

An aerial photograph of the town of Elburg-Vesting, showing a dense cluster of buildings with red-tiled roofs, surrounded by green fields and a river. The town is situated in a valley, with a river flowing through it. The surrounding landscape is a mix of green fields and some industrial or commercial areas.

**OVER
MORGEN**

Haalbaarheidsonderzoek

Duurzame warmte voor Elburg-Vesting

rapportage



Inhoudsopgave

1.	Publiekssamenvatting	3
2.	Inleiding	7
3.	Lokale context: troefkaarten en erfgoedwaarden	10
4.	Duurzame warmteopties	16
5.	Knelpuntenanalyse en tussenconclusie	23
6.	Afwegingskader	27
7.	Conclusie en vervolgstappen	34
Bijlagen		37
Bijlage A - Technische en juridische (on)mogelijkheden		38
Bijlage B - Jaarrekening + BuCa per oplossing		39
Bijlage C – Toelichting afwegingskader en meetlat		40
Bijlage D – Studie erfgoedwaarden Elburg-Vesting		41

1. Publiekssamenvatting

In mei 2020 heeft de gemeenteraad van Elburg de Transitievisie Warmte (TVW) vastgesteld. Hierin hebben de gemeente, volksvertegenwoordigers en professionele partners de ambitie uitgesproken om in 2050 een aardgasvrije gebouwde omgeving te hebben. In de warmtevisie is afgesproken om in heel Elburg te starten met isoleren en besparen. Daarnaast zijn de wijken Oostendorp en Elburg-Vesting in de TVW aangewezen als startbuurten. In deze gebieden wordt als eerste verkend hoe verdere stappen richting aardgasvrij kunnen worden gezet.

In dit onderzoek richten we ons op de mogelijkheden voor duurzame warmte voor de vesting. Vanuit de warmtevisie zijn namelijk twee hoofdredenen om hier te beginnen: (1) er zijn duurzame warmtebronnen voor dit deel van Elburg in beeld; en (2) de vesting heeft actieve bewoners die met duurzaamheid aan de slag willen.

De gemeente heeft Over Morgen en Arcadis gevraagd om een haalbaarheidsonderzoek te doen naar de verschillende alternatieven waarmee de vesting aardgasvrij kan worden verwarmd. Een warmtenet, waar eerder al door Bordewijk adviseurs en de TU Delft onderzoek naar is gedaan, is één van de oplossingsrichtingen die we daarin onderzoeken. Vanuit de warmtevisie zijn daarnaast hernieuwbaar gas en individueel elektrische oplossingen als potentieel interessant aangemerkt.

We beginnen dit onderzoek met uitleg over de verschillende oplossingsrichtingen: wat betekent het op wijk-, straat- en gebouwniveau als voor een bepaalde oplossing wordt gekozen? Hoe verhoudt zich dit tot de bijzondere erfgoedwaarde van het gebied met beschermd stadsgezicht en vele monumenten? Waar liggen kansen en mogelijkheden voor ingrepen, welke harde beperkingen zijn er? Wat vinden bewoners en ondernemers en partijen die straks een rol in de uitvoering kunnen krijgen (bijvoorbeeld de netbeheerder, het waterschap, en verschillende afdelingen van de gemeente) belangrijk om mee te wegen? Welke kansen en knelpunten volgen hieruit per oplossingsrichting op technisch, financieel, maatschappelijk, praktisch en juridisch vlak?

Hieruit trekken we een tussenconclusie: welke oplossingen zijn op grond van die afweging en de mening van de betrokkenen interessant om verder te onderzoeken? En welke opties zijn minder interessant of niet haalbaar, en waarom? Vervolgens vergelijken we de oplossingen die op voorhand geen harde bezwaren kennen onderling met behulp van een afwegingskader. De criteria daarvoor zijn bepaald op basis van de input van de klankbordgroep en de partijen die we hebben gesproken. We specificeren wat we onder elk criterium verstaan, lichten toe hoe we wegen en geven uiteindelijk elk alternatief een score. Daarna trekken we een conclusie: welk alternatief scoort langs deze meetlat het beste? Welk perspectief voor een duurzaam, aardgasvrij alternatief levert dit op? Wat betekent dat verder in de praktijk en welke stappen adviseren we te zetten voor het vervolg?

In het vervolg van deze rapportage lichten we bovenstaand proces uitgebreider toe. Voor deze samenvatting zetten we de belangrijkste stappen en uitkomsten voor bewoners en ondernemers en gemeente op een rijtje.

1.1. Gebiedskenmerken en oplossingsrichtingen

Een onderzoek naar haalbare warmtealternatieven start met het in beeld brengen van de gebiedskenmerken en beschikbaarheid van warmtebronnen. Het valt direct op hoe bijzonder Elburg-Vesting is als startbuurt. De vesting is een uniek gebied met sterk monumentaal karakter en belangrijke erfgoedwaarden. De opgave de vesting aardgasvrij te maken richt zich op het gebied in Elburg binnen de grachten. Het betreft de oude vestingstad, die voor een deel uit middeleeuwse bebouwing en structuren bestaat, inclusief wallen en stadsmuren. De vesting is beschermd op gebiedsniveau en een groot aantal gebouwen is dat ook op gebouwniveau. Dat zorgt voor restricties bij het zoeken naar mogelijkheden voor een duurzaam warmtealternatief. Veel alternatieven voor aardgas werken bijvoorbeeld optimaal met een lage temperatuur, terwijl monumenten in de meeste gevallen hooguit een beetje geïsoleerd kunnen worden en een hoge temperatuur nodig hebben om warm te worden. Vaak kan wel een iets betere energieprestatie worden bereikt, maar voor een groot deel van de bebouwing is die winst slechts beperkt, en bovendien kostbaar.

Voor de vesting zijn ondanks de belemmeringen niet één maar meerdere aardgasvrije alternatieven beschikbaar. Daarmee kan op termijn een volledig aardgasvrije Vesting gerealiseerd worden. En voor deze oplossingen is een aantal lokale warmtebronnen beschikbaar. Bronnen die uit het onderzoek naar voren komen zijn:

- Warmte uit de bodem, door het oppompen van grondwater en daaruit warmte onttrekken met een grote collectieve warmtepomp;
- Warmte uit de nabijgelegen rioolwaterzuivering, waarbij de temperatuur wordt opgewaardeerd met een grote collectieve warmtepomp;
- Warmte direct uit het Veluwemeer, waarbij warmere temperaturen uit de zomer in de bodem worden opgeslagen en opgewaardeerd met een grote collectieve warmtepomp;
- Hernieuwbare gassen (groengas), gemaakt met behulp van biologische processen in afvalstromen van de nabijgelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie;
- Hernieuwbare gassen (waterstof), lokaal gemaakt met behulp van groene stroom;
- Oplossingen met elektriciteit uit het regionale stroomnetwerk.

De verschillende alternatieven vragen allen om een infrastructuur om de warmte bij de woningen af te kunnen leveren. De oplossingen zijn onder te verdelen in drie groepen, gebaseerd op de benodigde infrastructuur (kabels en leidingen) die onder de straat komt te liggen. De groepen zijn:

- (1) Hernieuwbaar gas (biogas, waterstof, groen gas), waarbij bij voorkeur grotendeels gebruik wordt gemaakt van al aanwezige gasleidingen;
- (2) Individuele systemen (met volledig elektrische of een combinatie van warmtepompen en cv-ketel als meest toegepaste varianten), die een uitbreiding noodzakelijk maken van de al aanwezige elektrische infrastructuur;
- (3) Een collectief warmtenet, waarbij de gebruikte watertemperatuur een belangrijke variabele is en waarvoor een nieuwe infrastructuur van leidingen nodig is.

Elk van deze drie oplossingsrichtingen kent grote verschillen in impact in het gebied, in de wijk en in het gebouw. De meer individuele oplossingen bieden flexibiliteit: iedere bewoner kan op eigen gelegenheid beslissen wanneer de overstap past. Oplossingen die gebruik maken van hernieuwbare gassen en warmtenetten vragen vooral om een sterk georganiseerde samenloop en centraal aangestuurd aanpak. Bij deze oplossing is het nodig dat 'iedereen' meedoet. De overstap gaat dan niet woning voor woning, maar in één keer voor de hele vesting (of het deel van de vesting waar deze oplossing wordt toegepast).

Vanuit deze oplossingsrichtingen is het gesprek aangegaan met partijen die direct geraakt worden tijdens de ontwikkeling, uitvoering en beheer. De netbeheerder, het waterschap, de woningbouwcorporatie zijn enkele van deze partijen. Tijdens deze gesprekken is een aantal belangrijke onderwerpen opgehaald.

- We hebben de optie bekeken om een losstaand, specifiek voor de vesting in te zetten ('dedicated') biogasnetwerk aan te leggen waarbij elke woning een biogas-cv zou krijgen. Productie van biogas vindt al plaats bij de rioolwaterzuivering nabij de vesting. Daarmee is er een lokaal en circulair alternatief voor fossiel aardgas voor handen. Voor de netbeheerder is het echter binnen de huidige regelgeving niet mogelijk een netwerk in beheer te nemen waar geen groengas of aardgas doorheen stroomt. Ook het overdragen van het bestaande netwerk aan derden is niet mogelijk. Momenteel vallen biogasleidingen buiten de gaswet en behoren ze tot de vrije markt. Iedereen mag in Nederland leidingen aanleggen voor het transport van biogas. Dat betekent dat er geen tariefregulering is, maar ook dat er behalve de basiswetgeving geen eisen aan veiligheid en kwaliteit worden gesteld en dat er geen toezichthouder is. Voor Liander is deze oplossing daarom niet wenselijk.
- Het waterschap geeft bovendien aan dat zij in de toekomst (>20 jaar), mogelijk over wil stappen op een ander proces van reinigen van afvalwater. Door deze nieuwe manier van reinigen is er geen restmateriaal waaruit biogas kan worden gemaakt. Het benutten van deze bron is bespreekbaar, maar op de langere termijn kleeft er onzekerheid aan ten aanzien van de beschikbaarheid van deze bron.

- De woningbouwcorporatiewoningen (beperkt in aantal) zijn bouwtechnisch op orde. Hiervoor is een aardgasvrije oplossing die geen grote isolerende maatregelen vraagt interessant zoals een hybride warmtepomp i.c.m. hernieuwbare gassen of een warmtenet op een voldoende temperatuur.

Afwegingskader en uitkomsten

Uitgaande van de lokale situatie en bijbehorende kansen en belemmeringen, zijn de volgende oplossingen meer verdiepend onderzocht.

1. Een warmtenet waarbij de warmte wordt onttrokken uit de rioolwaterzuiveringsinstallatie en de temperatuur van deze bron met centrale warmtepompen wordt opgewaardeerd naar 80 graden Celsius, zodat het benodigde isolatiepakket beperkt blijft.
2. Inzet van groen gas, dat wordt geproduceerd in de nabijgelegen rioolwaterzuiveringsinstallatie, en wordt ingevoerd in het regionale en bestaande gasnet rekening houdende met de maximale op te stellen capaciteit die überhaupt mogelijk is door seizoensverschillen in gasgebruik.
3. Lokaal geproduceerde waterstof met behulp van groene stroom bij voorkeur uit de directe omgeving;
4. Gebouwen individueel verwarmen met een elektrische warmtepomp en zo goed mogelijk isoleren naar een basisniveau voor alle woningen.
5. Verwarmen met warmtepompen die een hoge temperatuur kunnen leveren, waarbij het huidige isolatieniveau in stand blijft.

Een hoge temperatuur warmtenet is, ondanks beperkt aantal benodigde isolerende maatregelen, kostbaar in aanleg en gebruik. Rond de vesting zijn alleen bronnen beschikbaar met een lage aanvoertemperatuur. Er is een aanvullende warmtepompinstallatie nodig die, tegen een laag rendement, een hoge temperatuursprong moet realiseren (van bijvoorbeeld 20 graden naar 80 graden Celsius). Dit kost samen met de verliezen in het netwerk de nodige efficiëntie. Het ruimtegebruik in de woning is beperkt, maar de warmteafleverset zal wel ergens in de woning moeten worden geplaatst. Naar verwachting zal er veel variatie zijn in de locatie waar op dit moment de bestaande cv-ketel staat opgesteld. Een monument zit bovendien deels 'onder de grond'; er mag niet overal door funderingen heen geboord worden en het aansluiten en intern omleggen van cv-leidingen kan daarmee ingewikkeld c.q. kostbaar zijn. Wel kan een warmtenet, bij voldoende schaal en dichtheid in de omgeving, in de toekomst worden uitgebreid en kan de warmte door verschillende bronnen worden geleverd.

De oplossingen gebaseerd op hernieuwbare gassen (nummer 2 en 3) scoren in het afwegingskader het beste. Ook hier zijn kanttekeningen te plaatsen omdat beide onzekerheden kennen voor wat betreft de beschikbaarheid. In het geval van waterstof ontstaan ook de nodige praktische uitdagingen om alle CV-ketels gelijktijdig te vervangen. Een bestaand leidingnetwerk gefaseerd overzetten van aardgas naar waterstofgas is nog niet eerder op deze schaal vertoond. Ook speelt hierbij een verdelingsvraagstuk: als de schaars beschikbare duurzame gassen worden ingezet in de vesting, hebben andere sectoren (mobiliteit, industrie) minder ter beschikking.

