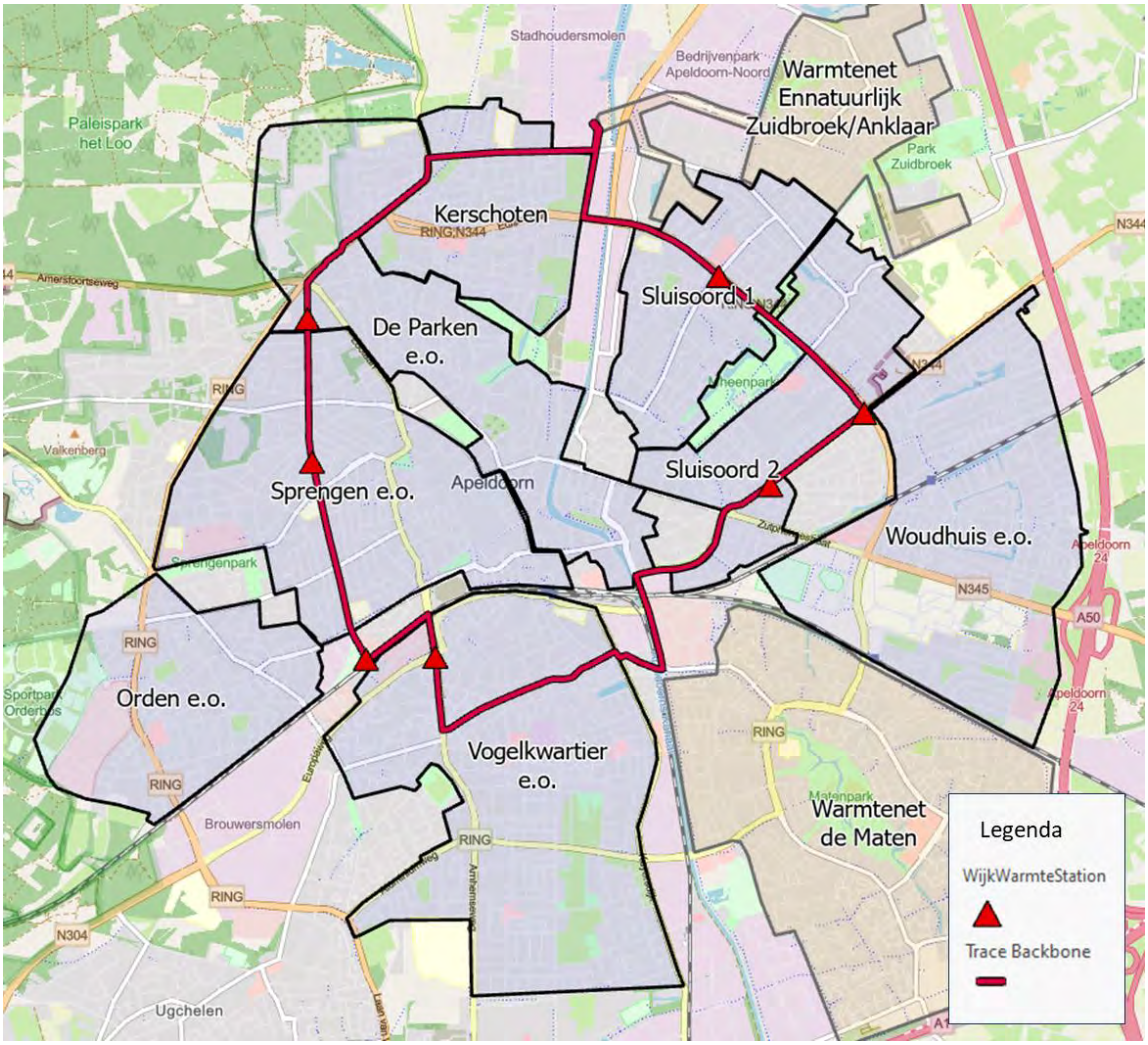
Gegevens	Rekenwaarde	Eenheid
Beschikbaar vermogen uit de RWZI-bron	40 tot 60	MWth
Aanvoertemperatuur gemiddeld	70	°C
Retourtemperatuur gemiddeld	40	°C
δT, temperatuurval	30	°C
Stroomsnelheid	1,15 tot 2,5	[m/s]
Leidingdiameter, indicatief	DN600	DIN
Drukklasse	PN25	bar

Ten behoeve van de toekomstbestendigheid wordt de backbone overgedimensioneerd (nu voorlopig uitgegaan van DN600 ten behoeve van de ruimtelijke inpassing), zodat het temperatuurverschil kan afnemen van 30°C nu in het MT-systeem (70 / 40) naar 20°C voor LT-ready systeem (45 / 25). Hierbij wordt de stroomsnelheid hoger; uitgangspunt is dat dit kan oplopen tot circa 2,5 m/s bij vergroting van het vermogen tot 60 MWth. De exacte capaciteit van de backbone zal in een volgende fase nader vastgesteld moeten worden.

5.11 Ruimtelijke inpassing van infrastructuur

De ruimtelijke implicaties en inpassing van de warmterotonde backbonestructuur in de stedelijke omgeving van Apeldoorn dient zorgvuldig onderzocht te worden. Daarbij dient een aantal aspecten meegewogen te worden:

- Typische doorlooptijd van initiatie tot realisatie is 5 jaar (afstemming gemeente, aanvragen vergunningen, communicatie bewoners/aangeslotenen en ontwerp);
- Warmteleidingen dienen op minimaal 1,5 meter afstand van drinkwaterleidingen te worden gelegd ter voorkoming van legionella problematiek door opwarming van drinkwater;
- De warmteleidingen komen in veel gevallen onder de rijweg te liggen (minimaal 80 cm gronddekking). Dit betekent een hogere verkeersbelasting op de leiding, lastiger bereikbaarheid en duurdere aanleg dan bij aanleg onder bijvoorbeeld een trottoir of fietspad;
- De warmteleiding dient buiten de kruin projectie van bomen (zomer situatie) geplaatst te worden. Kruisingen van bomen zijn op enige diepte mogelijk in combinatie met een mantelbuis voor bescherming tegen boomwortels.

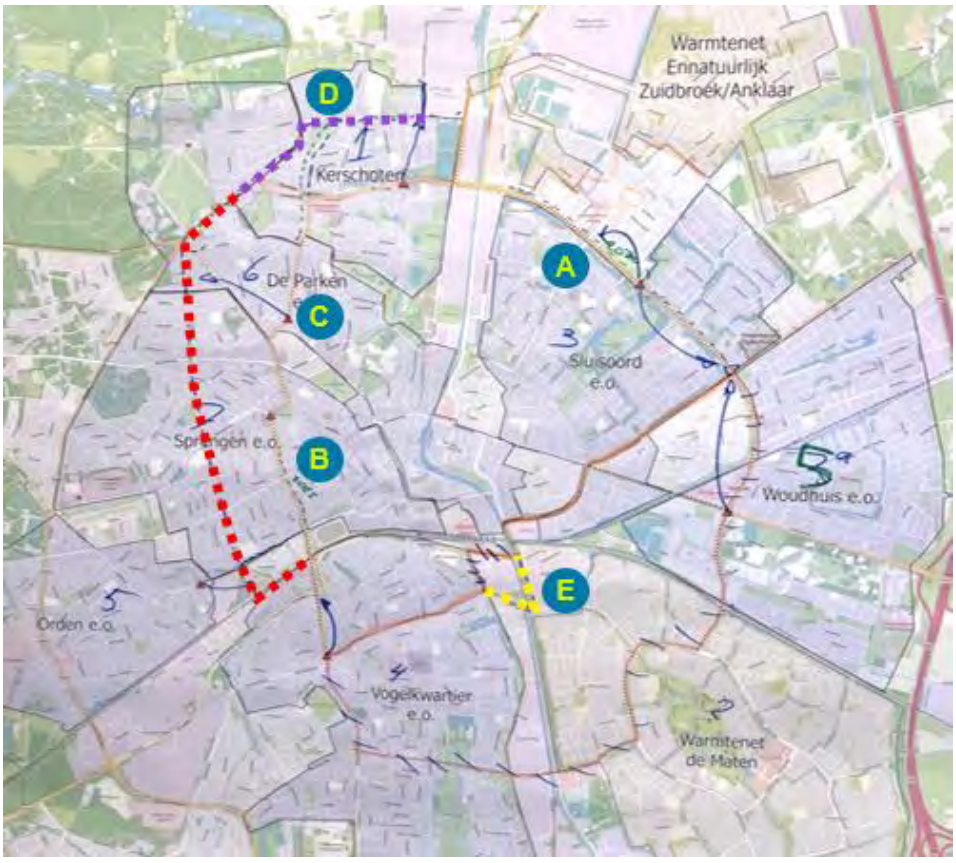


Figuur 27: Schetsontwerp van de warmterotonde infrastructuur in de stad Apeldoorn inclusief de aanpassingen naar aanleiding van de sessie ruimtelijke implicaties WRA. De rode driehoeken zijn mogelijke locaties voor de wijkwarmtestations. Noot: Het voorgestelde tracé en de locaties voor de wijkwarmtestations zijn indicatief. Nader onderzoek moet uitwijzen hoeveel ruimte nodig en beschikbaar is

Samenvatting sessie ruimtelijke implicaties WRA

Tijdens een gezamenlijke werksessie met de gemeentelijke specialisten voor de ruimtelijke programmering van de stad Apeldoorn zijn de volgende aandachtspunten/koppelkansen genoemd, samengevat in Figuur 28:

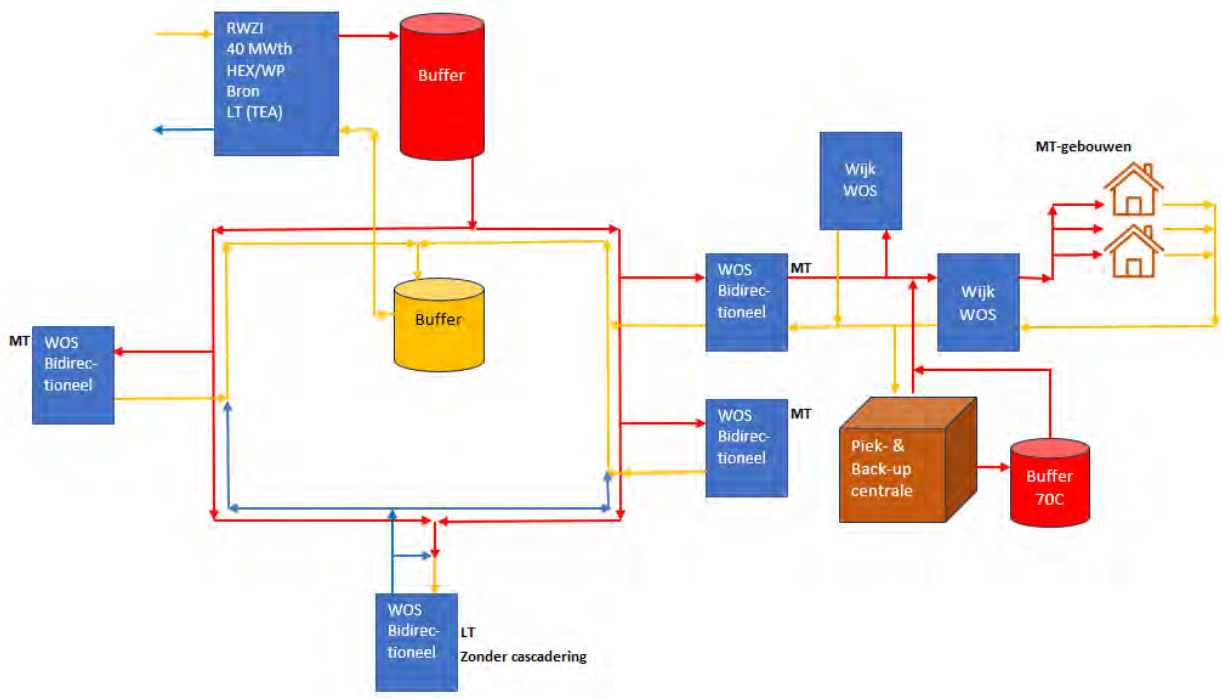
A. Laan van Zevenhuizen (tot Deventerstraat) moet aangepast worden van 2x1 naar 2x2-baans. De verwachting is dat tussen 2024 en 2027 besluitvorming hierover zal plaatsvinden. Ontwerp en uitvoering duren daarna nog circa 5 jaar. Gerealiseerd rond 2034. Mogelijke koppelkans is om de backbone transportleidingen voor dat specifieke tracédeel in deze reconstructie mee aan te leggen;
B. Wilhelmina Druckerstraat wordt gereconstrueerd. Ontwerp is definitief, uitvoering in 2025. Mogelijk geen ruimte in de ondergrond. Riool ligt midden in de weg en wordt niet aangepakt. Als er een warmtenet ingepast moet worden, dan moet ook de riolering verplaatst worden;
C. Tracé door De Parken is moeilijk in te passen en de wegen in De Parken zijn grotendeels al aangepakt. Daarom wordt een alternatief tracé gevolgd via de Zwolseweg-Koning Lodewijklaan-Pr. Beatrixlaan-Prins Willem-Alexanderlaan (zie rood gestippelde lijn);
D. Het tracé door Kerschoten is de meest logische route via Anklaarweg en Zwolseweg in verband met aansluiting op aangepaste tracé langs De Parken en Sprengen, omdat de Anklaarweg en Koninginnelaan nog aangepakt moeten gaan worden (zie C). Zie de paars gestippelde lijn voor alternatieve tracé;
E. Tracé via de Kayersdijk-Laan van de Mensenrechten is aangepast naar de Mezenweg-Lepelaarweg-Matenpoort. Een voorstel vanuit de gemeente om de backbone in het kanaal te leggen onder het spoor door tot de Wapenrustlaan, zal nader onderzocht moeten worden in een vervolgfase. Er komt ook een brug over het kanaal ter hoogte van de Aalscholversweg in verband met de nieuw te bouwen brandweerkazerne aan de oostkant van het kanaal.



Figuur 28: Visuele weergave van de besproken aanpassingen voor het tracé en de wijkwarmtestations van de warmterotonde

5.12 Ruimtelijke vrijheidsgraden installaties

De locaties van de wijkwarmtestations zijn nu nog schematisch in de kaart gepositioneerd. De werkelijke locatie in de wijk zal in een volgende fase nader bepaald moeten worden. Dit hangt mede af van de verschillende functionaliteiten die hetzij gebundeld, hetzij separaat geplaatst, in een wijkwarmtestation worden ondergebracht. De functionaliteiten zijn: warmteoverdracht (systeemscheiding d.m.v. een warmtewisselaar), transport- of distributie van warmte, piek- of back-up bronnen of warmtebuffers. Dit geeft diverse ruimtelijke vrijheidsgraden waar welke functionaliteit benodigd is en waar ruimte is in de wijken. Vanaf de backbone van de warmterotonde zal eerst een hoofd warmteoverdrachtstation (WOS) nodig zijn, als systeemscheiding met de backbone. De backbone zal een hoge druksysteem worden om alle warmte vanaf de hoofdbron (RWZI) door heel de stad te kunnen transporteren. Na de hoofd WOS kan de druk lager zijn, liefst een 6 bar systeem waar direct de gebouwen op aan te sluiten zijn. Mocht de wijk zo groot zijn dat de laatste gebouwen onder dit drukregime niet te bereiken zijn, dan kan er gekozen worden voor een hoger druksysteem in het transportnet en een lager druksysteem in het distributienet, gescheiden door een warmtewisselaar, of voor een extra distributiepompset centraal in de wijk om de druk op te voeren. De transportpompen worden doorgaans in de WOS geplaatst die de directe koppeling maakt met de warmteronde backbone. De piek- of back-up bronnen kunnen decentraal in de wijk worden geplaatst, dicht bij de warmte-afnemer, daar waar ruimte in de wijk is. Hetzelfde geldt voor een eventuele warmtebuffer. Dus de keuze voor bundelen of separaat plaatsten hangt mede af van de beschikbare ruimte: bundelen van functies waar het kan (lagere CAPEX) en separaat plaatsen als de technische voorzieningen daarmee beter kunnen worden ingepast. Ook de ruimtelijke inpassing in de wijk behoeft de nodige aandacht en vraagt draagvlak bij de wijkbewoners.