De individuele elektrische oplossing gebaseerd op een elektrische luchtwarmtepomp per woning scoort minpunten op benodigde isolerende maatregelen die maar beperkt en tegen hoge kosten kunnen worden gerealiseerd. De toepassing van een hogetemperatuur warmtepomp resulteert in een zeer hoge energierekening als gevolg van de blijvend hoge warmtevraag. Ook is het ruimtegebruik in de woning het grootst omdat er tenminste een groot buffervat moet worden geplaatst. Het ligt voor de hand om ook de warmtepomptechniek voor een deel in de woning te plaatsen om de erfgoedwaarden te beschermen.

Concluderend kunnen we stellen dat, los van welke uitgangspunten per individu of belanghebbende meer of minder belangrijk worden gevonden, de oplossing gebaseerd op groengas in bijna alle gevallen de beste punten oplevert.

1.2. Handelingsperspectief en vervolg

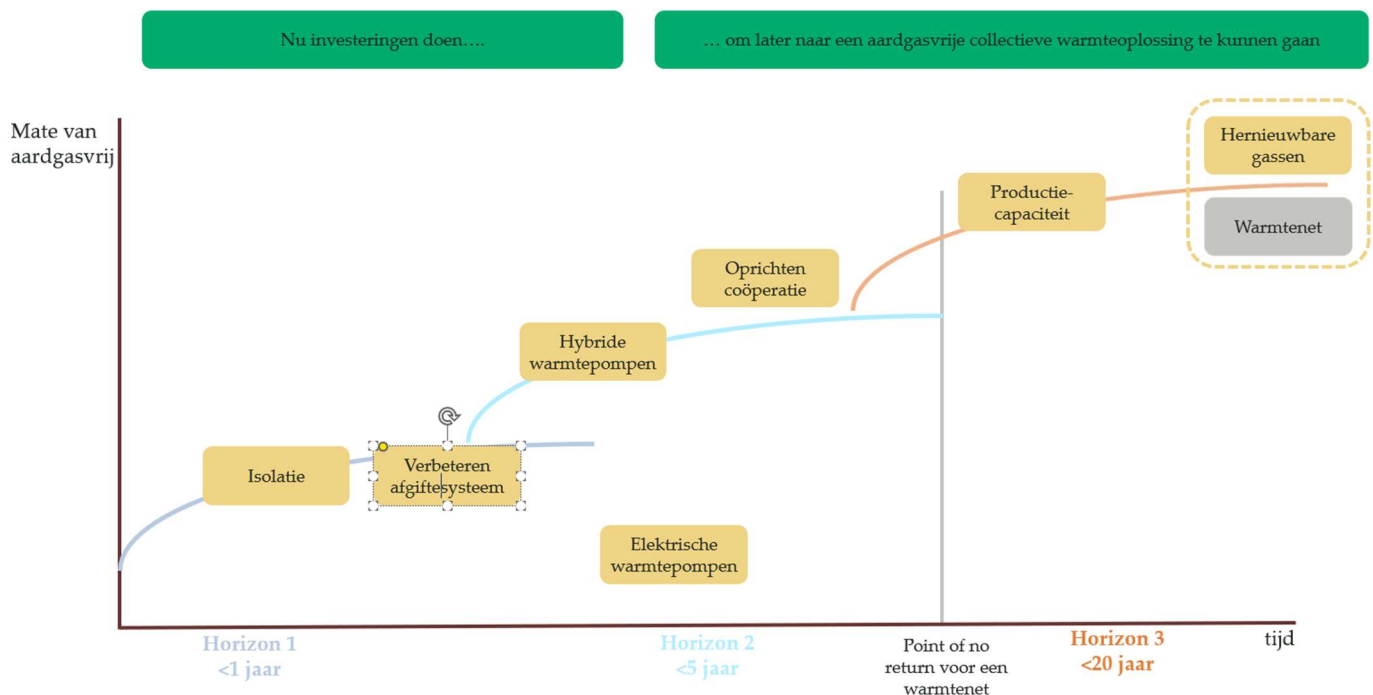
Een oplossing als groengas maakt het mogelijk om als gebouweigenaar zonder grote gebouwaanpassingen de overstap te maken naar een aardgasvrij alternatief. Deze oplossingsrichting vraagt echter wel een investering

voor het Waterschap om de installaties aan te schaffen en het groengas te kunnen produceren. Dit kan gemaakt worden uit het biologische 'afval' dat bij het schoonmaken van het rioolwater vrijkomt. Het waterschap heeft deze kosten laten berekenen en die blijken nog te hoog om rendabel het groengas te produceren. Er ontbreekt een bedrag dat gelijk staat aan ongeveer 2.000,- euro per woning (eenmalig). In het vergelijk van de opties is dit bedrag ook meegerekend en ook dan blijft groengas de goedkopere keuze. Ook deze oplossing noodzaakt dus een gezamenlijke aanpak om met deze eenmalige inleg de installaties te kunnen realiseren. Hiervoor zijn nog de nodige afspraken met het Waterschap, de gemeente en met de deelnemers te maken. Ook is het nodig om de deelnemers te verenigen in bijvoorbeeld een energiecoöperatie. Er gaat, gebaseerd op ervaringen elders in het land, altijd een aantal jaar overheen voordat het zover zal zijn.

In de route naar een aardgasvrije vesting is het voor de korte termijn verstandig om te kiezen voor een hybride warmtepomp die gebruik maakt van aardgas, het isoleren van de woningen en het verbeteren van het afgiftesysteem, daar waar het kan zonder dat dit de erfgoedwaarden negatief beïnvloedt. Dit om de beschikbare maar schaarse warmte doelmatig in te kunnen zetten. Met een hybride warmtepomp wordt het aardgasverbruik substantieel gereduceerd en wordt een belangrijke CO₂-besparing gerealiseerd. De investering verdient zich over de levensduur van het apparaat ruimschoots terug. Het elektriciteitsverbruik en de belasting van het elektriciteitsnet nemen wel toe toe, maar minder dan bij volledig elektrische (HT-)warmtepompen per woning of een grote centrale warmtepomp voor een warmtenet.

In de komende jaren kan dan de tijd worden genomen om toe te werken naar een collectieve keuze voor groengas. Afspraken met het Waterschap en Liander zijn hiervoor nodig. Voordeel van een hybride warmteoplossing is dat er in de toekomst ook minder groengas nodig is om de woningen te verwarmen dan met mono cv-ketels. Een collectieve en gezamenlijke keuze voorkomt dat ieder voor zichzelf met individuele oplossingen aan de slag gaat. Dat is uiteindelijk onwenselijk omdat individuele oplossingen meer negatieve effecten opleveren voor de erfgoedwaarden, de portemonnee van de gebouweigenaar en de maatschappij door de benodigde uitbreidingen in de infrastructuur.

Als het niet lukt om tot een afspraak voor collectief overstapmoment te komen of als de prijzen en kosten sterk wijzigen voor groengas, kan op dat moment nog steeds worden gekozen voor waterstof of voor een warmtenet. Onderstaand schema vat de voorgestelde aanpak samen.



Figuur 1.1. Routekaart naar een aardgasvrije vesting

2. Inleiding

2.1. Aan de slag met aardgasvrij

In mei 2020 heeft de gemeenteraad van Elburg de Transitievisie Warmte (TVW) vastgesteld. Hierin hebben de gemeente, volksvertegenwoordigers en professionele partners de ambitie uitgesproken om in 2050 een aardgasvrije gebouwde omgeving te hebben. In de warmtevisie is afgesproken om in heel Elburg te starten met isoleren en besparen. Daarmee daalt het aardgasverbruik en worden woningen klaargemaakt voor een aardgasvrije warmteoplossing. Figuur 1 laat dit schematisch zien.



Figuur 1. Aardgasvrij in een notendop.

In de warmtevisie is ook onderzocht in welke wijken als eerste vervolgstappen richting aardgasvrij kunnen worden gezet. We starten in wijken waar de alternatieven voor aardgas op voorhand het meest duidelijk lijken en waar het draagvlak om te starten het grootst is. Door in deze wijken stappen richting aardgasvrij te zetten, worden gaandeweg lessen opgedaan, die weer toegepast kunnen worden in volgende wijken.

In de TVW zijn de wijken Oostendorp en Elburg-Vesting aangewezen als startbuurten. In dit onderzoek richten we ons op de vesting. Voor dit gebied zijn namelijk vanuit de warmtevisie duurzame warmtebronnen in beeld (o.a. biogas vanuit de RWZI en oppervlaktewater in de nabije omgeving), en er zijn actieve bewoners die de kansen zien voor een lokaal en coöperatief warmtenet. In eerste instantie ging dat om het uitwisselen van (rest)warmte tussen vijf gebouwen in de vesting, in combinatie met warmte-koudeopslag in de bodem net buiten de vesting. Bordewijk adviseurs heeft verkennend onderzoek gedaan naar dit idee en de TU heeft er tijdens een *Roadshow* eveneens op gereflecteerd.

De vooronderzoeken geven aan dat het technisch haalbaar is om een warmtenet aan te leggen, in elk geval op de schaal van vijf gebouwen, en mogelijk ook kansen biedt om de hele vesting aardgasvrij te kunnen verwarmen. Tegelijk zijn op juridisch, organisatorisch, financieel, technisch en maatschappelijk vlak nog veel vragen onbeantwoord. Is er genoeg draagvlak voor een collectieve oplossing? Kan een warmtenet er financieel uit op deze schaal? Zijn er genoeg bronnen die de benodigde temperatuur tegen acceptabele kosten kunnen leveren? Kan de 'leveringszekerheid' hiervan gegarandeerd worden en wat is het 'back-upscenario'? Welke ingrepen in de wijk, in de straat en achter de voordeur kunnen we verwachten? Hoe kunnen we het gaan organiseren? Welk isolatieniveau is nodig voor een warmtenet en hoe ingewikkeld is dat met alle monumentale gebouwen in de vesting? Maar vooral, en iets fundamenteeler: is een warmtenet per saldo even aantrekkelijk, minder aantrekkelijk, of aantrekkelijker dan een andere oplossing en waar zit hem dat in?

De gemeente heeft Over Morgen en Arcadis gevraagd de verschillende oplossingen voor een aardgasvrije vesting in beeld te brengen door middel van een haalbaarheidsonderzoek.

2.2. De vraag aan Over Morgen en Arcadis

De volgende vraag staat centraal in dit rapport:

“Kan Over Morgen een haalbaarheidsonderzoek uitvoeren naar de verschillende duurzame opties om de Vesting van Elburg aardgasvrij te maken, waarbij het onderzoek een brede verkenning bevat van de technische, financiële, maatschappelijke, praktische en juridische consequenties?”

Om tot een antwoord op deze vraag te komen, hebben we een aantal stappen en deelvragen doorlopen. Per hoofdstuk beantwoorden we een aantal deelvragen om te komen tot een antwoord op deze centrale vraag.

Hoofdstuk 3: de vesting in beeld

- Welke inzichten zijn er al over de lokale situatie in de vesting, waarmee we kunnen bepalen welke alternatieven voor aardgas mogelijk geschikt zijn?
- Welke ‘troefkaarten’ heeft de vesting om aardgasvrij te kunnen worden? Bijvoorbeeld: kansrijke bronnen, een actieve sociale structuur, fysieke ruimte voor energie, vooruitstrevende vastgoedeigenaren, technische inpasbaarheid.
- Welke erfgoedwaarden zijn er van toepassing op de vesting en omgeving? Hoe komen deze tot uiting; welke plekken, elementen of structuren zijn specifiek waardevol? Welke ruimtelijke ingrepen kunnen wel en niet, waar ligt ruimte voor warmteoplossingen?

Hoofdstuk 4: oplossingsrichtingen

- Welke oplossingsrichtingen zijn er voor de vesting, binnen de drie hoofdinfrastructuren (gas, warmte en elektriciteit)?
- Aan welke randvoorwaarden moet voor de verschillende oplossingsrichtingen worden voldaan (in de wijk, in de straat, achter de voordeur)?

Hoofdstuk 5: knelpuntenanalyse en tussenconclusie

- Welke uitdagingen en knelpunten zitten er volgens de partijen die mogelijk een rol in de uitvoering krijgen (zie kader op de volgende pagina) bij de verschillende oplossingsrichtingen? Wat vraagt het van de rolneming van bijvoorbeeld de netbeheerder, het waterschap of de gemeente als er voor een bepaald alternatief voor aardgas wordt gekozen?
- Welke warmtealternatieven zijn op grond van technische, praktische, of juridische bezwaren voldoende haalbaar om verder te onderzoeken?

Hoofdstuk 6: afwegingskader

- Langs welke meetlat kunnen we de realistische alternatieven voor aardgas leggen?
- Wat vinden inwoners en ondernemers in de vesting belangrijke waarden/criteria in een duurzaam warmtealternatief? Is de een daarin belangrijker dan de ander?
- Wat verstaan we onder elk criterium? Hoe zijn de onder- en bovengrens gedefinieerd? Wat is het referentiepunt om te kunnen zeggen hoe goed een alternatief scoort?
- Hoe scoren de alternatieven voor aardgas die overblijven in het afwegingskader en hoe moet de score die het alternatief krijgt worden geduid?

Hoofdstuk 7: conclusie en vervolgstappen

- In hoeverre is er op dit moment een voorkeursalternatief waarmee de vesting aardgasvrij kan worden?
- Welke vervolgstappen adviseren we de gemeente te zetten (o.a. bestuurlijk, qua participatie, en welk handelingsperspectief kunnen we bieden aan de vesting)?

BETROKKEN PARTIJEN

Om te komen tot realistische alternatieven en gedragen voorkeuren, hebben Over Morgen en Arcadis samen met de gemeente diverse betrokkenen gesproken:

1. Bewonersinitiatief Elburg-Vesting aardgasvrij;
2. De klankbordgroep, bestaande uit ca. 30 bewoners en ondernemers in de Vesting;
3. Netbeheerder Liander;
4. Waterschap Vallei en Veluwe;
5. Beleidsmedewerkers gemeente Elburg;
6. Woningcorporatie UWOON;
7. Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed, Het Oversticht, Monumentenwacht Nederland;
8. Expertteam warmte (provincie Gelderland / RHDHV).

Van ieder gesprek / elke sessie is een verslag opgesteld in afstemming met de betrokkenen.

3. Lokale context: troefkaarten en erfgoedwaarden

CENTRALE VRAGEN

- Welke inzichten zijn er al over de lokale situatie in de vesting, waarmee we kunnen bepalen welke alternatieven voor aardgas mogelijk geschikt zijn?
- Welke 'troefkaarten' heeft de vesting om aardgasvrij te kunnen worden?
- Welke erfgoedwaarden zijn er van toepassing op de vesting en omgeving? Hoe komen deze tot uiting; welke plekken, elementen of structuren zijn specifiek waardevol?
- Welke ruimtelijke ingrepen kunnen wel en niet; hoeveel ruimte is er voor duurzame warmteoplossingen?

3.1. Lokale context en troefkaarten van het gebied

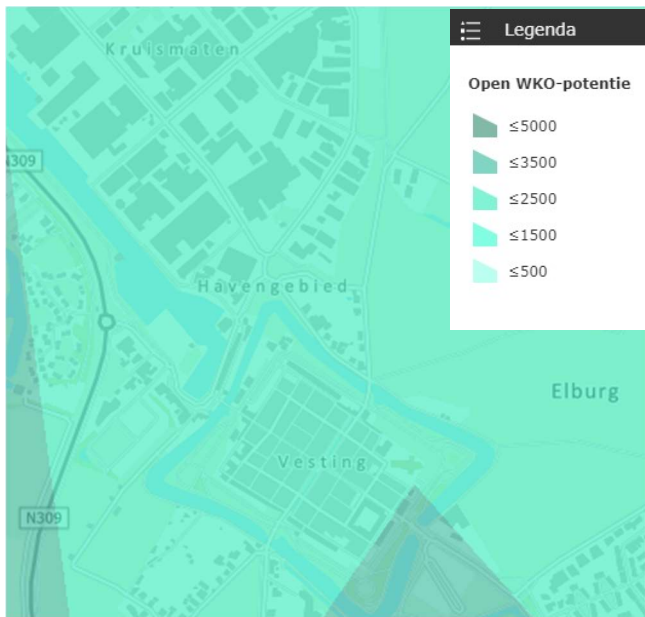
Voorafgaand aan dit haalbaarheidsonderzoek naar duurzame warmteoplossingen voor Elburg-Vesting zijn de Regionale Structuur Warmte Noord-Veluwe en de gemeentelijke Transitievisie Warmte opgesteld. Daarin is onderzocht welke duurzame bronnen in de omgeving van de vesting beschikbaar zijn en welke potentie zij kunnen bieden. Kansrijke bronnen die in dit voortraject voor de vesting zijn genoemd zijn: (1) (ondiepe) bodemenergie op 250-1.000 meter diepte (figuur 2); (2) aquathermie, bijvoorbeeld o.b.v. warmte uit de naastgelegen rioolwaterzuivering, de Jachthaven of het Veluwemeer (figuur 3); en (3) hernieuwbaar gas, met eveneens de RWZI als bron (figuur 4). Bronnen die op grond van eerder uitgevoerde analyse niet of minder kansrijk zijn voor de vesting, zijn restwarmte (nauwelijks/geen aanbod in de omgeving), vaste (houtige) biomassa om te verbranden (niet in te zetten als eindoplossing, alleen als tijdelijk transitie brandstof¹) en diepe geothermie (op 1-4 kilometer diepte, 40-100 gr. C.).

Bij de inzet van groen gas moeten goede afspraken gemaakt worden over welke doeleinden toepassing hiervan kan dienen en waar de inzet het meest doelmatig is. De RES/RSW Noord-Veluwe 1.0 zegt daarover het volgende (pagina 24):

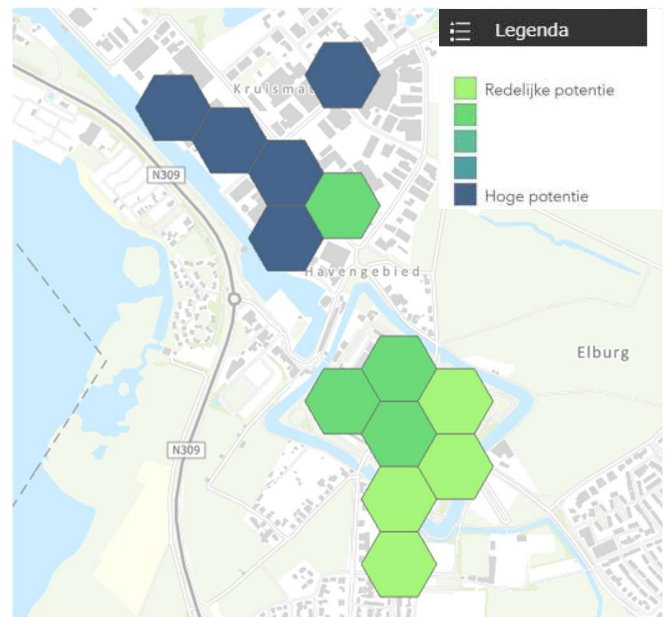
“Regionaal liggen er ook kansen voor biogas of groen gas. Er is een aanzienlijke – weliswaar nu nog theoretische – potentie om een deel van de gebouwde omgeving hiermee te verwarmen. Momenteel wordt er ook al biogas en groen gas geproduceerd in de regio bij de RWZI's in Harderwijk en Elburg. Inzet hiervan ligt vooral voor de hand daar waar isoleren van het vastgoed niet of alleen tegen zeer hoge kosten mogelijk is zoals in de vestingen van Elburg en Hattem, in het omvangrijke buitengebied en in de industrie.

De TVW en RSW worden periodiek herzien. Daarin worden ook ontwikkelingen meegenomen over gemaakte keuzes voor warmtebronnen in gebieden en verdeling van beschikbare gassen.

¹ RES 1.0: Onderdeel Regionale Structuur Warmte Noord-Veluwe 2020



Figuur 23. Potentiekaart ondiepe bodemenergie en WKO. De omstandigheden voor lagetemperatuur aardwarmte en opslag in de bodem zijn redelijk gunstig. De getallen zijn in jaarlijkse opbrengst in GJ per HA oppervlak.



Figuur 2. Potentiekaart aquathermie. De vesting ligt dichtbij oppervlaktewater en de RWZI: een goed aanknopingspunt voor verder onderzoek. Hoe donkerder de kleur, hoe 'beter' het aanbod in balans is met de warmtevraag.



Figuur 4. Potentiekaart groen gas. Op de rode stip staat een RWZI, waar op dit moment productie van biogas plaatsvindt. Toepassing van biogas of groen gas kan een interessante optie zijn voor moeilijk te isoleren gebouwen, die veel aanwezig zijn in de vesting. Het aanbod moet grotendeel ontwikkeld worden maar is ruim voldoende om een start te maken. Het theoretisch aanbod aan groengas wat geproduceert kan worden uit alle reststromen voor heel Elburg dekt 47% van de warmtevraag van gebouwen. Lokaal bij de RWZI is er voldoende restmateriaal om bijna 1 miljoen m³ groengas te produceren.

3.2. Erfgoedwaarden

Elburg-Vesting is niet zomaar een startwijk. Het is een gebied met een uniek monumentaal karakter en grote historische waarde. Arcadis heeft onderzoek uitgevoerd naar de belangrijkste kernwaarden van de vesting en het effect van verschillende warmtealternatieven op deze erfgoedwaarden.

De opgave de vesting aardgasvrij te maken richt zich op het gebied in Elburg binnen de grachten. Het betreft de oude vestingstad, die voor een groot deel uit middeleeuwse bebouwing bestaat, inclusief wallen en stadsmuren. Dit gebied is aangewezen als beschermd stadsgezicht. Bij de aanwijzing van het stadsgezicht is in de jaren '60 gekozen voor een begrenzing die ruimer is dan de historische stad. Het beschermde stadsgezicht omvat niet alleen de vesting binnen de grachten, maar ook een groot deel van de daaromheen gelegen gebieden; de voormalige schootvelden. In het gebied binnen de grachten zijn er bovendien in totaal 252 gebouwen die als rijksmonument en 82 die als gemeentelijk monument beschermd zijn.

Die bescherming van de vesting en het gebied daaromheen op gebiedsniveau en de bescherming van een groot aantal gebouwen op gebouwniveau zorgt voor restricties bij het zoeken naar mogelijkheden voor een duurzaam warmtealternatief. Niet alleen juridisch, maar ook praktisch zijn er beperkingen in de mogelijke ingrepen op wijk- en gebouwniveau. Dat heeft te maken met het grote aantal historische (vaak middeleeuwse) bebouwing binnen het plangebied.

Op beide beschouwingsniveaus zijn kaders waarbinnen fysieke ingrepen plaats kunnen vinden uitgewerkt in bijlage D. De belangrijkste onderdelen staan hieronder benoemd.

3.2.1. Uitgangspunten op gebiedsniveau

Binnen de vesting zijn verschillende tijdslagen en deelgebieden te onderscheiden. In de eerste plaats gaat het om de middeleeuwse stad, met geometrisch stratenpatroon, de 20e-eeuwse schil daaromheen, en de vestingwerken met stadsmuren, aarden wallen en slotgrachten. De verschillende deelgebieden hebben elk hun eigen kenmerken en kwaliteiten. In bijlage D zijn deze per deelgebied uitgewerkt.

Uitgangspunt is dat fysieke ingrepen in de vesting aansluiten bij de kernkwaliteiten van de stad. Samengevat komt het erop neer dat bij fysieke ingrepen zal moeten worden voldaan aan de volgende uitgangspunten:

- **Behoud door ontwikkeling**

Monumenteneigenaren in Elburg staan voor een grote uitdaging. Om de historische panden op den duur bewoonbaar te houden en om de huidige klimaat- en energiecrisis het hoofd te bieden, is verduurzaming noodzakelijk. Juist binnen de context van monumentale waarden is verduurzaming en ontwikkeling een grote uitdaging. Een blik op de historie van Elburg maakt duidelijk dat dit echter ook bij uitstek een stad is die zich door de jaren heen uitstekend heeft aangepast aan allerlei ontwikkelingen.

Door de vestingstad te verduurzamen wordt er duidelijk gekozen voor behoud van de historische stad. Als het mogelijk is om deze historische stad te verduurzamen, dan lukt dat overal.

- **Bestaande kwaliteit als uitgangspunt**

Het is de ambitie om voorzichtig en verantwoordelijk om te gaan met de bestaande kwaliteit in Elburg, en de samenhang binnen de verschillende tijdslagen. Het is de bedoeling om de (af)leesbaarheid en herkenbaarheid van de stad te behouden en te versterken.

- **Zelfredzaam- en onafhankelijkheid**

Historisch gezien kent Elburg een grote mate van autonomie. Vanaf de middeleeuwen moest de stad in het geval van een belegering zelfredzaam en onafhankelijk zijn. Deze zelfredzaamheid is een uitgangspunt bij de transitie naar een duurzaam warmtealternatief.

- **Groene randen van de stad**

De groene aarden wallen waren in het verleden van Elburg een belangrijk onderdeel van de verdediging van de stad. Tegenwoordig zijn de wallen een open en toegankelijk stadspark, waar bezoekers en bewoners kunnen ontspannen en kunnen genieten. Het groene park is een overgangsgebied van de stad naar de omliggende open gebieden en biedt een belangrijke toevoeging aan de leefbaarheid van de stad. Naast het groene hart van de stad zijn de aarden wallen bij uitstek een locatie met een groot transformatiepotentie en dus mogelijkheden voor (ruimtelijke) ingrepen.

- **Historische gelaagdheid**

Of het nu gaat om het middeleeuwse stratenpatroon, de 20e-eeuwse schil of de groene vestingwerken; Elburg bestaat uit verschillende historische bouwlagen. Door te zoeken naar nieuwe warmteoplossingen, wordt ervoor gezorgd dat deze gelaagdheid behouden blijft. Daarnaast kan deze energieoplossing een nieuwe historische laag zijn, die de gelaagdheid verder versterkt en uitbreidt. Dat vergt wel een grote mate van afleesbaarheid van deze nieuwe laag; nieuwe toevoegingen moeten als zodanig herkenbaar zijn.

3.2.2. Uitgangspunten op gebouwniveau

Bij een groot deel van de bebouwing binnen de grachten zijn geen of nauwelijks isolatietechnieken en moderne isolatiematerialen toegepast. De gebouwschil - begane grond, buitenmuren, vensters en deuren, daken - houdt de warmte vaak slecht binnen. Om woningen transitiegereed te maken, is beter behoud van warmte nodig en dat vraagt na-isolatie.