Figuur 29: Integraal schematisch overzicht van de warmterotonde

Figuur 30: Voorbeeld van inpassing van een WOS in de wijk Amstelkwartier Amsterdam – Schoots Architecten

Het Mheenpark vormt een natuurlijke barrière voor het warmtenet tussen de wijken Sluisoord en De Mheen. Een logische plek voor een wijkwarmtestation voor Sluisoord is daarmee in de nabijheid van de ring ter hoogte van de kruising met de Sluisoordlaan. Aan de Deventerstraat kan dan mogelijk een extra wijkwarmtestation geplaats worden voor het deel van Sluisoord aan de zuidoost kant van het park.

Het warmtestation voor het Vogelkwartier in verband met benodigde ruimte eventueel plaatsen langs de Koning Stadhouderlaan ter hoogte van de kruising met Laan van de mensenrechten. Mogelijk kan dat gecombineerd worden met de bouw van een nieuw kantoor van de belastingdienst op die plek.

Een tracé door de wijk De Maten is geen logische optie vanwege de extra lengte en bijbehorende investeringen. Een station voor Woudhuis moet daarom worden geplaatst in de buurt van de kruising met de Deventerstraat, zodat het aan de backbone ligt.

Figuur 31: Voorbeeld van inpassing van een Warmtecentrale in de wijk Veenendaal-Oost

5.13 Volgorde warmtegebieden

Op basis van de werkzaamheden in de openbare ruimte in de verschillende buurten, doorlooptijden en de beschikbare capaciteit vanuit de gemeente is een logische volgorde bepaald voor het ontwikkelen van het warmtenet per deelgebied. De werkzaamheden zullen gefaseerd uitgevoerd worden per buurt. Dit betekent dat er per deelgebied ook een fasering zal zijn, afhankelijk van het aantal buurten binnen het deelgebied. Voor deze haalbaarheidsstudie is een eerste aanzet gemaakt voor een mogelijke fasering per deelgebied, welke nader onderzocht moet worden in een integraal kader van stedelijke programmering. Voordat de backbone aangelegd wordt moet het warmtenet in het deelgebied al aangelegd zijn. De genoemde jaartallen zijn indicatief en bedoeld om een eerste beeld te geven van de fasering. Een mogelijke planning en overwegingen hierbij zijn:

A. (2025-2030): Kerschoten wordt al ontwikkeld en zal het eerste deelgebied zijn dat gerealiseerd wordt;
B. (2025-2030): In De Maten is de meeste urgentie voor het aanpakken van de openbare ruimte. Er wordt gewacht tot de plannen voor een warmtenet in De Maten concreet zijn. Idealiter wordt de wijk binnen nu en 5 jaar aangepakt;
C. (2030-2035): In Sluisoord wordt de openbare ruimte op middellange termijn aangepakt (2030), eventueel parallel aan De Maten. In Sluisoord speelt ook de aanpassing van de ring (verwachte realisatie 2034). Kans voor Sluisoord is het meenemen van de buurt rond het winkelcentrum Anklaar. Daar zit sociale huur en liggen ook opgaven voor aanpassing van de openbare ruimte (zie het groen gearceerde gebied);
D. (2035-2040): Het Vogelkwartier volgt na Sluisoord op een termijn van circa 15 jaar (2040);
E. (2040-2045): Orden en Woudhuis volgen op een termijn van 20 jaar, waarbij Woudhuis iets eerder zal starten;
F. (2045-2050): In De Parken is al veel vernieuwd in de openbare ruimte. Daarom heeft het de voorkeur om het warmtenet pas op de lange termijn aan te leggen;
G. (2045-2050): In Sprengen is al veel vernieuwd in de openbare ruimte. Daarom heeft het de voorkeur om het warmtenet pas op de lange termijn aan te leggen.

6 Businesscase

Naast de technische haalbaarheid, is de financiële haalbaarheid van de basisvariant onderzocht. De technische parameters, zoals bijvoorbeeld de benodigde leidingmeters en het aantal onderstations, zijn verwerkt in de financiële analyse. Voor het toetsen van de financiële haalbaarheid is een businesscase analyse uitgevoerd, hierin zijn de investeringen (CapEx), operationele kosten (OpEx) en opbrengsten (Revenu) uitgezet over de tijd in een kasstroom-analyse. De uitgangspunten voor de businesscase-analyse zijn in de volgende paragrafen beschreven.

Een warmtenet wordt gekenmerkt door een forse investering 'aan de voorkant', aangezien er eerst een infrastructuur met leidingen moet worden aangelegd. Dit betekent een flinke kostenpost voordat er ook maar één GJ aan warmte verkocht kan worden, gevolgd door een langjarige, betrekkelijk stabiele, kasstroom. Dit maakt het systeem verliesmakend in de eerste jaren van exploitatie. Over de looptijd van het project moet de winstgevendheid worden bereikt.

Alle kosten zijn berekend voor een looptijd van 35 jaar. Bij de financiële uitwerking is rekening gehouden met 90% volloop en 20% warmteverlies van het systeem. Daarnaast is ervanuit gegaan dat alle ontwikkelkosten van een warmtecluster in jaar 1 plaatsvinden, de grootste investeringen (die van het net en de bron) in jaar 2 en de kosten voor de aansluiting op het warmtenet in jaar 3. Vanaf jaar 4 start de inkomststroom uit de verkoop van warmte. In de werkelijkheid zal de aanleg van het warmtenet, de uitbreiding van de bron(nen) en de kosten voor het aansluiten op het warmtenet gefaseerd verlopen. Dat geldt ook voor het aantal aansluitingen die zal toenemen naarmate de tijd verstrijkt. Binnen deze businesscase is nog geen rekening gehouden met deze fasering. Fasering (van zowel de CapEx als het aantal aansluitingen) kan een positief effect hebben op de kasstroom. Of het een positief effect heeft op de kasstroom heeft voornamelijk te maken met hoe snel het aantal aansluitingen (en dus de verkoop van warmte) toeneemt in de tijd.

Alle bedragen en kentallen die zijn gebruikt in deze studie zijn exclusief BTW en betrokken op peiljaar 2024, tenzij anders vermeld. De berekeningen in deze studie kennen een onzekerheidsmarge van ongeveer +/- 40%. Deze onzekerheid zit in een samenspel van vele factoren die in werkelijkheid anders kunnen liggen dan in deze businesscase is aangenomen. Om een indicatie te geven van het effect van bepaalde kostenfactoren die anders uitvallen dan in deze businesscase initieel aangenomen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn te vinden in hoofdstuk 6.9 in Figuur 40.

Voor de financiële berekeningen zijn kentallen gebruikt, gebaseerd op cijfers uit de markt en ervaringen van experts. Een overzicht van de belangrijkste kentallen en financiële uitgangspunten is te vinden in bijlage 3.

In de businesscase worden de kosten en baten van de warmterotonde per onderscheiden warmtegebied vergeleken met de kosten van een individuele warmtepomp. In beide gevallen vindt warmtelevering plaats op middentemperatuur.

6.1 Toelichting kosten

De kosten en uitgaande kasstromen voor dit systeem bestaan uit investeringen (CapEx), ontwikkelkosten, financieringskosten en de operationele kosten (OpEx). Hieronder worden deze kostengroepen nader toegelicht.

Investeringen
De investering voor de warmtenetontwikkelaar (warmtebedrijf) bestaat vooral uit de investering in warmteleidingen, pompen, warmtewisselaar(s) en warmtepompen, maar ook uit de kosten voor WKO's (warmte-/koudeopslag). Hierin kan de tweedeling gemaakt worden voor kosten voor de bron en investeringen in het warmtenetwerk (waar mogelijk ook andere bronnen op aangesloten kunnen worden). Hierbij moet rekening worden gehouden met technische en ruimtelijke randvoorwaarden.

De investeringen die nodig zijn voor de isolatie van woningen en panden zijn buiten beschouwing gelaten in de businesscase berekeningen. Deze komen immers voor rekening van de pand- of woningeigenaren en zijn niet voor het warmtebedrijf. In de vergelijking zijn deze investeringen niet doorslaggevend, immers elke woning moet MT-ready worden gemaakt en daartoe voldoende worden geïsoleerd.

Er zijn mogelijk verschillende subsidies van toepassing op de investeringen voor duurzame warmtesystemen. De relevante subsidies staan beschreven onder 6.2.

Ontwikkelkosten
Ontwikkelkosten bestaan uit alle kosten naast de investeringskosten zoals projectontwikkeling, projectmanagement, engineering, werkvoorbereiding en bijvoorbeeld kosten van bewoners-participatie. Daarnaast ook alle commerciële activiteiten rondom de (potentiële) warmtenet klanten.

Financieringskosten
Financieringskosten spelen bij dit systeem een belangrijke rol. De financieringskosten[37] kunnen lager uitpakken dan is aangenomen voor deze studie indien de overheid garant staat voor verschillende onzekerheden bij het warmtesysteem, zoals het vollooprisico, en daarmee het risico minimaliseert.

Operationele kosten
De operationele kosten zijn meegenomen en bestaan met name uit beheer- en onderhoudskosten (preventief en correctief onderhoud, monitoring, administratie, verzekeringen, communicatie) en de energiekosten (elektriciteitskosten voor het gebruik van de warmtepomp en pompen).

6.2 Toelichting opbrengsten

De opbrengsten uit de verkoop van warmte aan de eindgebruiker is afhankelijk van het aantal aansluitingen (binnen de scope), de energieprijzen ofwel warmtetarief, inclusief bijbehorende belastingen, en het warmteverbruik per aansluiting.

Hoe hoger de warmtevraag, hoe meer inkomsten. Hier worden vooraf aannames over gedaan, die in de praktijk anders kunnen uitpakken. Zo is van tevoren niet geheel zeker hoeveel gebouweigenaren een aansluiting willen hebben (ook wel het vollooprisico genoemd) en hoeveel energie ze in de toekomst zullen afnemen (ook wel het afnamerisico genoemd). De hoeveelheid warmte die zal worden verkocht is een belangrijke risicofactor voor het ontwikkelen en daadwerkelijk exploiteren van een warmtenet.

Warmtetarief
In deze studie is in de basis gerekend met een warmtetarief van 29,70 €/GJ. Dit is gedaan omdat het maximum consumententarief van het ACM in 2024 (38,59 €/GJ) significant boven het huidige (Mrt, 2024) aardgastarief ligt. Het gebruikte tarief van 29,70 €/GJ is een door RHDHV 'geschaalde warmteprijs' op

[37] *Zie bijlage 3 voor toegepaste rentetarieven*

basis van de future baseload prijs voor aardgas in 2025 (0,35 €/m^3), ofwel de prijs die nu kan worden afgesproken om aardgas in 2025 te ontvangen. Het is daarmee een *inschatting* van het 2025 ACM-tarief.

Subsidies

Voor sommige technieken is het mogelijk om SDE++ [38] subsidie te ontvangen. Dit is een exploitatiesubsidie gekoppeld aan een specifieke warmtebron met een looptijd van 15 jaar. Gedurende de looptijd wordt per duurzaam geproduceerde kWh aan warmte een vast bedrag uitgekeerd zodat de productie kosten van duurzame warmte vergelijkbaar zijn met een op aardgas gebaseerd warmtesysteem. Thermische energie uit afvalwater (TEA) komt in aanmerking voor deze subsidie en is daarom meegenomen in de businesscase. Dit geldt ook voor lucht/water warmtepompen die worden ingezet bij stadsverwarming.

De overheid kan ook een bijdrage leveren aan de investering, middels een investeringssubsidie. Hierdoor heeft de eigenaar van het warmtenet (het warmtebedrijf) lagere afschrijvingen en lagere financieringskosten. Er is sinds 2023 een investeringssubsidie beschikbaar voor collectieve warmtesystemen (de WIS-subsidie[39]). De WIS is niet meegenomen in de businesscase. Er is nu één ronde geweest van de WIS en er is nog geen duidelijkheid over het vervolg. In de vorige ronde was de WIS maximaal € 6.000 per woning en was er maximaal € 20 miljoen beschikbaar voor de gehele subsidie. Het is onduidelijk hoe hoog de subsidie zal zijn, mocht er een volgende ronde komen. Deze subsidie kan wel helpen om een businesscase haalbaar te maken voor een ontwikkelaar van een warmtenet. Ook om een lagere kosten voor de eindverbruiker mogelijk te maken, waaronder de BAK. De WIS is wel meegenomen in de businesscase om inzicht te krijgen in het effect van deze subsidie.

Er is ook investeringssubsidie beschikbaar voor individuele warmtepompen (de ISDE-subsidie[40]). De ISDE-subsidie is wel meegenomen in de businesscase om zichtbaar te maken wat de invloed op de warmteprijs (in €/GJ) is wanneer deze subsidie wordt meegenomen. Daarnaast is er tevens ISDE-subsidie beschikbaar van een vergelijkbare hoogte voor het aansluiten op een warmtenet. Deze is eveneens meegenomen in de businesscase.

Tot slot is de Stimuleringsregeling aardgasvrije huurwoningen (SAH) subsidie beschikbaar voor toepassing in huurwoningen. Gezien de specifieke aard van deze subsidie is deze niet meegenomen in de businesscase. Er is ter versimpeling van de werkelijkheid vanuit gegaan dat voor alle aansluitingen ISDE van toepassing is. Uiteindelijk hebben deze subsidies hetzelfde doel (het stimuleren van aansluiting op een warmtenet) en zijn ze van vergelijkbare hoogte. Deze subsidies zijn bij het doorrekenen van de businesscase buiten beschouwing gelaten.

Bijdrage aansluitkosten (BAK)

De BAK is de eenmalige bijdrage die per aansluiting wordt betaald door afnemers om aangesloten te worden op het warmtesysteem. In de berekeningen is uitgegaan van een BAK van € 5.600, vergelijkbaar met de BAK die voornemens is gevraagd te worden bij Kerschoten.

De BAK en de ISDE-subsidie voor het aansluiten op een warmtenet zijn in de businesscase met elkaar verrekend. De ISDE-subsidie is immers bedoelt om een gedeelte van de BAK te dekken voor de bewoner. De ISDE-subsidie is in mindering gebracht op de BAK.

[38] *Stimuleringsregeling Duurzame Energie*
[39] *WIS: Warmtenetten Investeringssubsidie. Deze subsidie is niet meegenomen in de berekeningen*
[40] *ISDE: Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing. Deze subsidie is eveneens niet meegenomen in de berekeningen*

Kosten eindgebruiker
De jaarlijkse gebruikerskosten bestaan uiteindelijk uit de som van het meettarief, vastrecht, de huur van de afleverset en het toe te passen warmtetarief maal het verbruik in GJ per jaar. Deze gebruikerskosten worden meegenomen en zijn gebaseerd op de ACM-tarieven.

6.3 Kasstroom per warmtecluster

Voor alle warmteclusters en het referentie scenario (all-electric met individuele lucht/water warmtepomp) is op basis van de opbrengsten, ontwikkel-, investering- en operationele kosten een kasstroom opgesteld. Hierin is rekening gehouden met alle beschikbare subsidies voor dergelijk collectieve, en individuele warmteoplossingen. De volgende subsidies zijn meegenomen in de businesscase: SDE++ voor de warmtebron, WIS voor de onrendabele top van het warmtenet, ISDE voor individuele warmtepomp en voor aansluiten op het warmtenet.

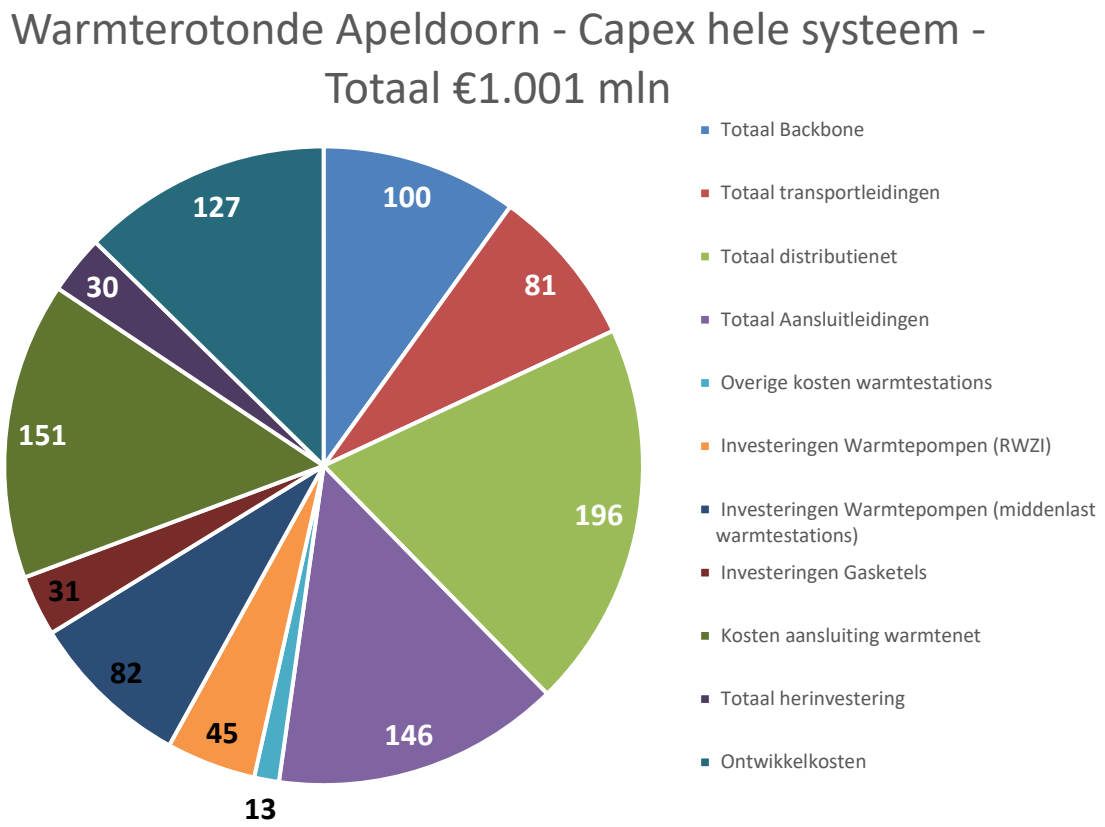
De resulterende kasstroom van kosten en te verwachten opbrengsten moet uiteindelijk sluitend worden gemaakt met een warmtetarief per GJ wat wordt gerekend aan de eindgebruiker. Een inschatting van mogelijke warmtetarieven gebaseerd op de uitgangspunten toegepast in deze businesscase zijn te vinden in hoofdstuk 6.8. Deze tarieven mogen niet geïnterpreteerd worden als daadwerkelijke warmtetarieven. Het betreft een indicatie van mogelijke warmtetarieven die optreden bij een toekomstige collectieve warmteontwikkeling in Apeldoorn. Wel kan onderling vergelijk worden gemaakt tussen de gebieden en tussen de collectieve oplossingen en de individuele oplossing.

Voor alle warmteclusters en het referentie scenario (all-electric met individuele lucht/water warmtepomp) is op basis van de opbrengsten, ontwikkel-, investerings- en operationele kosten een kasstroom opgesteld. Voor de collectieve warmteclusters is alléén rekening gehouden met de SDE++ subsidie. Alle overige (individuele of minder zekere subsidies) zijn in de businesscase buiten beschouwing gelaten.

Winst
Om het warmtenet winstgevend te maken moeten de opbrengsten (ofwel gebruikerskosten) hoger zijn dan de totale kosten over de gehele looptijd van het project. Er kan gestuurd worden op hoe winstgevend een warmtenet mag zijn door de hoogte van deze kosten aan te passen. De winstgevendheid is onder voorbehoud van marktafhankelijke variabelen. Er kan op verschillende manieren gezorgd worden voor een winstgevende businesscase: de juiste subsidies, hogere BAK, hoger verkooptarief voor warmte, kosten verlagen, etc. Het is zoeken naar de juiste balans in deze parameters om blijvend een gezonde businesscase voor een warmtenet te creëren, terwijl de betaalbaarheid gegarandeerd blijft voor alle verschillende afnemers.

6.4 CapEx onderverdeling warmterotonde

In Figuur 32 is de totale CapEx-investering van het hele warmtesysteem te zien. Deze is onderverdeeld in de verschillende onderdelen die bijdragen aan de kosten van het warmtesysteem. Zoals te zien in deze figuur hebben de investeringen in het warmtenet een aandeel van ongeveer 52% in de totale investering. Daarna zijn de kosten voor het *aansluiten* op het warmtenet een significante kostenpost met een aandeel van 15%, zo ook de investeringen in de warmteproductie (warmtepompen 80% en warmteketels 20%) met een aandeel van 16%.



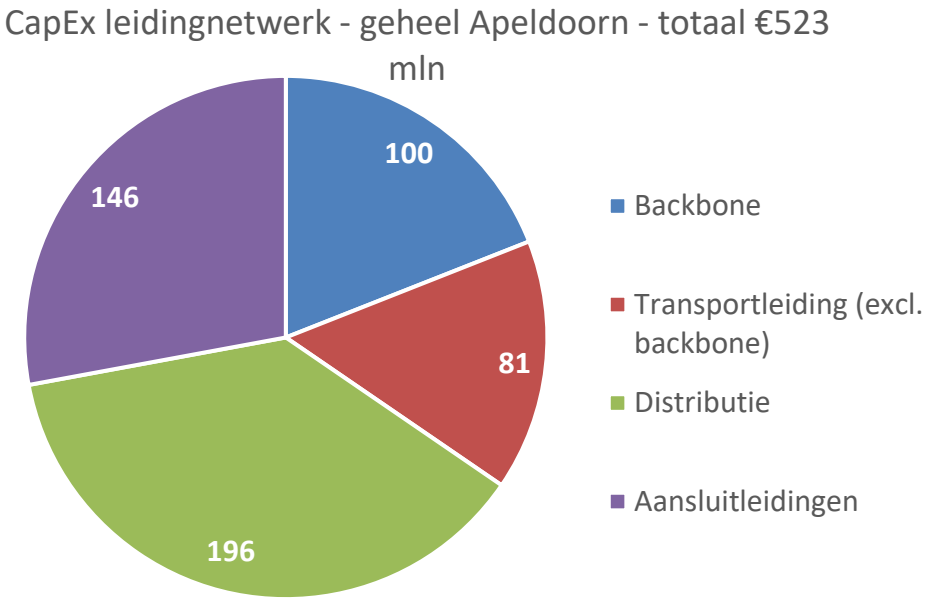
Figuur 32: CapEx hele warmtenetsysteem inclusief bron, netwerk en aansluiting tot achter de voordeur. Exclusief isolatiekosten

In Figuur 33 hieronder is de gemiddelde CapEx per *aansluiting* te zien. Deze is ook verbijzonderd naar een gemiddelde woning en een gemiddelde utiliteit. In de realiteit zullen deze bedragen verschillen per (type) aansluiting, met name bij de utiliteiten.

Figuur 33: Gemiddelde investering (CapEx) per aansluiting in de basisvariant van de warmterotonde

6.5 CapEx onderverdeling leidingnetwerk

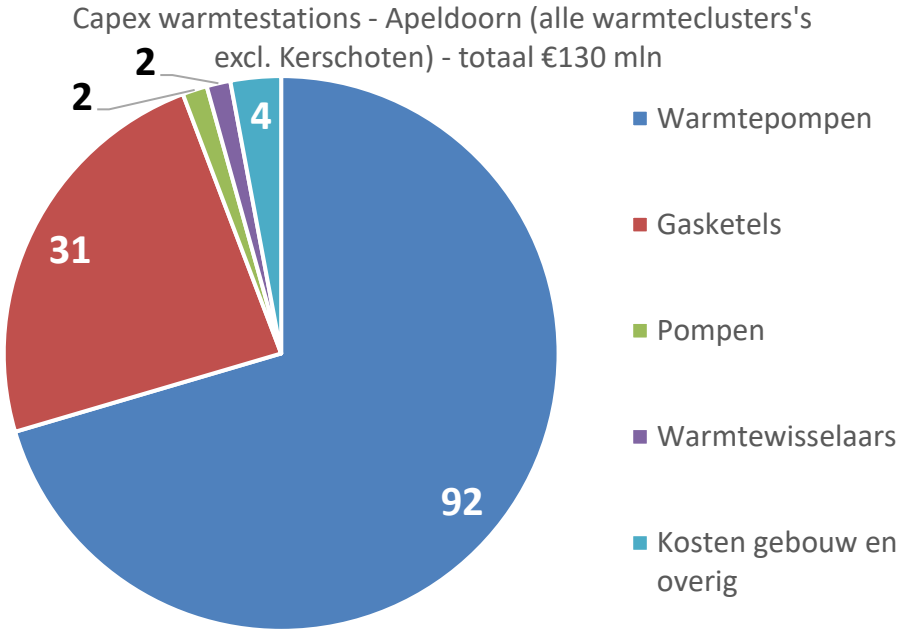
In Figuur 34 is een onderverdeling van de CapEx-investeringen van het leidingnetwerk voor alle beschouwde warmteclusters te zien. De totale kosten voor het leidingnetwerk komen volgens de berekeningen in deze studie uit op zo'n € 523 miljoen, dat is ruim de helft van de totale investering. In deze figuur is te zien dat de grootste kostenposten zitten in de *distributie* en *aansluitleidingen* in de verschillende werkgebieden. Samen zijn deze goed voor zo'n 65% van de totale investering in het leidingnetwerk. Daarnaast zijn de transportleidingen van de RWZI naar de warmteclusters (backbone en overig transportleidingen) nog goed voor ongeveer 35% van de totale investering in het leidingnetwerk. Voor een gedetailleerder overzicht van de CapEx van het warmtenet zie bijlage 4.



Figuur 34: Onderverdeling CapEx leidingnetwerk voor alle leidingen in en naar de werkgebieden

6.6 CapEx-onderverdeling wijkwarmtestations

In Figuur 35 hieronder is een onderverdeling te zien van de CapEx in de wijkwarmtestations. De totale investering van alle wijkwarmtestations samen komt uit op ongeveer € 130 miljoen.



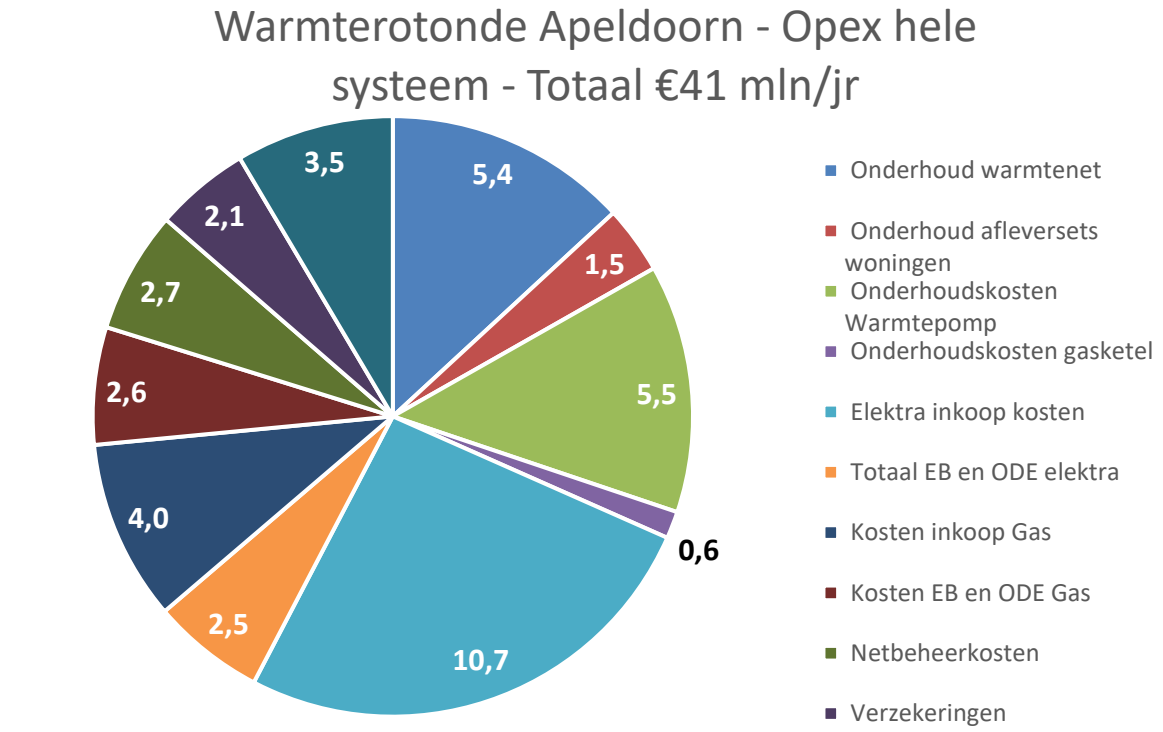
Figuur 35: CapEx onderverdeling van alle wijkwarmtestations samen

Zoals te zien in de figuur vormen de warmtepompen veruit de grootste kostenpost. Deze vertegenwoordigen ongeveer 70% van de totale CapEx van een wijkwarmtestation. Daarna komen de warmteketels die ongeveer 24% van de totale CapEx betreffen.

Het grootste gedeelte van het opwekvermogen van het hele warmtesysteem zit in de wijkwarmtestations. Van het totale geïnstalleerde vermogen van 358 MWth wat nodig is voor het hele systeem (inclusief piek en back-up vermogen), is ongeveer 90% voorzien in de wijkwarmtestations en 10% bij de RWZI. Het vermogen voor de warmterotonde bij de RWZI is alleen bestemd voor de basislast.

6.7 OpEx onderverdeling warmterotonde

In Figuur 36 is de onderverdeling van de OpEx (operationele kosten) van het gehele warmtesysteem in Apeldoorn te zien. De totale operationele kosten van het gehele warmtesysteem (leidingen, bron en afgiftesystemen) komen uit op zo'n € 41 miljoen per jaar.



Figuur 36: Onderverdeling OpEx van het hele warmtesysteem

Veruit de grootste kostenpost in de operationele kosten zijn de elektriciteitskosten voor de warmtepompen, zowel bij de RWZI als in de wijkwarmtestations. Dit betreft ruim 26% van de totale operationele kosten. De volgende grootste kostenpost heeft te maken met het onderhoud van de warmtepompen, wat goed is voor ongeveer 13% van de totale OpEx kosten. De warmtepompen bijna 40% van de totale operationele kosten voor hun rekening. Gemiddeld komt de OpEx uit op zo'n € 1.000 per aansluiting per jaar, zie figuur 37.

Figuur 37: OpEx per aansluiting in € per jaar van een gemiddelde woning en gemiddelde utiliteit

6.8 Resultaten businesscase

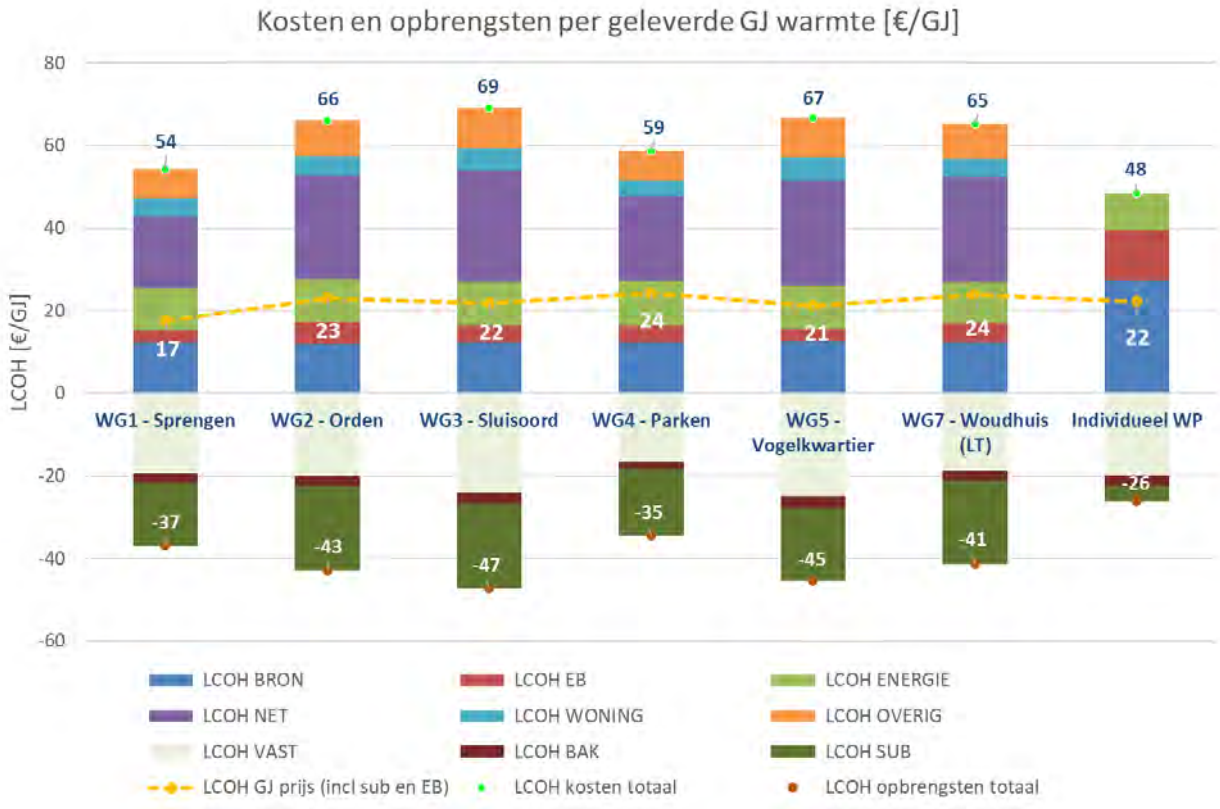
Om de warmteprijs te kunnen beoordelen wordt de 'Levelised Cost of Heating' (LCOH) berekend (exclusief BTW, inclusief energiebelasting). Dit zijn de totale kosten voor het produceren en leveren van warmte uitgedrukt per GJ geleverde warmte. Vervolgens worden ook de 'Levelised opbrengsten' berekend. Dat zijn opbrengsten uit vastrecht (en andere vaste kosten), beschikbare subsidies, en de BAK. De resultante daaruit, kosten en opbrengsten teruggerekend naar een prijs per GJ is het benodigde warmtetarief om de businesscase sluitend te maken, ofwel op een NWC van 0 uit te laten komen.