Thermische verbetering van de gebouwschil is vaak ook bij historische bebouwing wel mogelijk, maar standaardoplossingen daarvoor zijn niet toepasbaar op de meeste gebouwen, vanwege het monumentenzorgbeginsel van beeld- en materiaalbehoud. Dat maakt het lastig om een generieke aanpak voor na-isolatie van alle gebouwen binnen de vesting te definiëren. Ook de bouwfysische effecten van een toegevoegde isolatielaag zijn riskant. Vochtbelasting door condensvorming door slecht op het gebouw afgestemde isolatie vormt een bedreiging voor de instandhouding van historische gebouwen. Hoewel met maatwerkoplossingen per gebouw bijna altijd een bepaald niveau van isolatie is te bereiken, vallen warmte-alternatieven waarbij het *noodzakelijk* is dat *alle* gebouwen een hoge isolatiewaarde krijgen per definitie af.

In vrijwel alle gebouwen zijn kleine bouwkundige aanpassingen in te passen. Het aanbrengen van een afleverset ter plaatse van de bestaande cv-ketel, een nieuwe elektragroep t.b.v. een inductiekookplaat of het realiseren van een extra (lucht)afvoerkanaal zal bijvoorbeeld weinig problemen opleveren. Bij panden met geen of beperkte interieurwaarden² (d.w.z. beschermde delen aan de binnenzijde) kunnen bovendien vaak eenvoudig ingrijpende installaties worden ondergebracht. Te denken valt aan biomassaketels, afgiftesystemen voor Laag Temperatuur Water verwarming (LTW) en gebalanceerde ventilatie met een warmteterugwinsysteem (WTW). Verder bieden veel van de monumenten mogelijkheden om individueel o.a. warmtepompen en/of zonnecellen of -collectoren aan te brengen aan het exterieur aan bijvoorbeeld het achterom, maar ook hier geldt dat dit zeker niet voor *alle* gebouwen van toepassing is.

Met een op het monument toegespitst pakket aan maatregelen kan dus in de meeste gevallen wel een betere energieprestatie worden bereikt, maar voor een groot deel van de bebouwing is die winst slechts beperkt, en bovendien kostbaar.

² Deskundigen kunnen de monumentale waarde niet alleen van het exterieur maar ook interieurs en onderdelen herkennen en erkennen.

3.2.3. Randvoorwaarden aan warmteopties vanuit erfgoed

Uit bovenstaande kunnen randvoorwaarden worden gedefinieerd waaraan bij de keuze voor een warmtealternatief moet worden voldaan. De voorwaarden hebben betrekking op de fysieke ingrepen op wijkniveau die gemoeid gaan met de aanleg van een warmtesysteem, en de aanpassingen op woningniveau.

De randvoorwaarden zijn opgenomen in het afwegingskader om de verschillende warmtealternatieven met elkaar te vergelijken. Kortgezegd gelden voor een warmtealternatief voor de vesting de volgende kaders:

- Tast kwetsbare plekken niet aan:
 - Rooilijnen, gevelaanzichten;
 - Verkavelingsstructuur;
 - Archeologie;
 - Middeleeuws dakenlandschap;
 - Middeleeuwse bestrating en keitjesstoepen.
- Duurzame ingrepen passen in de (stedelijke) groei van de stad binnen de vesting;
- Benut transformatiepotentie (denk aan de parkeerplaatsen op de Bas Backerlaan; zie ook figuur 4);
- Behoud van openheid buitengebied (inpasbaarheid);
- Behoud van contrasten bebouwd/onbebouwd;
- De gekozen ingreep dient een aanzienlijke verbetering m.b.t. de bestaande situatie op te leveren;
- Warmtealternatieven zijn niet afhankelijk van individuele isolatie- of installatiemaatregelen.



Figuur 4 – Enkele locaties in de vesting waar transformatiepotentie is.

BELANGRIJKSTE CONCLUSIES

- Vanuit de warmtevisie zijn enkele warmtebronnen aangewezen die kansrijk zijn om duurzame warmte aan de vesting te kunnen leveren: ondiepe bodemenergie (tot 250 meter diepte); aquathermie o.b.v. oppervlaktewater of afvalwater van de naastgelegen RWZI, of hernieuwbaar gas (ook vanuit de RWZI).
- Duurzame warmteopties voor Elburg-Vesting moeten in het licht van de bijzondere cultuurhistorische waarde van het gebied en van de gebouwen in de vesting worden gezien. Kenmerkende erfgoedwaarden zijn bijvoorbeeld het 14^e-eeuwse geometrische stratenpatroon, de historische keitjesstoepen en de vestingwerken. Binnen de grachten bevindt zich een grote concentratie van monumentale gebouwen.
- De middeleeuwse structuur en bebouwing binnen de vesting is kwetsbaar, maar heeft ook voldoende transformatiepotentie om de voorzieningen ten behoeve van een warmtealternatief in te passen in de bestaande context, al dan niet als nieuwe tijdslaag in het al gelaagde stedelijk landschap.
- De gebieden rond de vesting zijn eveneens beschermd en zeer waardevol voor de vestingstad.
- De historische vestingstad is altijd in ontwikkeling geweest, en verschillende ruimtelijke ingrepen hebben elk hun sporen op de historische gelaagdheid van de vestingstad nagelaten. In deze context is de energietransitie slechts een nieuwe ontwikkeling voor de vestingstad.
- Warmtealternatieven waarvoor een hoge mate van (na)isolatie van de gebouwen of grote ingrepen in de thermische schil voorwaardelijk zijn, zijn niet haalbaar vanwege de hoge concentratie cultuurhistorisch waardevolle gebouwen.
- De mogelijkheden tot fysieke ingrepen binnen de woningen zijn wisselend, waardoor het toepassen van warmte- of ventilatie-installaties niet mogelijk is in alle gebouwen in de vesting, maar ook zeker niet ónmogelijk is voor een deel van de gebouwen.
- Geclusterde voorzieningen en ingrepen in de openbare ruimte hebben de voorkeur boven individuele (gebouwgebonden) installaties of aanpassingen aan het exterieur van de gebouwen.

4. Duurzame warmteopties

CENTRALE VRAGEN

- Welke oplossingsrichtingen binnen de drie hoofdinfrastructuren (gas, warmte en elektriciteit) kunnen duurzame warmte leveren aan de vesting?
- Aan welke randvoorwaarden moet op verschillende schaalniveaus (in de wijk, in de straat, achter de voordeur) worden voldaan voor de verschillende oplossingen?
- Welke impact hebben de verschillende oplossingen op de erfgoedwaarde van de vesting?

4.1. Inleiding

Duurzame warmtealternatieven worden, uitzonderingen daargelaten, op één van de drie hoofdinfrastructuren (distributie van elektriciteit, gassen, warmte) aangesloten. Daarmee zijn er grofweg drie oplossingsrichtingen relevant voor een gemeente en gebouweigenaren: (1) hernieuwbare gassen; (2) individueel elektrisch en/of hybride; of (3) een collectief duurzaam warmtesysteem. Elk van deze drie oplossingsrichtingen kent grote verschillen in impact verdeeld over de schaalniveaus (gebied, wijk en gebouw). Denk hierbij aan verschillen in de werking van de techniek en gangbare (sub)varianten met betrekking tot:

- Impact op het elektriciteitsnet en/of aardgasnet;
- Impact op de omgeving, boven- en ondergrond;
- Eisen aan gebouwen; m.n. de benodigde isolatiewaarde woningen voor een comfortabel binnenklimaat;
- De minimale schaal, faseerbaarheid en aansluitsnelheid;
- Benodigde kennis van bewoners, organisatiegraad en/of samenwerkingsvorm;
- Rol en governance van de gemeente en evt. overige betrokkenen.

In dit hoofdstuk presenteren we de oplossingsrichtingen en gaan we in op de impact van elke richting op bovenstaande punten.

4.1. Oplossingsrichting 1: Hernieuwbaar gas

Binnen de oplossingsrichting hernieuwbaar gas onderscheiden we drie varianten: (1) een losgekoppeld biogasnetwerk, (2) gebruik van waterstof, en (3) groen gas in het plaatselijke gasnet. We lichten elke variant hieronder toe.

4.1.1. Losgekoppeld biogasnetwerk

Nabij de vesting bevindt zich een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) waar biogasproductie plaatsvindt. Een deel hiervan wordt door het Waterschap zelf gebruikt voor de productie van stroom en warmte voor zuiveringsactiviteiten. Een deel wordt op dit moment nog niet benut. Op basis van een rapport van Arcadis zou er jaarlijks ongeveer 930.000 m³ biogas 'over' zijn³. Technisch is er een mogelijkheid om dit biogas direct in te zetten in een losgekoppeld aardgasnetwerk, dat nu al binnen de vesting ligt. Als de vesting overstapt op een eigen losgekoppeld biogasnetwerk, moeten alle huishoudens in de vesting een aangepaste cv-ketel krijgen om compatibel te zijn met biogas. Ook hebben bewoners een ander kooktoestel nodig en moet duidelijk worden wie het netwerk onderhoudt en exploiteert.

Hernieuwbaar gas

*“Voor Elburg-Vesting geldt dat het laten liggen van het gasnet de goedkoopste oplossing is, waarbij het gasnet gevoed kan worden met hernieuwbaar gas. Op die manier kan de Vesting aardgasvrij zijn, zonder dat het historisch centrum compleet op de schop moet.”
(Transitievisie Warmte, 2019)*

³ Arcadis (2021) Locatie rapport biogas valorisatie Locatie Elburg Waterschap Vallei en Veluwe

4.1.2. Waterstof

Waterstof

De inzet van waterstof voor woningen blijft de komende jaren naar verwachting beperkt. Uit de Regionale Structuur Warmte blijkt dat het (vooralsnog) niet aannemelijk is dat er in Elburg genoeg waterstof of beschikbaar zal komen voor het verwarmen van grote delen van de gebouwde omgeving. De toepassing van waterstof concurreert ook met de inzet van waterstof als schone brandstof voor de industrie- en mobiliteitssector.

Waterstof is een relatief nieuwe warmteoplossing die nog niet grootschalig wordt toegepast in de gebouwde omgeving. In Nederland zijn er enkele pilotprojecten, vooral in gebieden met monumentale panden. Bijvoorbeeld De Groene Walvis, initiatief van energiecoöperatie Graft – De Rijp (gem. Alkmaar), Lochem Berkeloord (een proef met 12 monumentale villa's) en Stad aan 't Haringvliet, een aardgasvrije proeftuin die op waterstof overgaat.

Als de vesting overstapt op duurzaam geproduceerde waterstof, betekent dit dat er waterstofketels geplaatst worden in de woningen en bewoners elektrisch gaan koken, en dat er ergens (niet noodzakelijkerwijs in de buurt van de vesting) een productielocatie moet zijn die met duurzame stroom groene waterstof produceert, en er een invoestation moeten komen (wel nabij de vesting).

4.1.3. Groen gas in het plaatselijke gasnet

Op papier kan de vesting aardgasvrij worden door biogas uit de RWZI op te waarden naar groen gas en dit in te voeden in het plaatselijke gasnet (8 Bar).⁴ Fysiek is het echter onmogelijk om groene gasmoleculen aan te wijzen die 'naar de vesting stromen'. Vergelijk het met groene stroom, waar altijd een mix uit het stopcontact komt, ongeacht het contract dat individueel wel 'groen' wordt afgesloten. Liander Met deze oplossing is Elburg-Vesting fysiek niet aardgasvrij, maar kan het aandeel aardgas op papier wel gecompenseerd worden met groen gas. Verder heeft deze oplossing geen inspannende consequenties voor de gebouwen. Een losgekoppeld gasnetwerk is hier, in tegenstelling tot de variant met biogas, niet aan de orde. Groen gas heeft dezelfde technische samenstelling als aardgas en kan daarmee vermengd kan worden.

Groen gas

Groen gas is technisch vergelijkbaar met aardgas. Het kan 'gewoon' door het aardgasleidingnetwerk worden getransporteerd en in bestaande CV-ketels en gasfornuizen worden gebruikt.

Net als bij waterstof kent groen gas ook toepassingen voor de industrie en de mobiliteitssector. Slechts een deel komt beschikbaar voor de gebouwde omgeving.

4.1.4. Impact van een oplossing met hernieuwbaar gas

Bij de overstap van aardgas naar biogas of waterstof moet iedereen in één keer mee: door het gasnet kan immers maar één type brandstof tegelijk worden vervoerd. Er is geen mogelijkheid voor gebouweigenaren om toch op aardgas te blijven verwarmen als er waterstof of biogas door de leidingen stroomt. Alle bewoners en ondernemers moeten dus tegelijk willen en kunnen overstappen. Dit betekent dat er duidelijke afspraken gemaakt moeten worden tussen de netbeheerder, bewoners en de gemeente over de termijn waarop de overstap haalbaar is en de voorwaarden die van toepassing zijn.