Deze resultante betreft de gele gestippelde lijn in Figuur 38 en de gehele kolom in Figuur 39. Als dit tarief in rekening wordt gebracht bij de eindgebruiker, in combinatie met alle andere vaste kosten en subsidies, dan komt de businesscase uit op een NCW van 0 na 35 jaar looptijd en is sprake van een financieel haalbaar project. Dit wil niet zeggen dat ook exact dit tarief te zijner tijd in rekening zal worden gebracht

De ACM bepaald jaarlijks een wettelijk maximum voor het warmtetarief. Meer dan dit ACM-tarief mag in ieder geval niet in rekening worden gebracht. Tot en met 2021 lag dit rond 25 €/GJ. In 2023 is dit vanwege de koppeling aan de aardgasprijzen zelfs gestegen tot 91 €/GJ. In 2024 is het tarief 38,42 €/GJ excl. BTW. Dit om aan te geven hoe zeer een voorheen stabiele waarde tegenwoordig fluctueert en moeilijk deze te voorspellen is geworden. In Figuur 39 is het huidige (2024) ACM-tarief aangegeven in een oranje gestippelde lijn, evenals een inschatting van het ACM-tarief van 2025 in de groene gestippelde lijn.

Onder de nieuwe WCW wijzigt de systematiek rondom het vaststellen van de warmtetarieven aanzienlijk, en zal er op termijn sprake zijn van een kostengebaseerde tariefmethodiek, die tot veel stabielere tarieven zal leiden. Tot de ingang van fase 3 (rond 2033) zijn uniforme tarieven voor het gehele warmtebedrijf noodzakelijk, tenzij er sprake is van verschillende typen warmtevoorziening per gebied. Wel kan er worden gedifferentieerd op basis van de afgenomen goederen en diensten. In fase 3 kan per warmtekavel een aparte tariefstructuur worden gehanteerd. Mogelijk kunnen er onder de WCW wel gedifferentieerde aansluittarieven (BAK) worden gehanteerd, afhankelijk van de lokale omstandigheden.

Figuur 38 toont de opbouw van de LCOH. Hier is te zien wat de bijdrage is van elk onderdeel van de eenmalige en terugkerende kosten en vaste en eenmalige opbrengsten per GJ geleverde warmte. De positieve waarden in het diagram zijn kosten, de negatieve getallen zijn opbrengsten uit vastrecht, de drie meegenomen subsidies en de BAK (bijdrage aansluitkosten). Het enige wat nog overblijft zijn de opbrengsten uit het resulterende warmtetarief. Dit is te zien in Figuur 39. In deze figuur zijn alle beschikbare subsidies meegenomen (SDE++-subsidie, WIS-subsidie, en ISDE-subsidie), is er een BAK toegepast (die is verrekend met de ISDE-subsidie voor aansluiting op het warmtenet), en zijn de vaste kosten voor levering van de warmte meegenomen (vastrecht, meettarief en huur van de afleverset). Op deze manier worden de kosten en opbrengsten van de hele keten zichtbaar.



Figuur 38: Kosten en opbrengsten per geleverde GJ aan warmte [€/GJ]

Om een beter idee te krijgen bij welke van de bovenstaande factoren meer bepaald worden door CapEx of OpEx wordt hieronder per factor een korte toelichting gegeven:

- LCOH BRON: Dit betreft zowel de CapEx als de OpEx van de bron. Bijna 70% van dit onderdeel bestaat uit OPEX kosten;
- LCOH NET: Dit betreft zowel de CapEx als de OpEx van het net. Ruim 60% van dit onderdeel bestaat uit CAPEX kosten;
- LCOH VAST: Dit betreft de inkomsten uit vaste kosten (vastrecht, huur afleverset, meettarief) jaar op jaar;
- LCOH EB: Dit betreft volledig (100%) de OpEx kosten voor energiebelasting;
- LCOH WONING: Dit betreft volledig (100%) de CapEx kosten voor de aansluitingen van de woningen op het warmtenet;
- LCOH BAK: Dit betreft volledig de éénmalige inkomsten uit de BAK (te ontvangen bij aansluiten van een woning op het warmtenet);
- LCOH ENERGIE: Dit betreft volledig (100%) de OpEx kosten voor inkoop van energie (elektriciteit of aardgas) van de warmteoplossing;
- LCOH SUB: Dit betreft volledig (100%) de inkomsten uit de SDE++-, de WIS-, en de ISDE- subsidie ten behoeve van de duurzame bron, respectievelijk het warmtenet en respectievelijk aansluiting op het warmtenet voor de eindgebruiker;
- LCOH GJ-prijs: Dit is de resulterende/netto kostprijs van warmte ofwel het 'benodigde' GJ-tarief. Dit betekent niet dat dit tarief ook daadwerkelijk in rekening moet worden gebracht, maar wel dat dit nodig is om de businesscase quitte te laten draaien.

Wat opvalt in het voorgaande staafdiagram is:

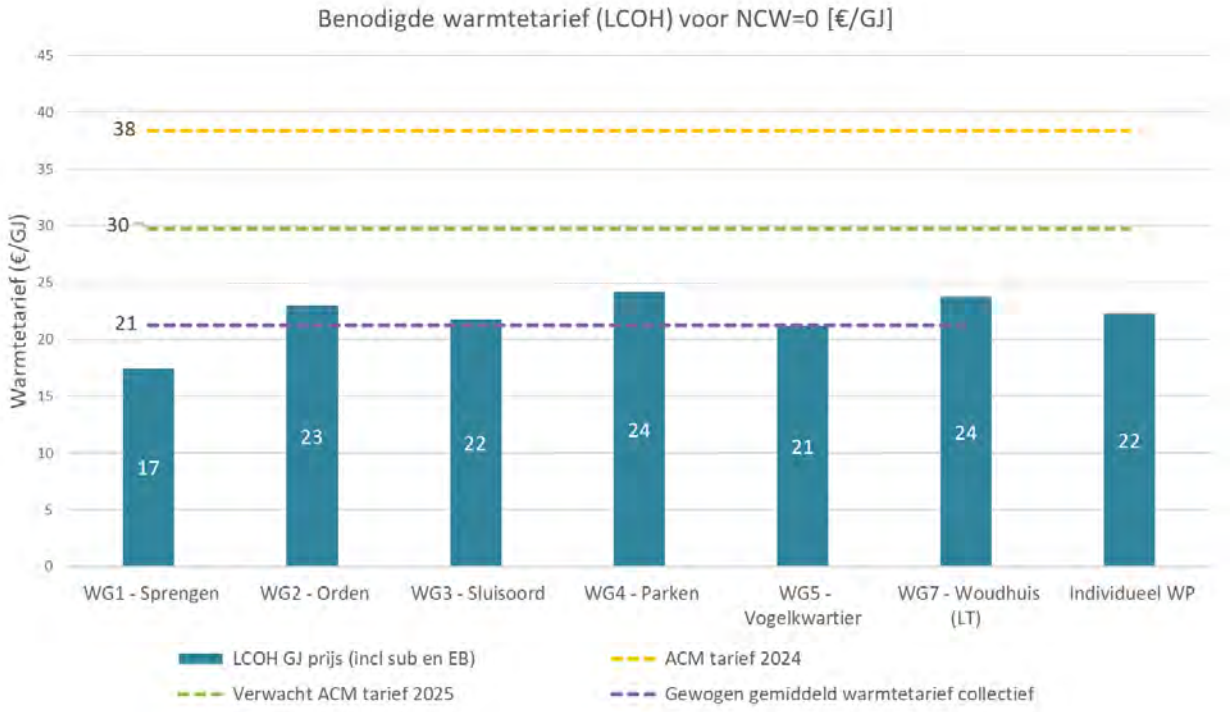
- De kosten voor de bron en het net zijn de twee grootste componenten in de opbouw van de LCOH. Bij elkaar opgeteld bijna 60% van de totale kosten;
- Er komt, los van de GJ-prijs, een aanzienlijk gedeelte van de opbrengsten uit het vastrecht en de beschikbare subsidies;
- Met het toepassen van de verschillende subsidies kan een warmtetarief verkregen worden dat significant onder het verwachte ACM-tarief 2025 uitkomt (zie Figuur 39);
- Ondanks dat de absolute kosten van de collectieve systemen (bovenkant van het staafdiagram) verschillen, en hoger liggen dan de individuele warmtepomp, komt het resulterend warmtetarief (gele gestippelde lijn), grofweg op dezelfde waarde uit, zowel van de gebieden onderling (met uitzondering van Sprengen), als in vergelijking met de individuele warmtepomp.

In Figuur 39 hieronder is het benodigde warmtetarief te zien (blauwe staven) voor een businesscase met een NCW van 0 (dezelfde waarden als de oranje gestippelde lijn in Figuur 38). Dat wil zeggen, een businesscase die quitte draait. Dit is niet het warmtetarief wat daadwerkelijk in rekening zal worden gebracht. Dat wordt uiteindelijk gemaximeerd door de ACM en bepaald door de exploitant van het warmtenet.

In deze figuur is ook weergegeven wat de ACM-grens is voor het warmtetarief voor 2024; 38,42 €/GJ (oranje gestippelde lijn) en wat het verwachtte ACM-tarief is voor 2025; 29,40 €/GJ [41] (groene gestippelde lijn). Als laatste is zichtbaar wat het gewogen gemiddelde benodigde warmtetarief is van de collectieve gebieden; 22 €/GJ (paarse gestippelde lijn). Alle tarieven exclusief BTW.

Om de optie all-electric (individuele warmtepomp) met de warmterotonde te kunnen vergelijken is hiervoor een 'fictief' warmtetarief berekend. Dit is gebaseerd op een COP van 3,0 en onder de aanname dat het om dezelfde MT temperatuur-ready woningen gaat als bij het collectieve systeem. Dit tarief hoeft niet betaald te worden, aangezien de oplossing in eigendom is van de woningeigenaar.

[41] Het gebruikte tarief van 29,40 €/GJ is een door RHDHV 'geschaalde warmteprijs' op basis van de future baseload prijs voor aardgas in 2025 (0,35 €/m^3), ofwel de prijs die je nu betaalt om aardgas in 2025 te ontvangen.



Figuur 39: Benodigd warmtetarief (LCOH) voor NCW = 0 (netto contante waarde). Bij een BAK van € 5.600 en alle relevantie subsidies meegenomen

Uit het staafdiagram vallen de volgende zaken op:

- Alle benodigde warmteprijzen voor een haalbare businesscase (blauwe kolommen) vallen onder zowel de huidige ACM-tariefgrens als de inschatting van het ACM-tarief voor 2025. Dit maakt het aannemelijk dat er een haalbare businesscase gerealiseerd kan worden;
- De gewogen gemiddelde warmteprijs (paarse gestippelde lijn) is vergelijkbaar met het fictieve warmtetarief voor de individuele oplossing. Hierin is nog niet het verschil van benodigde netverzwaring in meegenomen van beide opties;
- De benodigde warmtetarieven verschillen tussen de gebieden onderling. Dit is deels te verklaren uit de onderlinge verschillen tussen de gebieden. Het voornaamste verschil is de mate van warmtenetinfrastructuur die nodig is voor een bepaald aantal aansluitingen. Als er meer warmtenet nodig is voor een lager aantal aansluitingen, resulteert dat in een hogere warmteprijs.

In Tabel 5 hieronder is een overzicht te zien van de gemiddelde CAPEX-investering per aansluiting en de gemiddelde warmtevraag per aansluiting in dat gebied. In de tabel is te zien dat de gemiddelde warmtevraag en benodigde CAPEX per aansluiting verschilt. Dit is deels te verklaren door de verschillende mate en type bebouwing in deze gebieden in Apeldoorn. Voor het gehele bekeken gebied in Apeldoorn is de gemiddelde CAPEX per aansluiting € 23.000. De gemiddelde typische warmtevraag van alle warmtevragers samen is 33 GJ per aansluiting, woningen en zakelijke aansluitingen. Dit gaat uit van isolatie tot MT-niveau en nog een verdere energiebesparing van 10% in de loop der tijd.

Tabel 5: CapEx warmtenet (inclusief bron) per aansluiting en gemiddelde warmtevraag per aansluiting

Werkgebied	CAPEX warmtenet per aansluiting [€]	Warmtevraag per aansluiting [GJ/jaar]
WG1 - Sprengen	21.000	36
WG2 - Orden	26.000	34
WG3 - Sluisoord	23.000	29
WG4 - Parken	27.000	42
WG5 - Vogelkwartier	22.000	28
WG7 - Woudhuis (LT)	27.000	37
Gemiddeld	**23.000**	**33**

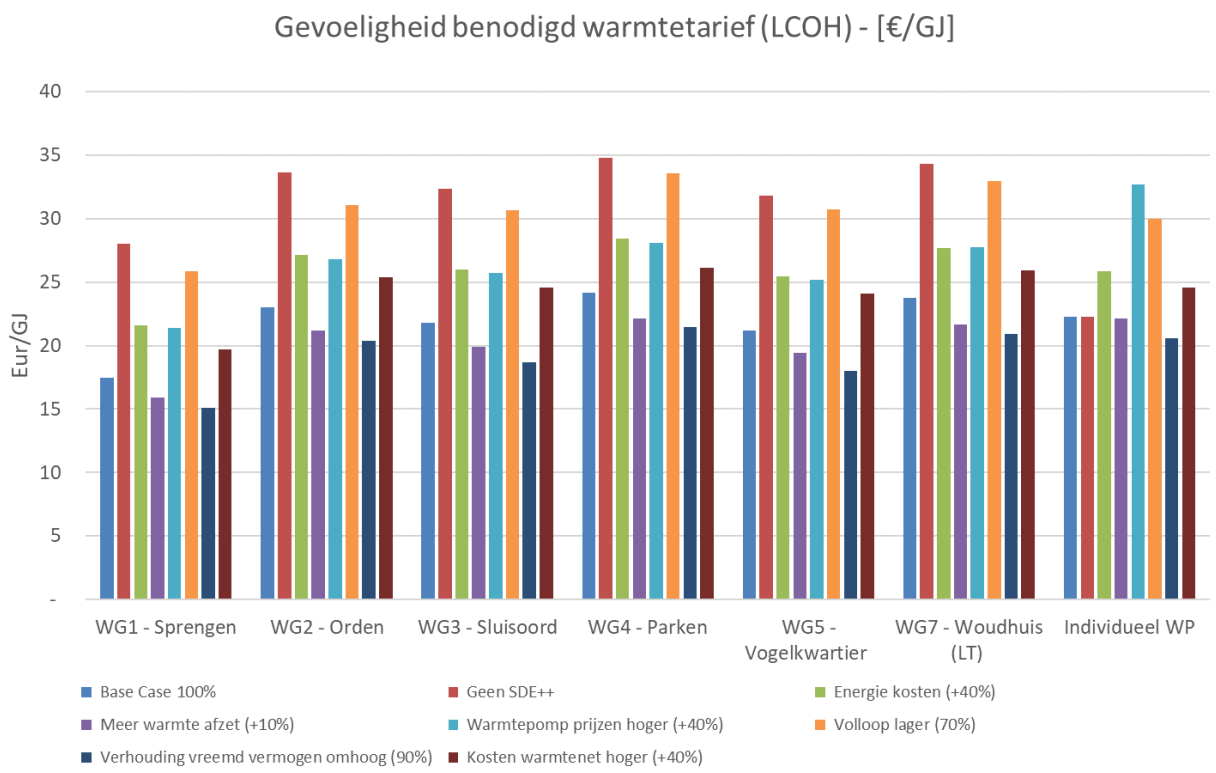
6.9 Gevoeligheidsanalyse

Om te zien wat het effect is van verschillende aspecten die invloed kunnen hebben op de businesscase, en daarmee het benodigde warmtetarief is een gevoeligheidsanalyse op de LCOH uitgevoerd. Het resultaat is te zien in Figuur 40. De analyse is uitgevoerd op de volgende aspecten:

- Toename van de warmteafzet met 10%;
- Een verhoging van het vreemd vermogen van 60% naar 90%, mogelijk bij van kracht worden Waarborgfonds Warmtenetten. Vreemd vermogen (lening) heeft een lager rentepercentage van 3% dan de. 6,75% bij eigen vermogen;
- Geen SDE++ subsidie;
- Toename van de kosten voor de warmtepompen met 40%;
- Verhoging van de energiekosten van 40%;
- Lagere volloop van 70% in plaats van 90%;
- Toename van de kosten voor het warmtenet met 40%.

De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse laten het volgende zien:

1. De businesscase is het meest gevoelig (in negatieve zin) voor de SDE++ subsidie. Zonder deze subsidie gaat de gemiddelde LCOH met ongeveer 51% omhoog;
2. Daarna is de LCOH zeer gevoelig voor een lager volloop percentage. Dat betekent niet alleen minder warmteafzet, maar ook minder aansluitingen (en dus minder BAK en andere inkomsten). De benodigde LCOH gaat met gemiddeld 43% omhoog als de volloop met 20%punt daalt van 90% naar 70%;
3. Vervolgens is de LCOH redelijk gevoelig voor de stijging van de warmtepomp prijzen en stijging van de energiekosten. Als de warmtepompprijzen of de energieprijzen met 40% stijgen dan gaat de gemiddelde LCOH met ongeveer 20% omhoog;
4. De stijging van de kosten voor het warmtenet hebben een beperktere invloed op de LCOH. Als de prijzen voor het warmtenet stijgen met 40% dan gaat de LCOH gemiddeld met 12% omhoog.
5. De stijging van de warmteafzet met 10% (met hetzelfde aantal aansluitingen) zorgt voor een bijna even grote daling van de LCOH en wel met ongeveer 9%.
6. Bij de verandering van de verhouding van vreemd en eigen vermogen van 60% naar 90% gaat de LCOH met ongeveer 13% omlaag. Dit is een gunstig effect.



Figuur 40: Gevoeligheidsanalyse op benodigd warmtetarief (LCOH)

Effect van investeringssubsidies

De effecten van de WIS en de ISDE-subsidie voor aansluiting op het warmtenet en aanschaf van een warmtepomp zijn meegenomen in de businesscase. Deze zorgen voor een eenmalige inkomstenbron aan het begin van een project of bij aansluiting op het warmtenet. Deze hebben een verlagend effect op het benodigde warmtetarief voor een haalbare businesscase. Er moet wel zorgvuldig omgegaan worden met de verschillende subsidies en goed worden beschouwd dat wordt voldaan aan de voorwaarden voor het verkrijgen van de subsidie.

Voor huurwoningen is de SAH aan te vragen voor het aansluiten van de woningen op het warmtenet en aanpassingen achter de voordeur inclusief energiebesparing. De specifieke ISDE-regeling zoals hierboven benoemd geldt alleen ter compensatie voor kosten voor de aansluiting op het warmtenet (ofwel ter compensatie van de BAK). Deze subsidies komen ten goede aan de huiseigenaren of huurders. Ter vereenvoudiging van de resultaten is gedaan alsof alle woningen in particulier bezit zijn, en er alleen ISDE-subsidie van toepassing is. Het effect wordt daarmee alsnog adequaat meegenomen omdat de bedragen voor de ISDE- en de SAH-subsidie vergelijkbaar zijn.

De WIS subsidie is een investeringssubsidie die kan worden aangevraagd door de ontwikkelaar van de warmtenetinfrastructuur. Deze subsidie dekt een stuk van de investering voor het warmtenet waardoor de onrendabele top van een collectief warmteproject lager wordt, of zelfs helemaal opgelost wordt. De hoogte van deze subsidie was in de vorige subsidieronde € 6.000. Dit is geen vast bedrag, maar verschilt per project. Een dergelijk kan behoorlijk helpen in de haalbaarheid van een collectief warmtesysteem (voor het geval er geen of een lagere BAK wordt toegepast). De hoogte van de WIS subsidie is gemaximeerd op € 6.000 per aansluiting en gemaximeerd op 45% van de subsidiabele kosten van het warmtenet (de laagste waarde van deze twee maxima). In de businesscase is een vereenvoudigde WIS

toegepast om inzicht te krijgen in het effect van deze subsidie. Het resultaat is dat ondanks de totale kosten voor de collectieve warmteoplossingen verschillen per gebied (bovenkant van staafdiagram in Figuur 38), er ongeveer eenzelfde netto benodigd warmtetarief uitkomt (oranje gestippelde lijn in Figuur 38). Dit komt doordat de absolute waarde van de WIS-subsidie verschilt per gebied door de verschillen in de totale kosten en dus de verschillen in de onrendabele top per gebied. Uiteindelijk is er uit de businesscase gebleken dat er een gemiddelde WIS-subsidie van ongeveer €1.600,- per aansluiting nodig is om de onrendabele top van de businesscase te dekken. Dit gemiddelde geldt voor alle gebieden samen, terwijl in Sprengen volgens de berekeningen in deze studie geen WIS-subsidie benodigd is. De berekende benodigde WIS-subsidie is vervolgens ook toegepast in de businesscase om tot de figuren en tabellen te komen zoals in dit hoofdstuk gepresenteerd.

De subsidies per aansluiting zijn in Tabel 6 op een rijtje gezet:

Tabel 6: Aanvullende subsidies met betrekking tot collectieve warmtesystemen

Subsidie per aansluiting	Omvang subsidie in €
WIS-subsidie (op basis van 1ste ronde)	€ 6.000
Alleen voor huurwoningen	
SAH Aansluiten huurwoningen	€ 3.800
SAH Aanpassingen en energiebesparing huurwoning	€ 1.200
Alleen voor particuliere woningen	
ISDE Aansluiting op een warmtenet woningeigenaren	€ 3.775
Totaal	**€ 9.775 tot €11.000**

6.10 Conclusies businesscase

Uit de businesscase analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

Warmterotonde
De gehele warmterotonde vergt een significante investering zowel voor het netwerk als de benodigde warmtepompen bij de RWZI en in de wijkwarmtestations van ongeveer € 1 miljard. Uitgaande van een BAK van € 5.600, de SDE++-, WIS- en ISDE-subsidies is berekend welke warmtetarieven nodig zijn om tot een haalbare businesscase te komen. Het resulterende warmtetarief voor de verschillende warmtegebieden liggen tussen de 17 en 24 €/GJ en gewogen gemiddeld voor alle werkgebieden samen op 21 €/GJ exclusief BTW. Die van de individuele warmtepomp ligt op ongeveer 22 €/GJ exclusief BTW. Dat is gezien de onzekerheidsfactor in dit stadium vrijwel gelijk te noemen.

De gemiddelde LCOH (22 €/GJ) ligt ruim onder het huidige ACM-tarief van 38,42 €/GJ exclusief BTW, en onder het verwachtte ACM-warmtetarief van rond de 30 €/GJ in 2025. Dit maakt dat een haalbare businesscase ruim binnen bereik lijkt. De kanttekening hierbij is wel dat alle beschikbare subsidies moeten worden ingezet om tot deze resultaten te komen. Als één of meerdere van de subsidies niet van toepassing blijken te zijn of niet verkregen kunnen worden dan leidt dit tot een hoger warmtetarief op, zie gevoeligheidsanalyse in Figuur 40. Daartegenover staat dat het warmtetarief kan dalen wanneer gebruik gemaakt kan worden van het Waarborgfonds Warmtenetten i.o. De verwachting is dat dit het warmtetarief doet dalen met ongeveer 2,5 €/GJ.

De warmterotonde maakt gebruik van lage temperatuur bronnen, zowel bij de RWZI als bij de lucht/water warmtepompen in de wijkwarmtestations, die tot midden temperatuur gebracht moeten worden. Hierdoor is de (gemiddelde) COP van alle warmtepompen samen relatief laag (3,6), ten opzichte van een LT warmtenet, of een warmtenet dat volledig draait op een TEA-systeem. Dit zorgt voor relatief hoge elektriciteitskosten en daarmee een hogere OpEx.

Bij vervolg moet de businesscase verfijnd worden om tot een nog betere inschatting van de totale kosten en opbrengsten van het gehele warmtesysteem te komen.

Mogelijkheden gericht op voorkomen onrendabele top

Als er geen of een lagere BAK wordt toegepast, of een of meerdere subsidies niet beschikbaar of van toepassing blijken, dan betekent dat, dat er een onrendabele top kan overblijven in het project. Om de onrendabele top van een warmteoplossing te dekken zijn er vier mogelijkheden:

- Een hoger warmtetarief in rekening brengen;
- Toch een (hogere) BAK in rekening brengen;
- Aanvullende of nieuwe subsidies aanwenden (ISDE, SAH, WIS);
- Inzet Waarborgfonds Warmtenetten i.o.;
- Kostenverlaging van de investering.

Kostenverlaging is het minst plausibel gezien de inflatie en toenemende complexiteit van grote collectieve warmteontwikkelingen zoals de warmterotonde. In werkelijkheid wordt niet gekozen voor óf een dekkend warmtetarief (zonder BAK) óf een maximale BAK (met een zeer laag warmtetarief) maar een combinatie. Alle mogelijkheden tot kostenverlaging moeten worden meegenomen: een acceptabele BAK (betaald door de warmtegebruikers zelf, of deels gesubsidieerd), aanvullende investeringssubsidies zoals de WIS toepassen, én een dekkend warmtetarief onder het ACM-tarief).

De verschillende toepasbare subsidies (Tabel 6) blijken, inclusief een BAK van € 5.600 ruim voldoende om tot acceptabele benodigde warmtetarieven te komen die significant onder het ACM-tarief liggen.

Individueel

Voor een individuele warmtepomp (all-electric, dus niet de hybride variant) zijn de eindgebruikerskosten vergelijkbaar met een collectief warmtesysteem. Enerzijds zijn er hogere kosten en is de SCOP lager, maar anderzijds hoeft niet in een warmtenet geïnvesteerd te worden en zijn de transportverliezen warmte nihil. Deze verschillende effecten heffen elkaar redelijk op waardoor het gemiddelde benodigde warmtetarief voor beide gevallen vergelijkbaar is.

Bij een individuele oplossing is er echter een grotere investering nodig aan de ‘voorkant’ door de woningeigenaar voor het geschikt maken van de woning. Een individuele warmtepomp kan tussen de € 10.000 en € 20.000 kosten afhankelijk van de woning. Voor de aanschaf van een warmtepomp is een ISDE-subsidie beschikbaar. Vergelijkbaar met de ISDE-subsidie voor de aansluitkosten op het warmtenet. Daarnaast is de verwachting ook dat er hogere kosten zijn (dan bij aansluiting op warmtenet) voor aanpassing aan de woning zoals het verwarmingssysteem, extra isolatie, en het verzwaren van de elektriciteitsaansluiting. Dit maakt de initiële investering hoger, maar de jaarlijkse kosten lager. Tot slot zijn er maatschappelijke kosten, gerelateerd aan de benodigde verzwaring van het elektriciteitsnet. Deze kosten worden nu nog gesocialiseerd en zijn daarom niet meegenomen in de kosten voor de eindgebruiker, maar drukken wel op de totale kosten van de energievoorziening.

6.11 Elektriciteitsverbruik

Ingegaan wordt op twee aspecten van het elektriciteitsverbruik: de omvang in kWh en de kosten in €/kWh en €/kW.

Omvang elektriciteitsverbruik

Uit de businesscase volgen naast financiële waarden ook waarden voor het specifieke elektriciteitsverbruik. Bij de collectieve warmtevoorziening met de warmterotonde wordt met 1 kWh elektriciteit 3,5 kWh warmte geleverd aan de eindgebruiker. Bij de individuele warmtevoorziening met een lucht/water warmtepomp is deze waarde 2,9. Het totale elektriciteitsverbruik bij de warmterotonde in de basisvariant bedraagt 114 GWh per jaar, bij de individuele warmtepomp heeft dit verbruik een omvang van 136 GWh per jaar, bijna 20% hoger. Dit is voor een deel te verklaren doordat bij de warmterotonde niet alle warmte met behulp van warmtepompen wordt geproduceerd, het aandeel is 90%. Ook doordat de efficiency van de grootschalige warmtepompen beter is. Dit weegt op tegen de transportverliezen die optreden in het warmtenet en de pompenergie die nodig is om het warme water te verplaatsen. Wanneer de inzet van aardgas (10% van de warmtevraag) wordt verdisconteerd en alle warmte met warmtepompen zou worden geproduceerd bij de warmterotonde dan stijgt het elektriciteitsverbruik tot ongeveer 125 GWh, 8% minder dan bij de individuele warmtepomp.

Elektriciteitskosten en businesscase

De kosten van elektriciteit vallen door het grotere verbruik bij de individuele warmtepomp hoger uit dan bij de collectieve warmtevoorziening, exclusief verschillen in energiebelasting. In de businesscase is gerekend met een gelijk basis elektriciteitstarief voor individueel en collectief. Ook is gerekend met een vaste prijs, de prijs is ongeacht het moment waarop de elektriciteit verbruikt wordt gelijk. De werkelijkheid zal in de nabije toekomst anders zijn: de elektriciteitstarieven zijn laag bij een groot aanbod van duurzame elektriciteit en hoog bij een beperkt aanbod. De verwachting is dat in de winter de elektriciteitsprijzen hoger worden en in de zomerdag lager. In de winter is er nauwelijks aanbod van zonPV elektriciteit terwijl de elektriciteitsvraag door inzet van warmtepompen voor verwarming groot is. Het warmteconcept met de individuele warmtepomp is hier relatief gevoelig voor. Bij het collectieve systeem is deze gevoeligheid kleiner omdat juist in de winter de inzet van warmtepompen relatief laag is en er bij het toepassen van warmteopslag gestuurd kan worden op het moment waarop de warmtepompen draaien. Dit maakt dat de elektriciteitskosten voor de individuele warmtepomp naar verwachting hoger gaan uitvallen dan nu in de businesscase is bepaald. Ter indicatie, wanneer deze kosten met 20% stijgen, dan neemt de LCOH toe met ongeveer 2 €/GJ.

De capaciteitskosten van elektriciteit gaan de komende jaren toenemen. Dit zal het collectieve concept minder hard raken omdat de elektrische capaciteit per aansluiting naar verhouding lager ligt dan bij een individuele warmtepomp. Dit komt vooral doordat de piekvoorziening van warmte niet met een warmtepomp gebeurt maar met een combinatie van een warmteketel en warmteopslag.

7 Bijzondere onderwerpen

De volgende bijzondere onderwerpen worden behandeld, deels volgend uit het werkplan van Fase 1 en deels volgend uit de verkenning in Fase 2. Dit in aanvulling op het hoofdstuk ontwerp en businesscase. Het gaat om de volgende bijzondere onderwerpen:

1. Betaalbaarheid en rechtvaardigheid;
2. Uitfaseren aardgas;
3. Wet- en regelgeving en warmterotonde vice versa;
4. Netcongestie;
5. Innovaties, kansen en bedreigingen;
6. Subsidies en overheidsinstrumenten;
7. Fasering en planning uitrol warmterotonde;
8. Grenzen van keuzevrijheid;
9. Financiering;
10. Communicatie, het warmtetransitieverhaal;
11. Governance.