Naast het organiseren van de 'vraagkant' (voldoende afnemers), moet er ook zekerheid zijn aan de aanbodzijde. De gasleverancier moet kunnen garanderen dat er voldoende kwaliteit én kwantiteit van biogas of waterstof nu én in de toekomst beschikbaar is voor de vesting. Daarbij moet duidelijk zijn wie het gasnet gaat

⁴ Liander noemt als aandachtspunt dat het vraag is of het door het jaar heen geproduceerde groengas ook daadwerkelijk in het relatief lokale net (8Bar) kan worden ingevoerd. Groengas productie verloopt redelijk constant door het jaar, terwijl de vraag in de gebouwde omgeving vooral hoog is in de winter om woningen te verwarmen. De vraag in de zomer bepaalt ruwweg de hoeveelheid groen gas die kan worden ingevoerd in het plaatselijke net (of je moet in de zomer een deel van je productie 'weggooien'). Invoeden op hoger drukniveau (landelijk net) is veel kostbaarder. De vraag is of dat rendabel is, hoewel dat wel beter bij de vraag aansluit: dan gaat het groen gas bij wijze van spreken in de zomer naar een fabriek die veel gas verbruikt.

onderhouden en exploiteren. De prijs moet voor beide partijen voldoende aanknopingspunt bieden om te gaan starten. Daarnaast speelt er een verdelingsvraagstuk: als de vesting waterstof, biogas of groen gas gaat gebruiken, blijft er minder over voor de industrie, mobiliteitssector of andere delen van de gebouwde omgeving.

In een scenario met waterstof of biogas zullen in alle gebouwen in de vesting in korte tijd ketels en kooktoestellen vervangen moeten worden. De faseerbaarheid is bij deze oplossingsrichting beperkt en de vereiste aansluitsnelheid hoog. Ook is een tussentijdse oplossing voor verwarmen, warmtapwater en koken nodig voor de periode waarin de overstap wordt gemaakt. De overige impact van de overstap op woning-, straat- en wijkniveau is verder relatief beperkt te noemen: er is geen hoger isolatieniveau dan nu nodig; er hoeven geen elektriciteitskabels, aansluitingen en meterkasten vervangen te worden en er komt geen omvangrijke ruimtelijke ingreep aan te pas zoals bij een warmtenet, waarvoor de straten in de vesting open moeten. Deze oplossingsrichting scoort qua erfgoedwaarden hetzelfde als aardgas, zo lang de installaties voor opwek buiten de vesting worden gerealiseerd en ook daar geen noemenswaardige impact hebben op het buitengebied.

In de woning



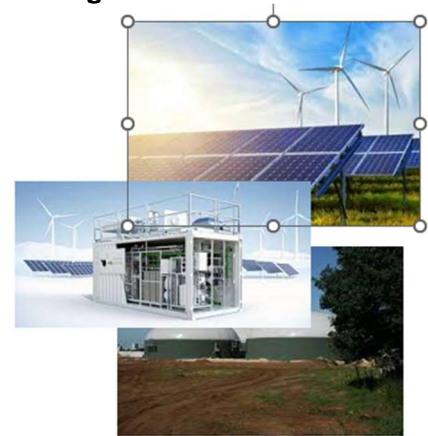
In feite geen aanpassingen t.o.v. de bekende CV-ketel (behalve bij waterstof). Het is verstandig om waar mogelijk te isoleren en een hybride ketel te plaatsen. Die vraagt meer ruimte.

In of nabij de vesting



In de vesting kan het grootste deel van de bestaande gasinfrastructuur behouden blijven. Op enkele plekken zijn aanpassingen nodig voor onderstations.

In het gebied



Voor hernieuwbare gassen zijn duurzame bronnen nodig. Waterstof noodzaakt veel duurzame elektrische opwek. Biologische gassen vragen ruimte voor het vergisten. Nabij de vesting zijn installaties ter grootte van enkele zeecontainers nodig die de gassen produceren en filteren.

4.2. Oplossingsrichting 2: individuele maatregelen - elektrisch

4.2.1. All-electric

Op individuele schaal (niveau van één gebouw of woning) zijn er mogelijkheden om over te stappen op grofweg twee varianten van individuele warmteoplossingen: (1) elektrische warmtepompen en (2) weerstands- en luchtverwarming. Bij de eerste variant vervangt een volledig elektrische warmtepomp de functie van de cv-ketel, maar dan zonder (aard)gas als brandstof. Een elektrische warmtepomp gebruikt warmte uit de lucht, bodem of grondwater en gebruikt deze warmte om panden mee te verwarmen. Het nadeel van een volledig elektrische warmtepomp is dat de warmtebron een lage temperatuur heeft. Daarmee is er goede isolatie in de woning nodig én soms een groter warmte-afgifteoppervlak dan nu het geval is bij een cv-ketel die 90 graden water levert. Ook neemt een elektrische warmtepomp meer plaats in dan een cv-ketel. Dat betekent een ingrijpende verbouwing voor veel woningen in de vesting. Inmiddels zijn er ook warmtepompen op de markt die een hogere aanvoertemperatuur kunnen leveren, waardoor isolatie en meer afgifteoppervlak geen harde voorwaarden meer zijn (maar voldoende ruimte in pandig nog wel). Tegelijkertijd zijn 'HT-warmtepompen' lang niet zo efficiënt (uitgedrukt in 'COP') als de modellen die in goed geïsoleerde gebouwen worden toegepast.

Bij de variant met weerstandsverwarming wordt elektriciteit in het verwarmingselement zelf omgezet in warmte. Bijvoorbeeld via een infraroodpaneel of elektrische straalkachel. Dit in tegenstelling tot een warmtepomp, die via een cv-systeem meestal radiatoren of vloeren verwarmt. Een weerstandverwarming is in staat om hoge

temperaturen te halen waardoor isolatie geen randvoorwaarde is voor het warm krijgen van woningen. Gezien het elektriciteitsverbruik zijn isolatiemaatregelen echter wel wenselijk, omdat de stookkosten anders fors stijgen.

4.2.2. Hybride warmtepomp en daarna overstappen op volledig aardgasvrij

Als tussenoplossing tussen volledig verwarmen op aardgas en een volledig aardgasvrije warmteoplossing kan voor een hybride warmtepomp worden gekozen. Een hybride warmtepomp neemt deels de functie van gas als warmtebron in een cv-ketel over door gebruik van energie uit de buitenlucht. Op dagen waarop het verschil tussen de binnentemperatuur en buitentemperatuur te overzien is, verwarmt de warmtepomp de woning dan elektrisch. Voor warmtapwater en voor de piekvraag op koude dagen, als de omgevingswarmte niet genoeg is, springt de cv-ketel bij.

Een hybride warmtepomp kan de aardgasvraag voor de gebouwen in de vesting naar schatting met 50% verminderen, uitgaande van het huidige isolatieniveau. Met deze hybride route is de aardgasvraag dus verminderd, maar de vesting is met deze warmteoplossing nog niet aardgasvrij. Om de stap naar aardgasvrij te maken, is een overstap nodig naar een aardgasvrije warmtebron die de piekvraag en -last kan opvangen. Denk aan een ketel op hernieuwbaar gas, of alsnog een volledig elektrische warmtepomp. Bij de hybride route ligt een andere warmteoplossing zoals de aanleg van een warmtenet ook nog open op een later moment.

4.2.3. Impact van een individuele oplossing

In tegenstelling tot de eerste oplossingsrichting kan iedereen in de vesting op eigen tempo en naar eigen draagkracht de overstap maken van een (mono-)cv-ketel naar een (hybride) warmtepomp. Er is geen sprake van een minimaal noodzakelijke schaal om te kunnen starten en dat biedt flexibiliteit in de fasering en aansluitsnelheid. Dit betekent ook dat de gemeente geen collectieve gelijktijdige overstap hoeft te organiseren en de netbeheerder kan het aardgasnet voorlopig gewoon laten liggen. Wel gaat een overstap naar all-electric zorgen voor een sterke stijging van de belasting van het elektriciteitsnet. Verderop in dit rapport lichten we de kijk van Liander hierop toe. Een andere randvoorwaarde van een individuele oplossing met een elektrische warmtepomp is dat hiervoor een isolatieniveau nodig is dat vaak op dit moment nog niet bereikt is. Zoals eerder in paragraaf 3.2.2 aangegeven is dat in het geval van monumenten niet met een standaardpakket op te lossen; er zitten allerlei wettelijke en bouwkundige beperkingen aan het isoleren van beschermd vastgoed, en daar waar wel mogelijkheden zijn, lopen deze soms flink in de papieren. Deze oplossingsrichting scoort slecht als het gaat om de impact op erfgoedwaarden als de gehele vesting met een warmtepomp aan de slag gaat. De benodigde ruimte in en nabij de woning voor de binnen- en buitenunits is niet altijd beschikbaar of doet afbreuk aan het karakter van gebouwen. Ook zijn aanpassingen aan het isolatieniveau en de warmte-afgiftesystemen soms wel en soms niet mogelijk, ontstaat er geluidsdruk die bij een paar warmtepompen te overzien is maar bij een veelvoud aan buitenunits merkbaar zal zijn. Ook komen er (3-5) middenspanningsruimten in de vesting bij. Of een individuele oplossing mogelijk is, zal altijd maatwerk per gebouw vergen, waarbij de bepalingen uit de dan geldende welstandsnota leidend zijn.

Desondanks kan een hybride warmtepomp wel als tussenoplossing dienen, ook bij het huidige isolatieniveau, voor dat deel van de gebouwen daar waar deze met behoud van erfgoedwaarden kan worden ingepast. Immers, bij een deel van de gebouwen kan de installatie in pandig wel worden gerealiseerd en kan de buitenunit uit het zicht en zonder geluidsoverlast komen te staan. Daar zijn op dit moment ook al enkele voorbeelden van in de vesting aan te wijzen. De investering in een hybride warmtepomp verdient zich binnen een aantal jaar terug en is daarmee geen weggegooid geld, ook niet als in de toekomst alsnog wordt gekozen voor een collectieve oplossing. Wel is het belangrijk om perspectief op de eindoplossing te krijgen en dit ook kenbaar te maken richting de vesting. Als er nu wordt gekozen om geen collectiviteit te organiseren, gaan bewoners en ondernemers individuele maatregelen nemen om aardgasvrij te worden. Als er geen concreet perspectief komt voor een collectieve oplossing op de lange termijn, is het aannemelijk dat inwoners van de vesting alsnog voor langdurige eigen individuele warmteoplossingen kiezen. Stel dat na 2030 opnieuw wordt gekeken en dan blijkt dat een collectieve oplossing dan meer mogelijkheden biedt, kan het voor de doelgroep die al individueel aan de slag is gegaan mogelijk niet meer interessant zijn om daaraan deel te nemen.

In de woning



Elektrische oplossingen vragen de meeste aanpassingen van de woning. Ook zal de techniek ergens moeten worden geplaatst. Een buffervat vraagt meestal >1 vierkante meter aanvullende ruimte en de meeste warmtepompen hebben een buitenunit die plaatselijk onwenselijk kan zijn.

In of nabij de vesting



De elektrische infrastructuur zal in heel Nederland worden uitgebreid. Elektrische oplossingen vragen 2 tot 4 keer extra vermogen en dus meer en grotere kabels en ruimten in de wijk.

In het gebied



De elektrische infrastructuur in het gebied ligt voor het overgrote deel onder de grond. De onderstations zullen moeten worden uitgebreid.

4.3. Oplossingsrichting 3: duurzame collectieve warmte

Binnen de oplossingsrichting duurzame collectieve warmte bestaan meerdere varianten met elk een breed scala aan mogelijke warmtebronnen en zogenaamde 'temperatuurregimes'. Voor deze haalbaarheidsstudie maken we onderscheid tussen laag- en midden temperatuur warmtenetten (<70°C) en hoogtemperatuur warmtenetten (>70°C). Bij een aansluiting op een warmtenet wordt centraal warmte opgewekt en neemt een afleverset in de woning de functie over van de cv-ketel. Deze afleverset werkt als een warmtewisselaar; het bestaande cv-leidingsysteem in de woning wordt met het warme water uit het warmtenet gevoed. Voordeel hiervan is dat er weinig plek in de woning zelf nodig is (in tegenstelling tot bijvoorbeeld een warmtepomp).

4.3.1. Laag- en midden temperatuur warmtenet (<70°C)

Bij een laag- of middentemperatuur warmtenet komt er een collectief verwarmingssysteem voor de gehele vesting waar water met een aanvoertemperatuur lager dan 70°C de gebouwen verwarmt. Dit type warmtenetten wordt doorgaans toegepast in nieuwbouwwijken met voldoende schaal en bebouwingsdichtheid voor warmtenetten en waar gebouwen hoogwaardig geïsoleerd zijn. Voor Elburg-Vesting is aquathermie uit oppervlakte- of afvalwater ('TEO' of 'TEA', respectievelijk) een mogelijke laagtemperatuur warmtebron. De bron levert in dit geval bijvoorbeeld 10 tot 25 graden water, en wordt met behulp van een grote warmtepomp verder verwarmd tot circa 70 graden in het geval van een MT-net. Woningen moeten ook bij 60-70 graden aanvoertemperatuur wel een basisniveau van isolatie hebben bereikt en in sommige gevallen een groter warmte-afgifteoppervlak krijgen dan nu het geval is, zodat ze ook op koude dagen met deze temperatuur comfortabel warm kunnen worden.

4.3.2. Hoog temperatuur warmtenet (>70°C)

Bij een hoogtemperatuur warmtenet is er sprake van een collectief verwarmingssysteem voor de gehele vesting waar water warmer met een aanvoertemperatuur van meer dan 70°C de gebouwen verwarmt. Door de hoge temperatuur is dit type warmtenet in staat om elke woning te verwarmen die nu ook verwarmd kan worden door een normale cv-ketel. Hierdoor zijn er geen additionele maatregelen nodig zoals verdere isolatie van de gebouwschil of het vervangen van afgiftesystemen (zoals radiatoren).