7.1 Betaalbaarheid en rechtvaardigheid

De warmterotonde heeft alleen kans van slagen als de hiermee geleverde warmte als betaalbaar wordt ervaren door de inwoners van Apeldoorn en dat daarbij een als rechtvaardig ervaren kosten systematiek wordt toegepast. Betaalbaar heeft een absolute dimensie in termen van de jaarlijkse kosten voor de warmtevoorziening van de woning en een relatieve dimensie in termen van goedkoper of duurder dan de referentie aardgas en het duurzame warmte alternatief individuele warmtepomp of klein collectieve warmtevoorziening.

De boodschap moet zijn dat de referentie aardgas niet meer als referentie mag worden gezien. Immers aardgas wordt uitgefaseerd en we gaan over op een duurzame vorm van verwarmen. Deze overgang leidt tot andere kosten. De insteek is daarbij dat we op zoek gaan naar een alternatief dat kan en zo goedkoop mogelijk is. De terugverdientijd benadering zoals dat bij energiebesparingsmaatregelen wel kan, laat zich dan ook op duurzame energieproductie niet per definitie toepassen.

De boodschap is ook dat er niet in elke situatie duurzame warmte keuzemogelijkheden zijn. Zo laat een klein collectieve warmtevoorziening zich niet altijd toepassen omdat een geschikte bron ontbreekt. Een individuele warmtevoorziening, inclusief warm tapwater, op basis van lucht/water warmtepomp is altijd toepasbaar mits de woning zich hiervoor leent en er voldoende netcapaciteit beschikbaar is. En indien technisch mogelijk, dan lijkt deze optie nu zeer betaalbaar, maar op termijn kan dit veranderen doordat de prijs van elektriciteit juist in de winter hoger gaat worden.

Dit maakt dat we de betaalbaarheid en rechtvaardigheid primair toetsen aan de jaarlijkse kosten voor duurzaam verwarmen en wat in dit opzicht als maatschappelijk aanvaardbaar wordt gezien. In het energiecrisisjaar 2023 heeft de nationale overheid maatregelen genomen om de energievoorziening betaalbaar te houden. Daarmee heeft de overheid voor het eerst ingegrepen in de vrije markt en een uitspraak gedaan over wat als aanvaarbare kosten per warmte aansluiting wordt gezien, dit afgeleid van waarden die gelden voor aardgas en de daarvan afgeleide waarden voor stadsverwarming door de ACM (bron RHDHV-notitie Aanvaardbare kosten warmte, 16 oktober 2023):

- Maximaal 9,3% van het gemiddelde gestandaardiseerd besteedbaar inkomen. Dit inkomen bedroeg in 2020 € 32.400 en in 2022 €35.100. Betrokken op 2022 is dit € 3.264;

- De jaarlijkse kosten samenhangend met ruimteverwarming en warm tapwatervoorziening, prijspeil 2023, bedragen € 2.328 inclusief BTW.

In 2023 heeft de overheid door toeslagen voor uitkeringsgerechtigden ervoor gezorgd dat de 9,3% niet overschreden werd. Zolang de kosten per gemiddelde woningaansluiting niet boven de hieraan te koppelen € 3.264 per jaar (dat is € 272 per maand) komen, is sprake van een betaalbare warmtevoorziening. Hierbij is verondersteld dat de kosten voor ongeveer 75% bestaan uit kosten per GJ en 25% aan kosten vastrecht. Het Spreekt voor zich dat bij de warmterotonde ingezet wordt op een lager kostenniveau.

De rechtvaardigheid heeft vooral met de kostensystematiek te maken. De huidige warmtewet (en ook de WCW) is hierin star omdat er hierin geen differentiatie is in vastrechttarieven, aansluitkosten en GJ-tarieven. Hoe is een rechtvaardiger systeem mogelijk bij aanpassing van wetgeving?

- Differentiatie van het vastrecht, vastrecht per kWth waardoor grote aansluitingen meer betalen dan kleine aansluitingen. Deze differentiatie is ook het geval bij E-net en gasnet aansluitingen;
- Variabele verhouding tussen vastrecht en GJ-prijs. Deze variatie is gangbaar bij smart phone abonnementen, zo keuzevrijheid biedend aan de klanten;

Daarnaast wordt de rechtvaardigheid bevorderd door het bieden van mogelijkheden om woningen te isoleren naar minimaal label C, ook voor inwoners die dit niet kunnen betalen.

Een ander aspect van rechtvaardigheid is de wijze waarop wordt omgegaan met verschillen in kostprijs tussen de warmteclusters. Warmteclusters met een hoge warmtevraagdichtheid en nabij de warmtebron zijn het goedkoopst. Betalen de inwoners van deze clusters dan ook het minst?[42] Of wordt het als rechtvaardig gezien om met de gemiddelde kosten over de stad te werken, zodat ongeacht in welk cluster men woont hetzelfde wordt betaald voor de warmte? De mate waarin deze socialisatie van kosten wordt doorgevoerd raakt op een andere manier aan rechtvaardigheid.

Tot slot heeft rechtvaardigheid ook te maken met het regisseren van de warmtetransitie. Als wildgroei van het toepassen van individuele warmtepompen in de stad optreedt, dan maakt dit de warmterotonde uiteindelijk duurder en daarbij de kosten voor de inwoners die hiervan afhankelijk zijn hoger. Per saldo ontstaat een suboptimale situatie voor de gehele stad. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen worden door:

- Subsidie op warmtepompen alleen toe te kennen wanneer deze in niet-stadsverwarmingsgebieden worden geplaatst. Dit zal landelijk via ISDE geregeld moeten worden;
- Gebiedsgericht beleid van de gemeente rondom de plaatsing van warmtepompen, leidend tot stimulering van de plaatsing van individuele warmtepompen daar waar dit voordelen biedt en ontmoediging van plaatsing daar waar het stadverwarmingsgebieden betreft om zo suboptimale warmtetransitie te voorkomen.

In het warmterotonde ontwerp is rekening gehouden met tot 10% individuele duurzame warmteoplossingen. De keuzevrijheid die bewoners zo geboden wordt om te kiezen voor een zelf te ontwikkelen aardgasvrij-oplossing, wordt als rechtvaardig ervaren. Een harde ondergrens hanteren is wettelijk niet mogelijk.

[42] *Mogelijk met uitzondering van de BAK staat de WCW op termijn geen gedifferentieerde tarieven toe, tenzij de stad Apeldoorn in verschillende aan te wijzen warmtekavels wordt gesplitst. Hieraan zijn zowel voor- als nadelen verbonden. Besluitvorming hierover is aan het Apeldoornse gemeentebestuur*

7.2 Uitfaseren aardgas

Het uitfaseren van aardgas is onontkoombaar, in 2050 zal er geen aardgas meer beschikbaar zijn in de gebouwde omgeving. Tot die tijd zal het gasnet in delen van de stad mogelijk tegelijkertijd met een warmtenet in stand worden gehouden, wat leidt tot hoge kosten. Het is de vraag hoe het uitfaseren op een maatschappelijk verantwoorde wijze kan worden gedaan. Ten eerste door de voorgenomen fasering van de warmterotonde duidelijk te communiceren en daarmee het jaar waarin aardgas niet meer beschikbaar is per postcodegebied. Vervolgens door te stimuleren dat inwoners met koken de overstap naar elektrisch maken op het natuurlijke investeringsmoment. Ook door daar waar technisch verantwoord de levensduur van cv-ketels te verlengen tot het moment dat aardgas uitgefaseerd wordt. En door inwoners die een cv-ketel moeten vervangen de mogelijkheid te bieden van een aantrekkelijk huurcontract cv-ketel. Tot slot, mocht vervroegde afschrijving van aardgasapparatuur onontkoombaar zijn, dan is het redelijk om hier compensatie voor te bieden uitgaande van een redelijke afschrijftermijn, indicatie10 jaar.

Het gasnet hoeft niet per se voor aardgas gebruikt te worden. Duurzame gasvormige brandstoffen (groen gas, groene waterstof) kunnen in principe gebruikmaken van het aardgasnet. Minister De Jonge heeft op 20 juli 2023 een brief gestuurd aan alle gemeenten over 'Verduurzaming van de gebouwde omgeving'. Hierin doet hij de volgende oproep aan gemeenten: "Het is belangrijk om te benadrukken dat waterstof én groen gas, zelfs na 2030, slechts in beperkte mate beschikbaar zullen zijn voor het verwarmen van gebouwen. Mocht u groen gas of waterstof als transitiestrategie in uw Transitie Visie Warmte (TVW) hebben opgenomen, dan adviseren wij u dit voornemen waar mogelijk te wijzigen in een andere duurzame bron". Dit vanwege de beperkte beschikbaarheid van deze duurzame gassen, de mogelijk hoge kosten en de noodzaak om deze gassen te reserveren voor de inzet in vooral industriële toepassingen waar een duurzaam gas het enige alternatief is.

7.3 Wet- en regelgeving

Het spreekt voor zich dat de warmterotonde binnen de kaders van wet- en regelgeving tot ontwikkeling wordt gebracht en dat deze kaders van grote invloed zijn op de manier waarop dit kan gebeuren. De belangrijkste ontwikkeling is de voorgenomen invoering, waarschijnlijk in 2025, van de Wet Collectieve Warmte (WCW) en de wet Gemeentelijk Instrumenten Warmtetransitie (WGIW). Waar de WCW regelt hoe collectieve warmteprojecten moeten worden uitgevoerd en geëxploiteerd, geeft de WGIW hoe de gemeente deze projecten dient voor te bereiden.

De WCW[43] stuurt aan op publieke rolneming in de warmteketen met een aandeel van meer dan 50%, zodat collectieve warmte beter betaalbaar wordt en er meer vertrouwen bij eindverbruikers kan ontstaat. De WCW maakt het mogelijk om publieke of publiek private integrale warmtebedrijven op te richten die de warmtelevering binnen een kavel voor hun rekening nemen vanaf productie of inkoop van warmte tot en met de levering aan de eindgebruiker.

De WGIW[44] is erop gericht om gemeenten de bevoegdheden te geven die nodig zijn om regie te voeren in de wijk- of gebiedsgerichte aanpak van de warmtetransitie. Een belangrijk instrument uit de WGIW is de aanwijsbevoegdheid. Die biedt gemeenten de mogelijkheden om in het omgevingsplan binnen hun

[43] *Zie voor WCW ook https://www.nplw.nl/regelgeving/wetgeving+warmtetransitie/wet+collectieve+warmte/default.aspx*
[44] *Zie voor WGIW ook https://www.nplw.nl/regelgeving/wetgeving+warmtetransitie/wet+gemeentelijke+instrumenten+warmtetransitie/default.aspx*

grondgebied gebieden aan te wijzen die overgaan op een duurzame warmtevoorziening en waar het aardgastransport dus op termijn eindigt.

7.4 Netcongestie

Netcongestie is een serieus issue, niet alleen in Nederland, maar ook in de stad Apeldoorn. Overleg met Liander op 29 februari 2024 leverde het volgende inzicht op:

- Grootschalige LT-warmtebronnen kunnen beschikken over E-vermogen. Er is nog aansluitruimte voorhanden van ongeveer 20 MWe op het station Zuidbroek in Noordoost Apeldoorn. Dit vermogen kan ingezet worden voor TEA RWZI, geothermie en HTO-voorzieningen aan de Noordoost kant van Apeldoorn;
- Aan de Zuidoost kant van Apeldoorn is station Woudhuis nagenoeg vol, wel is de verwachting dat nog ongeveer 3 MWe beschikbaar is en dat dit voldoende zou moeten zijn voor inzet van de warmtepomp bij Grolleman om zo de restwarmte uit het koelhuis nuttig te kunnen inzetten voor een warmtenet in de wijk De Maten;
- Op termijn is een nieuw onderstation voorzien ten Zuiden van de Rijksweg A1. Hiermee wordt de nieuwbouw ontwikkeling aan de Zuidkant van de stad mogelijk gemaakt, zo ook de duurzame elektrificatie;
- Het knelpunt in de elektrificatie van de stad ligt op Tennet-niveau. Pas vanaf 2029 is meer hoogspanningsvermogen beschikbaar in het onderstation Zuidbroek, en ook voor het nieuw te bouwen onderstation. Dit bepaalt o.a. het kritieke pad van WRA;
- Een mogelijk knelpunt kan ook in de stad liggen, de verwachting is dat het stedelijke net op veel plekken gerenoveerd moet worden de komende jaren. Daarvoor is nog niet echt een duidelijk plan aanwezig. Inzicht hierin is nodig voor de LT-uitvoering van WRA. Zuinig zijn met capaciteit in de stad is het devies, dus een elektriciteitsluwe duurzame warmtevoorziening heeft de voorkeur;
- De binnenstedelijke elektriciteitsvoorziening vindt vanuit het middenspanningsstation Apeldoorn plaats.

Conclusie uit het gesprek met Liander in relatie tot de warmterotonde:

- Een basisuitvoering van WRA is denkbaar waarbij de warmte op de juiste temperatuur wordt gebracht aan de bron. Dit betreft een MT-net. Inzet van grootschalige warmtepompen vindt dan grotendeels plaats aan de oostrand van de stad (Ↄ-vorm), met centrale warmtevoorziening. Uitrol van WRA kan dan starten vanaf 2029, dat is het moment waarop Tennet de capaciteitsuitbreiding naar verwachting heeft afgerond. Wel is het zaak zo spoedig mogelijk een capaciteitsaanvraag in te dienen voor de collectieve warmtetransitie in de periode 2030 tot 2035, met een doorkijk naar 2040;
- Een LT-uitvoering waarbij de backbone op LT draait en warmtepompen in het stedelijk gebied worden geplaatst om zo op MT-niveau warmte te leveren wordt weliswaar als technisch haalbaar gezien, maar vereist voldoende ruimte in het stedelijke E-net en ruimte in de wijken voor het plaatsen van technische E-voorzieningen. Uitrol is onzeker omdat niet duidelijk is of de gewenste ruimte voor het plaatsen van technische E-voorzieningen aanwezig is en wanneer en op welke wijze Liander het binnenstedelijke net op orde heeft;
- Let wel, ook bij een MT-uitvoering zijn technische voorzieningen nodig in de wijken met bijbehorende behoefte aan ruimte. Het verschil is de warmtepomp (ruimte en netcapaciteit). Het onderscheid tussen LT en MT is dan ook vooral aan elektriciteit gerelateerd;
- Liander pleit voor een zo elektriciteitsluw mogelijk uitvoeren van de warmtetransitie. Het gaat daarbij vooral om het capaciteitsbeslag van het E-net en op welk niveau dit beslag valt. Centraal werken op MS-niveau heeft de minste impact, dat is de MT-uitvoering van WRA.

7.5 Innovaties, kansen en bedreigingen

Innovaties zijn te overwegen daar waar ze het verschil gaan maken om de prestatie van de warmterotonde te verbeteren, de kosten te verlagen of de flexibiliteit in relatie tot het E-net te verhogen. De volgende gebieden zijn onderkend waarop de innovatie met name zinvol is:

- Toepassen van hoog rendement grootschalige warmtepompen;
- Toepassen van lokale seizoensopslag warmte op hoge temperatuur;
- Toepassen van leidingsystemen met lagere verliezen;
- Toepassen van leidingsystemen en aansluitsystemen die eenvoudig zijn uit te rollen;
- Flexibel inzetten van het warmtenet zodat de jaarkosten van elektriciteit laag zijn.

De kansen en bedreigingen die verband houden met de businesscase zijn toegelicht in hoofdstuk 6.9.

7.6 Subsidies en overheidsinstrumenten

De businesscase wordt als basisvariant zonder individuele subsidies, maar inclusief SDE++ subsidie voor de duurzame warmtebronnen berekend. De businesscase bepaalt de warmteprijs na verdiscontering van alle zekere inkomstenbronnen en uitgaande van een BAK van € 5.600.