Er zijn verschillende warmtebronnen voor een hoogtemperatuur warmtenet. Bijvoorbeeld hoogwaardige restwarmte vanuit de industrie of afvalverbranding of biomassa, of ultradiepe geothermie. In Elburg zijn echter geen restwarmtebronnen aanwezig die voldoende hoogwaardige restwarmte kunnen leveren. Een warmtenet met houtige biomassa als eindbron is beleidsmatig onwenselijk, biomassa tijdelijk inzetten behoort nog wel tot de mogelijkheden. (Ultra)diepe geothermie heeft alleen een businesscase bij flink grotere schaal dan alleen de vesting (minimaal enkele duizenden woningen).

De optie voor een HT-warmtenet die dan overblijft is om een 'laagwaardige' warmtebron op te waarderen naar een hogere temperatuur met een centrale boosterwarmtepomp. Beschikbare 'laagwaardige' bronnen zijn bijvoorbeeld warmte uit het effluent van de nabijgelegen RWZI of warmte uit oppervlaktewater uit het havenkanaal of het Veluwemeer. Ook ondiepe bodemenergie, PVT-panelen of een lucht-water warmtepomp kunnen ook uitkomst bieden maar deze oplossingen kennen een lager rendement tijdens de koude seizoenen dan de genoemde alternatieven. In alle gevallen is er nog relatief veel elektriciteit (maar duidelijk minder dan individuele oplossingen) nodig om met een bron met lage aanvoertemperatuur een HT-warmtenet te gaan voeden. Hiervoor moeten ook één of meerdere energiecentrales met warmtepompen komen te staan waar deze opwaardering van temperatuur kan plaatsvinden, en er moet een grootverbruik-aansluiting op het elektriciteitsnet passen. Liander heeft aangegeven dat dit vanwege congestieproblematiek op onderstation Nunspeet in elk geval niet voor 2026 gaat lukken.

4.3.3. Impact van een collectieve duurzame warmteoplossing

Bij een collectieve duurzame warmteoplossing met een LT/MT- of HT-warmtenet gaan alle bewoners over van een eigen warmteoplossing (in de meeste gevallen een cv-ketel) op collectieve warmtelevering en individuele afleversets. Op individuele schaal hebben huishoudens nog steeds de mogelijkheid om voor een individuele warmteoplossing te kiezen, mocht die beter hun eigen situatie passen.

Voor een collectieve duurzame warmteoplossing is een duurzame bron nodig die tegen voldoende aantrekkelijke voorwaarden warmte kan leveren. Aan de afnemerszijde moet voldoende schaal en bebouwingsdichtheid zijn en moeten zoveel mogelijk mensen tegelijkertijd overstappen. Immers: naar mate meer mensen in het gebied niet meedoen ('opt out'), worden de aansluitkosten per gebouweigenaar hoger. Ook als een warmtenet gefaseerd wordt aangelegd, moeten de voorinvesteringen in de hoofdinfrastructuur vanaf dag 1 over de gebouweigenaren die deelnemen worden verdeeld. Daarom is er altijd een hoge organisatiegraad c.q. sterke regie nodig als er een warmtenet wordt uitgerold. Daarnaast is een warmtenet in de exploitatie niet rendabel als het aansluitpercentage lager is dan waarop het net is gedimensioneerd. Vroegtijdig perspectief bieden op een eindoplossing is daarom cruciaal. Zeker als een warmtenet niet binnen afzienbare tijd wordt aangelegd maar pas mogelijk in de toekomst.

In de woning



Ruimtegebruik in de woning is van alle oplossingen het meest beperkt. Er moet een afleveret in de plaats van de CV-ketel komen. Voor een nieuwbouwwoning past die prima in de meterkast. Voor een monument is de wenselijke locatie nabij de CV-ketel. Hoe daar te komen met de leidingen is een uitdaging.

In of nabij de vesting



Warmtenetten vragen veel van de ondergrond: grote leidingen die op afstand van andere kabels en leidingen moeten komen te liggen. Deze infrastructuur gaat wel lang mee. Op 1 of 2 locaties zal een warmteoverdrachtstation (WOS) nodig zijn ter grootte van 1-2 garageboxen.

In het gebied



In de vesting of nabij de RWZI zal een grote warmtepomp komen die de warmte naar het juiste niveau opwaardeert. Dit vraagt een gebouw van ongeveer 3-5 garageboxen groot.

BELANGRIJKSTE CONCLUSIES

- Duurzame alternatieven voor aardgas zijn op hoofdlijnen onder te verdelen in drie oplossingsrichtingen:
 - (1) hernieuwbaar gas (biogas, waterstof, groen gas);
 - (2) individuele systemen (met all electric- en hybride warmtepompen als meest toegepaste varianten);
 - (3) een collectieve warmtevoorziening in de vorm van een LT/MT of HT-warmtenet.
- Elk van deze drie oplossingsrichtingen kent grote verschillen in impact in het gebied, in de wijk en in het gebouw. Individuele oplossingen bieden meer flexibiliteit als het gaat om aansluitsnelheid. Oplossingen met biogas of waterstof en varianten van warmtenetten vragen vooraf om een sterk georganiseerde samenloop en centraal aangestuurde aanpak. De overstap gaat dan niet woning voor woning, maar in één keer voor de hele vesting.
- Zowel bij een individuele route met warmtepompen als bij een warmtenet met boosterwarmtepompen, neemt de druk op het elektriciteitsnet toe. De warmte die nu door aardgas wordt geleverd wordt in dat geval namelijk (deels) door elektriciteit opgewekt. Vanwege congestieproblematiek duurt het zeker nog een aantal jaar voordat er genoeg capaciteit op het elektriciteitsnet is om grote hoeveelheden extra elektriciteit voor ruimteverwarming te kunnen inzetten.
- Als er wordt gekozen voor een individuele hybride route (als tussenstap naar aardgasvrij), blijft er ruimte in de toekomst voor een collectieve warmteoplossing. Wel is het belangrijk hierover vroegtijdig perspectief en duidelijkheid te bieden aan de vesting.

5. Knelpuntenanalyse en tussenconclusie

CENTRALE VRAGEN

- Welke uitdagingen en knelpunten zitten er, volgens de partijen die een rol in de uitvoering kunnen krijgen, bij de verschillende oplossingsrichtingen? Wat vraagt het van de rolneming van bijvoorbeeld de netbeheerder, het waterschap of de gemeente als er voor een bepaald alternatief voor aardgas wordt gekozen?
- Welke warmtealternatieven zijn op grond van technische, praktische, of juridische bezwaren voldoende haalbaar om verder te onderzoeken?

5.1. Inleiding

Het is geen eenvoudige opgave om harde uitspraken te doen over hoe realistisch of haalbaar bepaalde aardgasvrije warmtealternatieven voor de vesting zijn. Technisch kan er in principe van alles, maar elke oplossing komt met vragen ten aanzien van kosten, ruimtelijke consequenties, milieu-impact, benodigde organisatiegraad, enzovoorts. Ook op juridisch, praktisch en maatschappelijk vlak komt er veel bij elk alternatief kijken. De vraag is vooral hoe ver partijen bereid zijn te gaan in hun inspanningen en op welke termijn dit moet resulteren in een aardgasvrije vesting.

In dit hoofdstuk leggen we de basis voor een afwegingskader (hoofdstuk 6), waarin we alternatieven voor aardgas langs dezelfde meetlat kunnen gaan leggen. Het is tegelijkertijd ondoenlijk en onoverzichtelijk om alle denkbare oplossingen hieraan te toetsen. Daarom vergelijken we in hoofdstuk 6 alleen alternatieven waarover de betrokkenen het eens zijn dat ze voldoende realistisch zijn om verder te gaan onderzoeken. Om deze slag te kunnen maken, hebben Arcadis en Over Morgen samen met de gemeente verschillende gesprekken gevoerd. We hebben input opgehaald bij een afvaardiging van bewoners en ondernemers in de vorm van een klankbordgroep, bij netbeheerder Liander, waterschap Vallei en Veluwe en woningcorporatie UWoon, bij beleidsmedewerkers van de gemeente die vanuit verschillende hoedanigheden aan de vesting werken, bij de wethouder, bij erfgoedverenigingen en bij warmte-experts van de provincie.

Uit de gesprekken zijn enkele technische en juridische bezwaren van specifieke warmteoplossingen naar voren gekomen. Deze zijn in een tabel in bijlage A uiteengezet. Hieronder beschrijven we in dezelfde opzet als in het vorige hoofdstuk per oplossingsrichting welke knelpunten er voor de verschillende warmteoplossingen zijn, en welke alternatieven we wel of niet verder onderzoeken.

Hernieuwbaar gas

Losgekoppeld biogasnetwerk

Een van de varianten binnen de oplossingsrichting hernieuwbaar gas is een eigen gasnetwerk voor de vesting waar biogas doorheen stroomt. In deze variant wordt het bestaande gasleidingennet in de vesting fysiek losgekoppeld van het landelijk aardgasnetwerk. Biogas kan door de naburige RWZI geleverd worden en is vanuit circulair oogpunt een mooie oplossing: woningen in de vesting worden verwarmd door vergisting van lokaal rioolslib. Technisch kunnen de cv-ketels en kooktoestellen van bewoners worden aangepast of vervangen, zodat ze hiervoor geschikt zijn. En het is mogelijk om fysiek een ander soort gas dan aardgas door de leidingen te transporteren.

Juridisch ligt deze oplossing erg ingewikkeld. Liander geeft aan zij als netbeheerder geen wettelijke bevoegdheid heeft om andere gassen dan aardgas of het technisch vergelijkbare groen gas te transporteren. Dat betekent dat het beheer en onderhoud aan het biogasnet niet door de netbeheerder, maar door een andere partij moet worden uitgevoerd. Gelet op veiligheidsaspecten en het benodigde kennisniveau om een gasnet te exploiteren is het weinig realistisch om hierover een bewonerscoöperatie de regie te geven. De vraag is wie dan wel exploitant zou

kunnen zijn. Een ander potentieel probleem van deze oplossing is de afhankelijkheid van biogas waarvan de leveringszekerheid niet helemaal gegarandeerd kan worden. Het waterschap geeft aan dat het huidige zuiveringsproces nog minimaal 20 jaar in stand zal blijven, maar geeft tegelijk aan dat verdere verduurzamingsmaatregelen en nieuwe productiemethoden de productie van biogas sterk negatief kunnen beïnvloeden. Daarbij geeft het waterschap in een bestuurlijke informatienota aan (met conceptstatus – de nota wordt nog besproken in het college van Dijkgraaf en Heemraden eind december) dat het beschikbare biogas en de beschikbare warmte vanuit afvalwater in de zuivering bij Elburg niet zomaar voor de vesting ingezet kan worden. Op dit moment is er “nog geen prioriteringsvolgorde of afwegingsladder om te bepalen hoe we de warmtevraag gaan afwegen mochten er meerdere vragers zijn”. Wel is al duidelijk dat de huidige warmtekrachtkoppelingen die het waterschap gebruikt voor de eigen energievoorziening op termijn worden uitgefaseerd. Het Waterschap zal hoogstwaarschijnlijk in elk geval een deel van het beschikbare biogas en de potentie van thermische energie uit afvalwater (TEA) voor de eigen energievoorziening gaan inzetten. Hoeveel ruimte en capaciteit van de bronnen er dan overblijft voor de vesting, is op dit moment nog niet aan te geven.

In de omgeving van Elburg zijn op dit moment geen andere bronnen bekend die (voldoende) biogas kunnen produceren om de leveringszekerheid op de lange termijn te garanderen. De risico's met betrekking tot de leveringszekerheid en back-upmogelijkheden beoordelen we op dit moment als te groot om de haalbaarheid van een losgekoppeld biogasnetwerk verder te onderzoeken in deze haalbaarheidsstudie.

Inzet van waterstof

Transport van waterstof valt vooralsnog net als transport van biogas buiten de bevoegdheid van de netbeheerders. De verwachting is dat transport van waterstof met de invoering van de nieuwe Energiewet wel wordt toegestaan. Op dit moment is er nog weinig groene waterstof beschikbaar. De productie hiervan is erg kostbaar vanwege de grote benodigde hoeveelheid duurzame stroom. Het rendement van een cv-ketel op waterstof is op het niveau van de hele keten bovendien lager dan het rendement van een warmtepomp. In basis kan waterstof het beste vooral daar worden ingezet waar hoge temperaturen nodig zijn (in procesinstallaties in de industrie) of waar batterijen geen oplossing kunnen bieden (bijvoorbeeld in de scheepvaart). De toepassing van waterstof voor de gebouwde omgeving pas interessant als er een overschot aan duurzame elektriciteit op de markt is en de industrie en mobiliteitssector beschikking hebben over voldoende waterstof. Het ligt al met al niet voor de hand om voor 2030 al een overstap naar waterstof te maken. Hoe het zit met de beschikbaarheid van waterstof na 2030 is op dit moment niet goed in te schatten.