Er is momenteel ISDE voor warmteafleverset particulieren[45] en SAH-subsidie voor verhuurders[46] beschikbaar. Subsidie maakt het mogelijk om de onrendabele top naar 0 te krijgen, leidend tot een redelijk financieel rendement voor de investeerder en exploitant en redelijke kosten voor de afnemers van warmte. Subsidies zijn geen vast gegeven en veranderen naar aard, omvang en randvoorwaarden van jaar tot jaar. De informatie is dan ook een momentopname. Subsidie in relatie tot warmtenetten laten zich als volgt verdelen:

- Subsidies gericht op het beheersen van de kosten van duurzame warmteproductie. Bij grootschalige productie gaat het om de SDE++ regeling[47]. Uitgangspunt hierbij is dat de productiekosten van warmte vergelijkbaar moeten zijn met het meest gangbare alternatief. Op dit moment is dat nog aardgas. SDE++ is een exploitatiesubsidie;
- Subsidies gerelateerd aan het warmtenet. Hiervoor bestaat WIS-subsidie. De Omvang bedraagt € 6.000 voor aansluiting van een huurwoning en € 7.000 voor aansluiting van een private woning. Nu is de subsidie nog beperkt tot € 30 miljoen per project, dat zijn ongeveer 5.000 aansluitingen en 10% van de totale warmterotonde omvang;
- Subsidies gerelateerd aan de aanpassing van de woning, het warmtenet gereed maken. Voor particulieren bedraagt de ISDE-subsidie voor een warmteafleverset € 3.775 en voor verhuurders SAH-subsidie, onderverdeeld naar € 1.200 voor aanpassing van de woning en € 3.800 voor een warmteafleverset;
- Subsidies gericht op energiebesparing achter de voordeur. Dit betreft Inzet van het huidige instrumentarium;
- Waarborg of garantiefondsen waarmee de financiering van kapitaalsintensieve projecten zoals de warmterotonde aantrekkelijker wordt. Dat Maakt dat de inbreng van eigen vermogen publiek/privaat kan dalen van 30% tot 40% nu naar mogelijk 10% tot 15%. Dit maakt dat de WACC mogelijk 1%punt lager uit kan vallen.

[45] *https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/isde/woningeigenaren/aansluiting-warmtenet*
[46] *https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sah*
[47] *https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sde*

De investeringssubsidies die direct betrekking hebben op het warmtenet hebben een omvang van ongeveer € 11.000 per woning wat zich 1 op 1 door vertaalt naar een even grote reductie van de onrendabele top.

7.7 Fasering en planning uitrol warmterotonde

Start rond 2030, nadat uitrol Kerschoten heeft plaatsgevonden. Einde uiterlijk in 2050. Doorlooptijd per warmtecluster maximaal 8 jaar. Feitelijk vullen cluster met aansluitingen duurt maximaal 5 jaar. Het aansluiten van woningen en gebouwen op een WOS duurt 1 jaar. Een warmtecluster is opgebouwd uit meerdere WOS-sen. De nadere invulling van de fasering volgt uit het nader uitwerken van het ontwerp en de businesscase. De fasering wordt gesynchroniseerd met E-net ontwikkelingen en de ruimtelijke stedelijke ontwikkelingen in de stad Apeldoorn.

7.8 Grenzen van keuzevrijheid

Zie ook hoofdstuk 7.1 en 7.2. Keuzevrijheid voor inwoners en verhuurders binnen warmteclusters is tot op zekere hoogte wel mogelijk voor keuze tussen individuele WP en de warmterotonde. Sturen op maximaal 10% individueel. Geen keuzevrijheid met betrekking tot het gasnet, dat wordt met behulp van het inzetten van de WGIW uitgefaseerd in de warmteclusters. Geen keuzevrijheid over het moment waarop in een warmtecluster gestart wordt met de warmterotonde ontwikkeling. Beperkte keuzevrijheid binnen een warmtecluster over het moment van overstap (routing). Dit wordt veelal door externe factoren bepaald om zo kosten te beheersen.

Keuzevrijheid en verleiden tot snelle overstap: Mogelijk kunnen wijken en buurten die zich het eerst aanmelden een financiële bonus of voorzieningen voor elektrisch koken vergoed krijgen. Let op: is mogelijk in strijd met het rechtvaardigheidsgevoel.

Het ervaringsgetal van 10% is gebaseerd op het verwachte aandeel van inwoners die hoge waarde hechten aan een individuele oplossing en bereid zijn dit in eigen beheer en voor eigen kosten te organiseren. Dit in combinatie met woningen die na ingrijpende renovatie (label A of beter) geschikt zijn voor individuele verwarming en zo ook een beperkt beroep doen op netcapaciteit elektriciteit.

7.9 Financiering

Aspecten rondom financiering om tot een zo rendabel mogelijk en betaalbaar warmtenet te komen met grote maatschappelijke betrokkenheid, in willekeurige volgorde:

- Bied inwoners de mogelijkheid om te participeren in het warmtenet, doordat ze aandeelhouder kunnen worden net zoals dat bij veel bij zonPV en wind projecten het geval is;
- Streef naar laagdrempelige instap, dus een BAK van 0. BAK wordt meegefinancierd via vastrecht, overgenomen door subsidie en/of via GJ-prijs verrekend;
- Als je al BAK wil doorberekenen biedt dan de mogelijkheid voor een lening waarvan het restant kwijtgescholden wordt als de aansluiting langer dan 10 jaar in stand blijft;
- BAK voor huurders is sowieso nul, de verhuurder staat hiervoor aan de lat;
- Bied i.c.m. aansluiten warmterotonde een isolatiepakket aan richting label C, waarbij warmteproject/overheid een deel van de kosten voor rekening neemt. Kosten eigenaar deel verrekenen via warmtetarief of via een lage rente lening;
- Bied i.c.m. aansluiten een elektrisch koken pakket aan voor een laag vast bedrag, dat kan ook als vergoeding worden uitgekeerd zodat de inwoner zelf kan kiezen wat hij/zij met dit geld doet;

- Sluit bedrijven aan waar mogelijk met een hoog maar passend tarief zodat de winst ten goede kan komen aan de kleinverbruikers;
- Afschrijving over technische levensduur installatie minus 5 jaar (dat is langer dan de 35 jaar waarmee nu gerekend wordt), zodat de CapEx laag wordt;
- Financiering zo mogelijk 100% via de overheid met als gevolg lage rente zodat de CapEx laag wordt, daarbij gebruik maken van het in voorbereiding zijnde Waarborgfonds;
- State of the art technieken toepassen gericht op lage warmteverliezen, lage OpEx en extra kwaliteit;
- Slimme en snelle legtechnieken toepassen (kunststof leidingen, b.v. prefab Thermaflex) zodat kosten laag blijven en ook nazorg beperkt kan zijn;
- Kostenplus benadering met gedifferentieerde ROI's over de verschillende delen van het warmtenet;
- Langjarige concessie, b.v. 30 jaar met evaluaties vanaf jaar 20.

7.10 Communicatie, het warmtetransitie verhaal

De warmterotonde is onderdeel van de transitie van de stad in bredere zin, niet alleen rond de warmtetransitie, maar ook rond de stedelijk ontwikkeling. In de communicatie over de warmterotonde zijn de volgende tien boodschappen belangrijk:

1. De warmterotonde maakt gebruik van de grootschalige duurzame bronnen waarover de gemeente Apeldoorn zelf beschikt;
2. De warmterotonde is gericht op het ontzorgen van inwoners en bedrijven in de stad Apeldoorn die aardgasvrij moeten worden, waarbij de kosten beheerst worden juist ook op de lange termijn en wat leidt tot een betaalbare warmtevoorziening;
3. De warmterotonde wordt gefaseerd uitgerold over een periode van 20 tot 25 jaar en start nadat de eerste ervaring is opgedaan met de warmtetransitie in Kerschoten. De fasering loopt parallel aan de stedelijke ontwikkeling;
4. De warmterotonde is gericht op het verzekeren van betrouwbare elektriciteitsvoorziening in de stad, waarbij gebruik gemaakt wordt van warmteopslag om zo het risico van netcongestie te verkleinen;
5. De warmterotonde wordt daar toegepast waar lokaal geen collectieve bronnen voorhanden zijn of waar de inpassing van individuele warmtepompen ruimtelijk, kostentechnisch of vanuit het elektriciteitsnet bezien problematisch is;
6. De warmterotonde maakt de doorontwikkeling van de duurzame warmtevoorziening in Kerschoten mogelijk en daarmee de vergaande benutting van de RWZI als duurzame bron;
7. De warmterotonde maakt naast de levering van warmte op middentemperatuur ook de levering van warmte op lage temperatuur mogelijk, zo ook de regeneratie van WKO-bronnen in de stad;
8. De warmterotonde is een open systeem die aansluiting van meerdere duurzame warmtebronnen en grootschalige warmteopslagsystemen mogelijk maakt;
9. De gemeente is nauw betrokken bij de ontwikkeling van de warmterotonde en zal in lijn met de nieuwe warmtewet (voorstel) mede-aandeelhouder zijn;
10. Met de haalbaarheidsstudie is de eerste stap gezet in de warmterotonde ontwikkeling. Bij vervolg krijgen ruimtelijke inpassing, fasering, netinpassing en kosten/baten nadere aandacht.

Naast boodschappen specifiek gerelateerd aan de warmterotonde zijn de volgende boodschappen belangrijk:

- Energiepreventie door energie besparen, ook bij de warmterotonde is energie besparen belangrijk. Dit door een isolatieniveau behorend bij energielabel C na te streven en door zuinig om te gaan met warmte, de thermostaat een graadje lager;

- Ervaar nu al of het mogelijk is om een behaaglijk binnenklimaat te krijgen met de cv-ketel op 65°C, de temperatuur waarop de warmterotonde warmte gaat leveren. Regel zo nodig de radiator hier waterzijdig op in;
- Voorkomen van een te warme woning in de zomer door zonwering en ramen dicht overdag. In combinatie met afkoeling 's nachts door natuurlijke ventilatie.

7.11 Governance

De gemeente is in het Klimaatakkoord in 2019 aangewezen als de regisseur van de warmtetransitie en geeft aan welke vormen van duurzame warmte waar en wanneer worden doorgevoerd. Zij heeft dus ook de regie over de wijze waarop de warmterotonde tot ontwikkeling wordt gebracht en hoe deze interacteert met overige vormen van warmtevoorziening zoals WKO's en andere vormen van lokale warmtevoorziening. Dit zal tot uiting komen in de herziening van de huidige Transitievisie Warmte en de daaruit volgende voorbereiding van warmtekavels en de ontwikkeling van een bijpassende warmtebedrijf structuur voor de collectieve warmtevoorziening.

Op dit moment wordt een warmtebedrijf ingericht om de ontwikkeling van duurzame warmtevoorziening Kerschoten mogelijk te maken. Daarbij wordt al rekening gehouden met de inwerkingtreding van de Wet Collectieve Warmte in 2025, gericht op een aandeelhouderschap van publieke partijen groter dan 50%. De gemeente Apeldoorn heeft besloten om samen met het Gelders Warmteinfrabedrijf (GWIB, eigendom van Firan en de provincie Gelderland) een lokaal warmtenetbedrijf (WNA) op te richten waarin de gemeente voor 50% deelneemt. Deze gemeentelijk deelneming heeft een omvang van ongeveer, naar het zich nu laat aanzien, € 25 miljoen. Hierbij is nog geen rekening gehouden met het in ontwikkeling zijnde nationale Waarborgfonds Warmtenetten.

Het ligt voor de hand om de lijn die is ingezet bij de ontwikkeling van Kerschoten ook toe te passen bij de ontwikkeling van de warmterotonde. De omvang van de warmterotonde met een investering van rond de € 1 miljard is zo groot [48]dat een beperktere deelneming van de gemeente dan 50% denkbaar is. Het ligt dan voor de hand om andere partijen erbij te betrekken om tot een publieke deelneming groter dat 50% te komen. Als eerste komt hierbij het GWIB in aanmerking dat een groter aandeel kan nemen dan de 50% die bij Kerschoten is voorzien. Deze werkwijze sluit aan bij de doorontwikkeling van WNA naar een geïntegreerd warmtebedrijf zoals nu al door de gemeente Apeldoorn en projectpartners is onderkend. Het is daarbij voorstelbaar dat aan de publieke kant verdere uitbreiding worden gezocht zodat de financiële risico's gespreid worden, denk daarbij o.a. aan EBN en netwerkbedrijven die hun activiteiten op warmtegebied in de komende jaren naar verwachting zullen uitbreiden. De financiering van het publieke aandeel kan worden verzorgd door BNG. Het financieringspercentage zal nooit 100% zijn, 70% is mogelijk zonder publieke garantie en 90% is mogelijk met publieke garantie via het nog op te richten nationale Waarborgfonds Warmtenetten.

Bij de nadere invulling van het governance model voor de warmterotonde ligt het voor de hand om lering te trekken uit de ervaring die opgedaan gaat worden met Kerschoten. Daarnaast om op de voet te volgen wat de implicaties zijn van de nieuwe warmtewet en hoe daar in andere gemeenten met grote warmtenet initiatieven mee om wordt gegaan. Van de governance modellen die door de gemeente zijn onderzocht in het kader van Kerschoten hebben de modellen waarin de gemeente een financiële deelneming heeft de voorkeur. Ook bij de warmterotonde ligt dit voor de hand omdat zo de inspraak

[48] *Een totale investering van € 1 miljard lijkt erg hoog. De investeringen worden echter in de loop van 20 tot 25 jaar uitgesmeerd, mogelijk voor 90% gefinancierd met vreemd geld en al vrij snel ontstaat er ook een positieve kasstroom. Zelfs bij een gemeentelijke deelname van 50% betekent dat een eigen (rendabele) investering van slechts € 2 miljoen per jaar.*

en betrokkenheid het grootst is. Indien bij de warmterotonde dit aandeel klein zal zijn, is het de vraag hoe effectief daadwerkelijk aandeelhouderschap is in de sturing van de gemeente Apeldoorn bij ontwikkeling en exploitatie van de warmterotonde. Beter is het dan om de betrokkenheid van de gemeente via overeenkomsten en afspraken tot uitdrukking te laten komen. Het is daarbij belangrijk dat een transparant warmtesysteem ontstaat dat het vertrouwen heeft van alle stakeholders en in het bijzonder de eindgebruiker en waarbij duidelijk is hoe de tarieven tot stand komen en wat er gedaan wordt om kosten te beheersen en de leveringszekerheid op peil te houden.

8 Conclusies en aanbevelingen

Het tot stand komen van de warmterotonde Apeldoorn is een omvangrijk en ingrijpend traject. Met deze haalbaarheidsstudie is de eerste stap gezet. De resultaten kunnen worden gebruikt om in het najaar van 2024 een besluit te nemen over hoe het warmteproject Kerschoten als eerste stap precies uitgevoerd gaat worden en of en zo ja op welke manier er vervolg wordt gegeven aan d ontwikkeling van de warmterotonde.

Warmtevraag
Het meest financieel-gunstige scenario voor een warmtenet bestaat uit een warmtenet met een hoge totale warmtevraag en maximaal aantal aansluitingen. Het scenario hoge warmtevraagdichtheid telt ongeveer 52.000 afzonderlijke aansluitingen op het warmtenet, met een totale warmtevraag van ongeveer 2,1 PJ per jaar. Na clustering in 7 warmtegebieden, waarvan 6 op middentemperatuur en een op lage temperatuur, is een totaal aantal aansluitingen van 47.880 geschikt bevonden voor het aansluiten op de warmterotonde. De omvang van de warmtevraag is 1,8 PJ per jaar. Ongeveer 1/3 van de aansluitingen is geschikt voor levering van warmte op lage temperatuur. Ongeveer 90% van de aansluitingen bestaat uit woningen met een gemiddelde vraag van 29 GJ per jaar. Het restant komt voor rekening van utiliteitsgebouwen (o.a. winkels, kantoren, bedrijven, scholen) met een gemiddelde vraag van 67 GJ per jaar.