Groen gas in het plaatselijke gasnet

De 'eenvoudigste' variant met hernieuwbaar gas is om biogas van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) nabij de vesting op te waarderen naar groen gas. Technische, praktische, of juridische bezwaren zijn bij deze variant nauwelijks aan de orde: technisch kan het (zij het met enig omzettingsverlies), praktisch gebeurt het al op meerdere locaties in het land, en juridisch mag de netbeheerder groen gas gewoon door de bestaande leidingen vervoeren. Voor de gebruiker is groengas gelijk aan aardgas en zijn er geen aanpassingen nodig in zijn/haar gastoestellen. Op straat- en wijkniveau hoeft er evenmin iets te gebeuren, al zal er wel nabij de RWZI wel een productiefaciliteit en invoedstation gerealiseerd moeten worden. Groen gas dat vanaf de productielocatie het zogeheten 'GOS-gebied'⁵ Noord-Veluwe opgaat, komt niet direct ten goede aan de gebouwen in de vesting. Het gas stroomt naar waar het gebruik is en dat kunnen alle gebouwen zijn die aangesloten zijn op het betreffende deel van het netwerk. Dit kan wel worden ondervangen met certificaten, maar net als bij handel in groene stroomcertificaten kan dit discussie oproepen. Daar kan ook de vraag gesteld worden 'waarom de vesting wel en de andere woningen niet'. Dit 'probleem' wordt ondervangen omdat voor de productie aanvullend betaald zal moeten worden. We nemen deze variant verderop mee in het afwegingskader.

⁵ Via een GOS, gasontvangststation, komt gas het gebied binnen. Op het GOS wordt het gas omgezet naar een lagere druk voor het 'regionale' net. Als er op dat niveau voldoende kan worden ingevoed, zie ook voetnoot 4, kun je spreken van regionaal geproduceerd groen gas.

Individueel elektrisch

Bij inzet van (met name volledig elektrische) warmtepompen of andere individuele volledig elektrische oplossingen (bijvoorbeeld infraroodpanelen) neemt de belasting van het elektriciteitsnet flink toe. Als enkele huiseigenaren dit doen, levert dat niet direct problemen op. Maar als de hele vesting in korte tijd besluit over te gaan op elektrische verwarming, gaat de capaciteit van het elektriciteitsnet knellen. Liander heeft tijdens een gesprek aangegeven dat de beschikbare capaciteit op het elektriciteitsnet op dit moment ontoereikend is voor grootschalige toepassing van individuele warmteoplossingen. Er wordt wel aan netverzwaring en het uitbreiden van de bestaande capaciteit van bestaande gewerkt, maar dit kost tijd en is ook afhankelijk van de andere netbeheerders. TenneT (beheerder van het hoogspanningsnet) verwacht rond de zomer van 2023 de uitkomsten van een lopend congestiemanagementonderzoek (grootverbruik) te kunnen delen. De kans is groot dat TenneT pas vanaf 2029 meer elektriciteit in Flevoland, Gelderland en Utrecht kan leveren dan nu het geval is, waardoor ook de planning van Liander vertraging kunnen oplopen.

PIEKVRAAG AAN WARMTE

Het inpassen van individuele elektrische warmteoplossingen brengt een sterk verhoogde elektriciteitsvraag met zich mee. Vooral op piekmomenten is de elektriciteitsvraag dusdanig hoog dat het huidige elektriciteitsnet het niet aan kan.

Los van netcongestie zijn de mogelijkheden voor toepassing van warmtepompen in de vesting beperkt door zowel ruimte als esthetiek. Zowel all electric als hybride warmtepompen nemen meer ruimte in dan een mono cv-ketel in gebouwen. De buitenunits van luchtwarmtepompen kunnen geluidsoverlast geven, en mogen geen kwetsbare plekken aantasten (zoals gevelaanzichten en middeleeuwse daken). De verwachting is wel dat warmtepompen zowel op technologisch als visueel vlak de komende jaren verder zullen blijven ontwikkelen. Desondanks blijven er uitdagingen ten aanzien van het te bereiken isolatieniveau (en de kosten daarvan). De benodigde elektriciteit kan in veel gevallen ook niet met eigen zonnepanelen worden opgewekt: die mogen volgens de Welstandsnota alleen worden toegepast wanneer niet zichtbaar vanuit de openbare ruimte.

Concluderend zal per geval moeten worden nagegaan of het voor inwoners of bedrijven binnen de vesting mogelijk is om over te stappen op individuele warmteoplossingen. Als deze technisch en vanuit welstands- en monumenteneisen haalbaar zijn, kan de vesting daarmee in elk geval op een aantal plekken hybride of aardgasvrij worden. Op de schaal van de hele vesting is een volledig individueel elektrische route uitdagend met het oog op de vele kwetsbare plekken die niet mogen worden aangetast door de systemen, door de piekvraag van alle apparaten samen en de weerslag hiervan op het elektriciteitsnet, en door de kostbare en beperkte mogelijkheden voor na-isolatie van monumentale gebouwen. Vooralsnog verwachten we binnen deze richting een soort organisch verloop, waarbij gebouweigenaren op natuurlijke momenten de afweging maken of ze overstappen op een (hybride) warmtepomp. We nemen voor de vergelijking in het afwegingskader scenario's op waarin uiteindelijk het overgrote deel (meer dan 80%) van de gebouweigenaren overstappen op hybride danwel all-electric.

Collectieve warmte

LT-/MT- warmtenet

Bij een LT-/MT-warmtenet krijgen de gebouwen in de vesting warmte op minder dan 70 graden Celsius achter de voordeur aangeleverd. Deze variant is, zoals in hoofdstuk 4 toegelicht is, ongeschikt voor slecht of niet-geïsoleerde gebouwen: zij hebben een hoge aanvoertemperatuur nodig om comfortabel warm te worden.

HT-warmtenet

Een HT-warmtenet is van alle varianten met collectieve warmtelevering de enige die mogelijkheden biedt voor alle gebouwen in de vesting. Tegelijkertijd zijn er geen hoogwaardige (rest)warmtebronnen beschikbaar in de omgeving en is beleidsmatig aangegeven dat inzet van houtige biomassa niet wenselijk is als de definitieve brandstof voor het warmtenet. Een andere bron die hoogwaardige warmte kan leveren is (ultra)diepe geothermie. Technisch zijn er echter grote vraagtekens bij de geologische potentie voor (ultra)diepe geothermie voor de regio

rondom Elburg (zie de RSW Noord-Veluwe 1.0⁶). Daarnaast is voor de toepassing van (ultra)diepe geothermie een schaalgrootte nodig van > 5.000 woningequivalenten. Hoewel buiten de scope van dit onderzoek, kan een warmtenet natuurlijk ook voor een groter gebied dan alleen de vesting worden aangelegd. Toch ligt het gezien de beperkte bebouwingsdichtheid in de omgeving minder voor de hand om breder in Elburg of de regio Noord-Veluwe op diepe geothermie als oplossing in te zetten. De benodigde investering voor (ultra)diepe geothermie voor een experimentele boring bedraagt al snel 20 miljoen euro. Dit lijkt gezien het beperkte risico op succes weinig doelmatig.

Wat dan overblijft is een collectieve warmteoplossing met een lage temperatuurbron (zoals thermische energie uit afval- of oppervlaktewater, of ondiepe bodemenergie, of laagwaardige restwarmte) gecombineerd met centrale warmtepompen. Het bewonersinitiatief heeft hier eerder ook een 'two-pager' van opgesteld en deze opties zijn tijdens de Roadshow van de TU Delft ook verkend⁷. Deze variant onderzoeken we verderop in het afwegingskader.

De benodigde installatieruimtes en onderstations zullen nog wel ruimtelijk ingepast moeten worden. Tegelijkertijd heeft de vesting wel een zekere mate van potentie voor veranderingen; er is een aantal ontwikkellocaties die binnen de bestaande stedenbouwkundige structuur onaf zijn, niet kloppen of niet functioneren. Het gaat dan bijvoorbeeld om de (grote) parkeerplaats ten zuiden van de stad. Een andere locatie met een significante potentie voor veranderingen is de parkeerplaats aan de Noorderwalstraat, in de noordwestelijke punt van de vesting. Een aanpalende, interessante locatie is de speelplaats aan de Noorderwal, die in het gebied uit de toon valt. Er kan nader onderzoek worden gedaan of hier bijvoorbeeld installatieruimtes kunnen komen te staan, mocht de keuze vallen op een warmtenet.

5.2. Tussenconclusie: welke kansrijke warmtealternatieven gaan we verder onderzoeken in een afwegingskader?

In bijlage A is een tabel opgenomen waarin per oplossingsrichting is beschreven welke varianten op basis van de voorgaande analyses kansrijk zijn om verder te onderzoeken en welke niet. Op basis van deze conclusies maken we een tussentijdse keuze welke oplossingen voldoende kansrijk zijn om verder te onderzoeken. Dit zijn:

1. Een HT-warmtenet op basis van (zeer) lage temperatuurbronnen;
2. Groen gas produceren bij de nabijgelegen RWZI, invoeden in het regionale deel van het landelijke aardgasnet, en de vermeden uitstoot hiervan toekennen aan de vesting;
3. Toepassing van duurzaam geproduceerde waterstof na 2030;
4. Een individuele route waarin de meeste woningen een basisniveau isolatie bereiken en met hybride warmtepomp worden verwarmd (met op termijn overstap op duurzaam gas);
5. Een individuele route waarin het huidige isolatieniveau in stand blijft, en gewerkt wordt met volledig elektrische warmtepompen die een hoge temperatuur kunnen leveren.

⁶ RES Noord-Veluwe (2020) Regionale Structuur Warmte Noord-Veluwe

⁷ Zie *Energietransitie in de Vesting*.

6. Afwegingskader

CENTRALE VRAGEN

- Langs welke meetlat kunnen we de alternatieven uit de tussenconclusie van vorige hoofdstuk leggen?
- Wat vinden inwoners en ondernemers in de vesting belangrijke waarden/criteria in een duurzaam warmtealternatief? Is de een daarin belangrijker dan de ander?
- Wat verstaan we onder elk criterium? Hoe zijn de onder- en bovengrens gedefinieerd? Wat is het referentiepunt om te kunnen zeggen hoe goed een alternatief scoort?
- Hoe scoren de alternatieven voor aardgas die overblijven in het afwegingskader en hoe moet de score die het alternatief krijgt worden geduid? Welke voorkeursvariant(en) zien we ontstaan?

6.1. Criteria en weging

Met behulp van de klankbordgroep zijn de criteria opgehaald die bewoners en ondernemers van belang achten voor het bepalen van de uiteindelijke oplossing. Door het aantal keuzes te beperken is beoogd de meest belangrijke criteria op te halen.



Figuur 5. Overzicht van de opgehaalde criteria inclusief optelling hoe vaak deze aangedragen zijn. Bovenstaande grafiek toont hoe de deelnemers 40 punten over 8 criteria gemiddeld hebben verdeeld.

In deze lijst is een aantal criteria opgenomen die meer kwalitatief van aard zijn en gaan over hoe de oplossing wordt ervaren. Deze hebben een oranje kleur gekregen in bovenstaande figuur. Denk bijvoorbeeld aan de toegankelijkheid van een oplossing of de comfortfactor. Van twee criteria zijn ook meer kwantitatieve kenmerken voorhanden om het belang te duiden in de uiteindelijke keuze: betaalbaarheid en duurzaamheid. Deze zijn blauw. Het criterium *veiligheid* zien we als noodzakelijke randvoorwaarde voor elke warmteoplossing (grijs). Hierdoor is dit criterium verder ook niet als criterium meegenomen in het afwegingskader.

In basis is gebruik gemaakt van expert opinie; wat in feite betekent dat we input van experts op een valide wijze en waar mogelijk rekenkundige wijze geaggregeerd hebben. De criteria zijn door meerdere experts opgesteld en de resultaten zijn gevalideerd bij de professionele belanghebbenden en klankbordgroep. De deelnemers van de klankbordgroep hebben via een viertal kleine groepen in totaal 40 punten verdeeld over de acht criteria. Bovenstaande figuur laat zien wat het gewogen gemiddelde is van de waardering die zij aan elk criterium hebben toegekend.

Om de vrijheid van interpretatie verder zo veel als mogelijk te beperken en daarmee de objectiviteit te vergroten, is een aantal aanvullende stappen gezet, te weten:

- Per criterium is een eenduidige meetlat opgesteld waartegen de waardering is uitgevoerd;

- Voor de criteria duurzaamheid en betaalbaarheid zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd.

In bijlage C is een toelichting op de meetlat en het afwegingskader uitgewerkt om de scores per criteria te kunnen duiden.

De uiteindelijk oplossing realiseren zal enige tijd in beslag nemen. Het schrijven van wijkuitvoeringsplannen en de uitvoering hiervan vergt, op basis van eerdere projecten, gemiddeld 6 tot 8 jaar tot aan realisatie. Om die reden is in het afwegingskader een peildatum van 2030 aangehouden. De berekeningen gaan dus uit van de situatie op dat moment. Dit levert aanvullende onzekerheden op ten aanzien van de inschattingen over de kosten over een aantal jaar. Anderzijds biedt het aanhouden van de situatie in 2030 ook een oplossing voor de onzekere en hoge energietarieven die op dit moment van toepassing zijn. Gezien de onzekerheden die het vooruitkijken naar 2030 met zich meebrengen is gerekend met een laag scenario en een hoog scenario en bandbreedte daartussen. De parameters die zijn aangepast per scenario zijn:

- Energietarieven, kosten van materialen, consumentenprijsindex (CPI) en disconteringsvoet;
- Het percentage woningen dat in een keer zal deelnemen;
- Resulterende warmtevraag, beïnvloed door de besparingsopgave;
- De voortgang ten aanzien van het verduurzamen van de landelijke energiemix.