Warmtebronnen
De bronnenstrategie geeft voorrang aan die bronnen die CapEx intensief en elektriciteit extensief zijn. De belangrijkste is de RWZI in Noord- Apeldoorn, waarbij warmte uit effluent wordt gehaald, het concept thermische energie uit afvalwater (TEA). Er is een analyse uitgevoerd op de mate waarin TEA warmte is te onttrekken aan de RWZI in Apeldoorn. Resultaat zonder effluent buffering bij 7.000 bedrijfsuren is een warmteproductie van 871 TJ per jaar bij een gemiddeld vermogen van de warmtepomp van 34,6 MWth (8,7 MWe). Geothermie als bron voor Apeldoorn is vooralsnog onzeker, eerst is een onderzoeksboring nodig. De mogelijkheden voor Hoge Temperatuur Opslag (HTO) zijn met name kansrijk aan de oostrand van de stad. Met HTO kan het potentieel van de RWZI nog verder worden uitgenut. WKO ontwikkelen daar waar dit kan in de stad is het devies, zo blijft de warmte uit de warmterotonde beschikbaar voor die delen van de stad die niet over eigen bronnen beschikken. Regeneratie van het WKO-systeem kan door koppeling aan de warmterotonde, zo ontstaat een win win.

Warmtesysteem
De basisvariant is een middentemperatuur (MT) systeem vooral gericht op de bestaande bouw van voor 1990, waarmee op een elektriciteitsluwe wijze duurzame warmte geleverd kan worden zonder dat ingrijpende maatregelen achter de voordeur nodig zijn. Het systeem is ook instaat om warmte op lage temperatuur (LT) te leveren aan die woningen die hiervoor geschikt zijn. Op termijn kan dit MT-systeem transformeren naar een LT-systeem wanneer het overgrote deel van de stad LT-ready is. Het ontwerp van de warmterotonde houdt rekening met een gefaseerde uitrol die aansluit bij de warmtetransitie agenda, bij de ruimtelijke programmering (onder- en bovengrondse infrastructurele projecten) van de stad en de wijze waarop het elektriciteitsnet in de stad wordt gemoderniseerd.

Het warmtesysteem vereist een aantal wijkwarmtestations te plaatsen in of nabij de onderkende warmtegebieden. Nadere invulling van de locaties en technische uitvoering zal in een volgende fase bepaald moeten worden.

Kerschoten
Warmtenet Kerschoten is de eerste stap naar grootschalige inzet van de RWZI als duurzame warmtebron. Zo wordt het mogelijk om door te groeien naar een warmtevoorziening voor een groot deel van de stad waarbij de RWZI en andere bronnen optimaal worden benut. Bijna alles is voorbereid op de levering van meer warmte dan alleen voor Kerschoten benodigd.

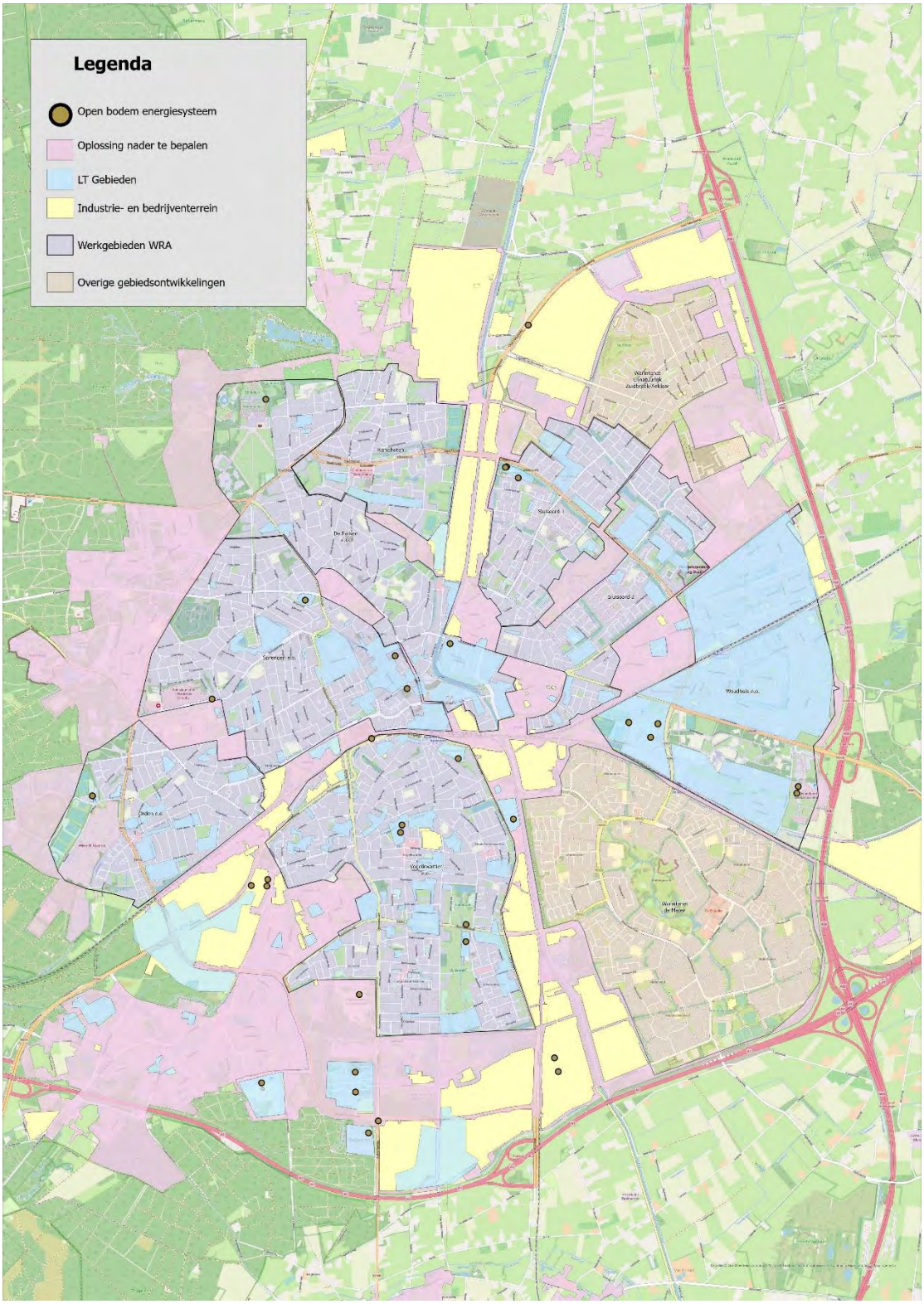
Businesscase
Een warmtenet wordt gekenmerkt door een forse investering 'aan de voorkant', aangezien er eerst een infrastructuur met leidingen moet worden aangelegd. De benodigde warmtetarieven voor de verschillende werkgebieden, uitgaande van een BAK van € 5.600 en de inzet van de huidige beschikbare subsidiemogelijkheden ligt tussen de 17 en 24 €/GJ en gemiddeld voor het hele gebied samen op 22 €/GJ. De gemiddelde LCOH ligt onder het huidige ACM-tarief van 38,42 €/GJ (excl. BTW). Dit maakt dat een haalbare businesscase en een betaalbare warmtevoorziening binnen bereik lijkt te liggen. De jaarlijkse kosten voor de eindgebruiker van de warmterotonde warmte is ongeveer vergelijkbaar met de jaarlijkse kosten die gemoeid zijn met de inzet van een individuele lucht/water warmtepomp.

Inwoners
De warmterotonde heeft alleen kans van slagen als de hiermee geleverde warmte als betaalbaar wordt ervaren door de inwoners van Apeldoorn en dat daarbij een als rechtvaardig ervaren kosten systematiek wordt toegepast. De boodschap moet zijn dat aardgas wordt uitgefaseerd en we over gaan op een duurzame vorm van verwarmen. Het uitfaseren van aardgas dient op een maatschappelijk verantwoorde wijze te gebeuren met een duidelijke communicatiestrategie naar de bewoners. De boodschap is ook dat er keuzevrijheid voor inwoners en verhuurders binnen een warmtegebied is tussen de individuele warmtepomp en de warmterotonde, waarbij aangestuurd wordt op maximaal 10% individueel. Dit maakt dat we de betaalbaarheid en rechtvaardigheid primair toetsen aan de jaarlijkse kosten voor duurzame verwarmen, de differentiatie die daarin mogelijk is en wat in dit opzicht als maatschappelijk aanvaardbaar wordt gezien.

Netcongestie
Vanuit de netcongestieproblematiek is de basisvariant van de warmterotonde elektriciteitsluw ontworpen waarbij de warmte op de juiste temperatuur wordt gebracht aan de bron. Inzet van de warmtepomp bij afnemers is dan ook net nodig. Het voordeel van de collectieve warmterotonde is dat men grootschalig duurzame warmte kan produceren op momenten dat de elektriciteitsprijs laag is (dit helpt de problemen met netcongestie tegen te gaan), dit in combinatie met grootschalige warmtebuffering. Hiermee is de warmteproductie gedurende enkele dagen onafhankelijk van de warmtevraag. Bij de individuele warmtepomp is deze mogelijkheid er niet en is men genoodzaakt dure elektriciteit te gebruiken als de warmtevraag hoog is. De warmterotonde is netcongestieverzachtend; om die reden heeft Liander het vermogen toegekend voor de RWZI-warmtecentrale voor Kerschoten.

Een LT-uitvoering waarbij de backbone op lage temperatuur draait en warmtepompen in het stedelijk gebied worden geplaatst om zo op MT-niveau warmte te leveren wordt weliswaar als technisch haalbaar gezien, maar vereist voldoende ruimte in het stedelijke elektriciteitsnet en ruimte in de wijken voor het plaatsen van technische voorzieningen. Een LT-warmtenet is dan ook minder elektriciteitsluw dan de warmterotonde.

Bijlage 1 Overzichtskaart warmteoplossingen Apeldoorn-stad



Bijlage 2 Overzicht aanwezigen expertsessie

Om tot een keuze voor een gedragen warmtesysteemvariant te komen voor nadere uitwerking van de warmterotonde is er op 16 februari 2024 een expertsessie gehouden, met als doel een gezamenlijk gedeeld beeld krijgen van de meest geschikte warmtesysteemvariant. Hieronder een overzicht van de personen die aan de Expertsessie deelgenomen hebben.

Deelnemer:	Namens:
Gijs Linthorst	Linthorst Energy
Robert Jan van Egmond	TKI Urban Energy
Benthe Vermaas	LBP Sight
Stef Boesten	RVO
Sandra Wijnant	Saxion
Annet de Raadt	NPLW
Rosalinde Klein Woolthuis	Thermisinfra Consortium
Edward Pfeiffer	RHDHV
Kees Everse	RHDHV
Anish Bosch	RHDHV
Jaap Koppejan	gem. Apeldoorn
Theo van Es	gem. Apeldoorn
Arno klein Goldewijk	gem. Apeldoorn
Ingrid Willemsen	gem. Apeldoorn (notulen)

Bijlage 3 Technische en financiële uitgangspunten voor de businesscase

De belangrijkste uitgangspunten voor de ontwikkeling van de businesscase zijn:

Uitgangspunt		Eenheid
Warmtepompvermogen RWZI	40 (waarvan 4,7MWth voor Kerschoten, ca. 35 MWth voor WRA).	MWth
Aanvoertemperatuur backbone	75	°C
Retourtemperatuur backbone	45	°C
Delta T	30	°C
Lengte backbone	21,9	km
Diameter backbone	DN600	
Vollooppercentage	90	%
Afname warmtevraag na MT	10	%
COP WP's RWZI	4,0	
COP WP's Warmtestations	3,05	
COP gewogen gemiddelde	3,6	
Warmteverlies in leidingnetwerk	20	%
Typische gemiddelde warmtevraag (MT)	33	GJ/aansluiting/jr
Ontwerpvermogen backbone	40 tot 60	MWth
Nominale stroomsnelheid	1,15 tot 2,5	m/s
Ontwerpdruk in backbone	25	bar

Uitgangspunt		Eenheid
Looptijd project	35	jaar
Fasering	5 maal 4 jaar	
Gasprijs	0,35	EUR/m^3
Elektriciteitsprijs	0,094	EUR/kWh
Prijs warmtepomp	1.437.000	EUR/MWth
Rente (WACC)	4,1	%
Verhouding vreemd vs eigen vermogen	60	%
Rente bij vreemd vermogen	3,0	%
Rente bij eigen vermogen	6,8	%
Looptijd	35	jaar
BAK	5.600	EUR
Vastrecht	511	EUR/jr
Aantal aansluitingen (na 90% volloop)	43.092	

Bijlage 4 CapEx en leidinglengte onderverdeling warmtenet

Tabel 7: Onderverdeling CapEx leidingnetwerk, lengtes in km en CapEx investering in miljoen €
**Enige inconsistenties in de optelling tot totalen komen door afrondingen in de berekeningen.*

	Backbone		Transportleiding		Distributieleiding		Aansluitleiding		Totaal
Werkgebied	**Lengte (km)**	**CapEx (M€)**	**Lengte (km)**	**CapEx (M€)**	**Lengte (km)**	**CapEx (M€)**	**Lengte (km)**	**CapEx (M€)**	**CapEx (M€)**
WG1 - Sprengen	6	26	8	15	60	39	55	22	101
WG2 - Orden	2	9	6	10	30	18	42	17	54
WG3 - Sluisoord	3	16	8	11	61	36	89	35	97
WG4 - Parken	3	15	8	13	44	27	35	14	68
WG5 - Vogelkwartier	5	22	10	21	76	46	103	40	129
WG7 - Woudhuis (LT)	3	12	7	12	51	31	48	19	73
Apeldoorn (alle WG's samen excl. Kerschoten)	**22**	**100**	**47**	**81**	**323**	**196**	**372**	**146**	**523***

CapEx Breakdown - Hele systeem	APELDOORN TOTAAL CapEx (M€)
Warmtenet	
Totaal Backbone	100
Totaal transportleidingen	81
Totaal distributienet	196
Totaal Aansluitleidingen	146
Warmtestations	
Overige kosten warmtestations	13
Bron	
Investeringen Warmtepompen (RWZI)	32
Investeringen Warmtepompen (middenlast warmtestations)	57
Investeringen Gasketels	31
Investeringen RWZI (TEA) overig	39
Investering overige kosten	0
Woning niveau	
Kosten aansluiting warmtenet	151
Overig	
Totaal herinvestering	30
Ontwikkelkosten	127
Totaal CapEx	1.001*

CapEx in miljoen (M) Euro

OpEx Breakdown	APELDOORN TOTAAL OpEx (M€/jaar)
Onderhoud	
Onderhoud warmtenet	5,4
Onderhoud afleversets woningen	1,5
Onderhoudskosten Warmtepomp	3,8
Onderhoudskosten gasketel	0,6
Onderhoudskosten Aquathermie	1,7
OpEx vaste kosten	-
Energie	
Elektra inkoop kosten	10,7
Totaal EB en ODE elektra	2,5
Kosten inkoop Gas	4,0
Kosten EB en ODE Gas	2,6
Netbeheerkosten	2,7
Overig	
Verzekeringen	2,1
Beheerkosten	3,5
Totaal OpEx	41

OpEx in miljoen Euro (M) per jaar

Warmtestation per werkgebied	Warmtepompen			Gasketels		Pompen		Warmtewisselaars		Kosten gebouw en overig	CAPEX WOS installaties	Totale CAPEX per warmtestation
	Vermogen		CAPEX	Vermogen	CAPEX	Debiet	CAPEX	Vermogen	CAPEX	CAPEX	CAPEX	CAPEX
	(MWth)	(MWe)	(M€)	(MWth)	(M€)	(m^3/uur)	(M€)	(MWth)	(M€)	(M€)	(M€)	(M€)
WG1 - Sprengen	16,6	5,5	23,9	67,3	8,1	2.000	0,5	9,2	0,5	1,0	33	34
WG2 - Orden	5,7	1,9	8,1	22,9	2,8	700	0,2	3,1	0,2	0,3	11	12
WG3 - Sluisoord	10,0	3,3	14,4	40,5	4,9	1.200	0,3	5,5	0,3	0,6	20	20
WG4 - Parken	9,3	3,0	13,3	37,6	4,5	1.100	0,3	5,1	0,3	0,6	18	19
WG5 - Vogelkwartier	14,2	4,7	20,4	57,6	6,9	1.700	0,4	7,9	0,4	0,9	28	29
WG7 - Woudhuis (LT)	7,9	2,6	11,4	32,0	3,8	1.000	0,2	4,4	0,2	0,5	16	16
Totaal	**64**	**20,9**	**91,5**	**257,8**	**30,9**	**7.800**	**1,9**	**35,3**	**1,8**	**3,8**	**126**	**130**

CapEx in miljoen (M) Euro