De uitkomsten van de onderlinge vergelijking van de warmtealternatieven is te zien in figuur 6. Elk alternatief krijgt een score per criterium. Waar er sprake is van een bandbreedte van onzekerheid hebben we dit geduid door boven de score een *best case* en een *worst case* te vermelden. De score is het gemiddelde van die twee uitersten.

Werken met cijfers in het afwegingskader helpt voor de beeldvorming. Tegelijk kan het werken met getallen en scores de illusie geven van schijnzekerheid, terwijl kwantitatieve aspecten maar een klein onderdeel zijn van de puzzel. We adviseren daarom bij het lezen van de resultaten in gedachten te houden dat het gaat om een brede verkenning met de nodige onzekerheden. De scores en bandbreedtes laten zien waar de overeenkomsten en verschillen kunnen zitten.

Hierna duiden we de kwalitatieve en kwantitatieve criteria die we hebben opgehaald. In de bijlagen zijn de uitgangspunten verder toegelicht en is meer duiding gegeven aan de betekenis van de onder- en bovenwaarden van de scores.

6.1.1. Kwalitatieve criteria

Criterium 1: toegankelijkheid

Onder toegankelijkheid verstaan we de mogelijkheden voor iedereen in de vesting om mee te kunnen doen met een warmteoplossing in 2030. Hierin is meegenomen wat de benodigde aanpassingen zijn in de woning ten opzichte van het basisscenario van aardgas blijven gebruiken, wat betekent dat er niets hoeft te gebeuren in de woning.

Voor de overstap op groen gas hoeft er niets te gebeuren aan de woning of het gasnet. Een overstap naar koken op inductie kan, maar is geen randvoorwaarde. Voor de overstap op waterstof is koken op inductie wel een randvoorwaarde. In dat geval moet ook de cv-ketel omgebouwd worden. In de straat en in de wijk blijft de impact verder beperkt (-1,0).

Voor een aansluiting op een warmtenet moeten er grotere aanpassingen worden gedaan. De cv-ketel wordt vervangen door een afleverset en in pandig moeten leidingen omgelegd worden. De aanleg en met name de binnenhuisinstallatie van een warmtenet is redelijk gecompliceerd voor monumenten. Qua toegankelijkheid voor bewoners scoort deze oplossingsrichting daarom slechter dan de andere varianten (-4,0).

Voor een individuele elektrische of hybride warmtepomp moet er een geheel nieuwe warmtepomp worden geïnstalleerd, inclusief een buffervat en benodigde isolatiemaatregelen. Afhankelijk van de temperatuur die de warmtepomp maximaal kan leveren (maar ook om de efficiëntie van het systeem te verbeteren), zijn aanpassingen nodig aan de gebouwschil en warmte-afgiftesystemen (zoals radiatoren). Ook dit vergt een ingrijpende verbouwing en heeft een negatieve impact op de toegankelijkheidsscore van individuele oplossingen (resp. -2,0 en -3,0).

Criterium 2: betrouwbaarheid en leveringszekerheid

Het criterium betrouwbaarheid en leveringszekerheid geeft aan wat de betrouwbaarheid is dat er in 2030 ook daadwerkelijk een warmtebron beschikbaar is. Daarnaast is hierin ook meegenomen hoe zeker het is dat deze warmtebron nog voor de komende decennia beschikbaar blijft als warmtebron voor de vesting.

De leveringszekerheid van warmte in de variant HT-warmtenet hangt af van de bronnen, maar kan in het voortraject grotendeels worden uitgedacht. Onzekerheid van één bron kan worden ondervangen door een multi-bronnenstrategie, genoeg warmtepompvermogen en voldoende back-upvoorzieningen (0,0).

Voor alle varianten met hernieuwbaar gas staat de leveringszekerheid ter discussie. De beschikbaarheid van waterstof in 2030 voor de gebouwde omgeving is onbekend (-2,0). Op basis van het gesprek met het waterschap is eveneens onzeker of de RWZI genoeg groen gas over langere tijd kan blijven leveren. Het waterschap verwacht dat de productie terugloopt en wil zelf ook van deze bron gebruik maken voor de eigen verduurzamingsopgave (-2,5).

Voor individuele elektrische en hybride warmteoplossingen kan de leveringszekerheid nog het meeste worden gegarandeerd: elektriciteit en aardgas blijven naar verwachting ook na 2030 in voldoende mate voorhanden, hoewel het gebruik van aardgas uiterlijk in 2050 wel volledig uitgefaseerd wordt.

Criterium 3: uitvoerbaarheid

Voor het criterium uitvoerbaarheid is gekeken naar de benodigde organisatie en complexiteit om de warmteoplossing te kunnen realiseren. De uitvoerbaarheid van de warmteoplossingen zetten we in het afwegingskader af tegen de huidige aardgasinfrastructuur.

Een HT-warmtenet vergt een ingrijpende verandering op wijk-, straat- én woningniveau: er komen energiecentrales, kleinere warmte-overdrachtstations in de wijk, alle straten in de vesting gaan open en in pandig moet er potentieel veel gebeuren aan het leidingwerk. Het kost bovendien veel tijd van de gemeente om de benodigde collectieve deelname te organiseren en het vergt een financiële toewijding om een (merendeels publieke) warmte-infrastructuur mede te realiseren (-4,0).

De uitvoerbaarheid van een individuele elektrische route is net zo goed uitdagend door isolatiebeperkingen, ruimtelijke uitdagingen, serieuze kans op aantasting van erfgoedwaarde, en beperkte netcapaciteit. Binnen deze richting biedt isoleren en toepassing van een 'normale' warmtepomp daarin een grotere uitdaging ten aanzien van uitvoerbaarheid dan een HT-warmtepomp toepassen en niet verder isoleren (resp. -4,0 en -3,0).

Het ombouwen van de aardgasinfrastructuur naar een hernieuwbare gasinfrastructuur is in dit vergelijk het minst ingrijpend (resp. -1,0 en -2,0).

Criterium 4: comfort

Voor de comfortfactor in het afwegingskader is gekeken naar de mogelijkheden om huishoudens hetzelfde comfort te kunnen bieden. Als uitgangspunt is verwarming van gebouwen door een cv-ketel op aardgas genomen. We zien dan dat een warmtenet en hernieuwbare gassen beide hetzelfde comfort kunnen bieden als een cv-ketel nu kan bieden (resp. 0,0 en 0,0).

Voor individuele warmtepompen is dat minder het geval door de isolatiebeperkingen. Daar is kans op tocht mogelijk als gevolg van koudeval en onbedoelde ventilatie (infiltratie) door kieren en lekken (-1,0). Een lage

temperatuur verwarming kan op sommige moment niet voldoende verwarmingsvermogen leveren om deze effecten tegen te werken (-2,0).

Criterium 5: erfgoedwaarde

Bij het criterium erfgoedwaarde draait het om een vergelijk van de impact van alternatieven voor aardgas op de uitstraling van de stad en het geheel dat is beschermd binnen de regels van het Rijksbeschermd stadsgezicht. Een deel daarvan is 'hard' en ligt vast in wet- en regelgeving maar een deel is ook wat meer 'zacht'. Bij het toekennen van de scores hebben we gekeken naar de som van de impact op de uitgangspunten zoals geformuleerd in hoofdstuk 3. Met andere woorden: welke invloed heeft het warmtealternatief op kwetsbare plekken, rooilijnen, gevelaanzichten, de middeleeuwse bestrating en daken, en hoe zit het met de inpasbaarheid in en om de woning, behoud van contrast en openheid, en de potentie van het alternatief om een verbetering m.b.t. de bestaande situatie op te leveren. Met elk alternatief wordt gestreefd naar een zo beperkt mogelijke aantasting van de aanwezige erfgoedwaarden en identiteit van de vestingstad. Aanpassingen die de ruimtelijke structuur, authenticiteit of beleving beïnvloeden, of technieken die aanpassingen vergen aan de gebouwen, hebben potentieel negatieve invloed op erfgoedwaarde.

Voor de scores in het afwegingskader gaan we ervan uit dat individueel elektrische oplossingen het slechtst presteren: hiervoor zijn veel ingrepen in de gebouwen nodig en er zijn meerdere onderstations in de vesting nodig (-4,0) die ruimte innemen. Hernieuwbaar gas beïnvloedt de erfgoedwaarde niet (0,0). Een warmtenet houdt, gelet op het benodigd oppervlak (ca. één garagebox binnen de vesting), het midden tussen hernieuwbaar gas en een individueel elektrische route (-1,0).

6.1.2. Kwantitatieve criteria

Het onderdeel betaalbaarheid zoals aangedragen door de klankbordgroep is opgedeeld in drie categorieën (1) de eenmalige investeringen, (2) terugkerende kosten in de vorm van een energierekening en (3) alle kosten en baten over een periode van 30 jaar. Deze uitsplitsing geldt voor alle oplossingsrichtingen.

Specifiek voor warmtenetten geldt dat vaak een bepaald aansluitpercentage nodig is voordat een warmtenet gerealiseerd kan worden. Dit kan vrijwillig of in de vorm van mogelijke dwang. Echter is om enige vorm van dwang op te leggen een hoog draagvlak wenselijk. Om draagvlak voor een collectieve oplossing te creëren moeten de prijzen wel in verhouding staan met de prijzen van het huidige scenario. Dit betekent dat de eenmalige investeringen, de energierekening en alle kosten en baten over een periode van 30 jaar los van elkaar bekeken moeten worden.

Criterium 6: Investering vastgoedeigenaar

Het criterium investering vastgoedeigenaar geeft aan wat de eenmalige kosten zijn die de eigenaar van het vastgoed moet betalen om over te stappen op een duurzame warmteoplossing. Investeringskosten omvatten bijvoorbeeld de benodigde isolatiemaatregelen en bouwkundige voorzieningen, bijdrage aansluitkosten in het geval van een warmtenet en de kosten voor een (hybride) warmtepomp of gemodificeerde versie van een cv-ketel.

In het afwegingskader zijn de verschillende warmteoplossingen afgezet tegenover de kosten van een nieuwe cv-ketel.

Criterium 7: Energierekening eindgebruiker

De energierekening voor de eindgebruiker geeft aan wat de maandelijkse kosten zijn voor de afname van warmte. In alle warmteoplossingen zijn dat de kosten voor de afname per eenheid warmte. Voor de hernieuwbare gassen en een warmtenet zijn daarnaast ook nog kosten in de vorm van vastrecht. Voor individuele elektrische warmteoplossingen zijn die kosten al meegenomen in de huidige elektriciteitsaansluiting.

De energierekening eindgebruiker geeft aan wat de kosten van een warmteoplossing zijn ten opzichte van het aardgasscenario. Een negatieve waarde in het afwegingskader betekent dat huishoudens meer gaan betalen dan voor aardgas in 2030 – en omgekeerd voor een positieve waarde.

Criterium 8: Alle kosten en baten over 30 jaar

Voor alle warmteoplossingen is de netto constante waarde (NCW) over een periode van 30 jaar berekend. Als de NCW positief is, dan betekent dat dat alle kosten en baten over een periode van 30 jaar positief zijn. Hetzelfde geldt voor een negatieve NCW.

In het afwegingskader is als 'nul'-punt een netto constante waarde van 0 genomen. Alle warmteoplossingen zijn afgezet tegen dit nulpunt. Een negatieve waarde in het afwegingskader betekent ook een negatieve netto constante waarde - en omgekeerd voor een positieve waarde.

Criterium 9: Duurzaamheid en CO₂-prestatie

De duurzaamheid van het warmtesysteem hebben we gemeten aan de hand van de CO₂-uitstoot⁸ die veroorzaakt wordt door de opwek en distributie⁹ van de benodigde warmte in elke warmteoplossing. Om de CO₂-uitstoot van een warmteoplossing te bepalen, is de CO₂-intensiteit van de elektriciteitsmix van 2030 gebruikt. Voor de elektrische warmteoplossingen is het wel nog mogelijk om de CO₂ uitstoot van individuele warmteoplossingen te verlagen door middel van het koppelen van hernieuwbare opwek van elektriciteit aan de warmtebron.

In het afwegingskader is de duurzaamheid afgezet tegenover de duurzaamheid van het basisscenario op aardgas.

6.2. De resultaten samengevat

In het onderstaande overzicht zijn de uitkomsten samengevat en zonder verdere nabewerking weergegeven. In het volgende hoofdstuk worden de uitkomsten geduid en bediscussieerd om daarna af te sluiten met logische vervolgstappen.

⁸ Voor de leesbaarheid van dit document spreken we over CO₂-reductie. Hiermee bedoelen we de reductie van alle broeikasgassen.

⁹ Voor opwek is de uitstoot bepaald op basis van de benodigde elektriciteit en de COP-waarde van individuele en collectieve warmtepompen en rendement van hernieuwbare gasketels meegenomen. Voor de distributie van warmte zijn onder andere pompenergie en distributieverliezen meegenomen in de berekeningen voor de bepaling van de CO₂-uitstoot.

OVER
MORGEN

		Referentie = Huidig aardgasnet	Warmtenet HT	Groengas regionaal	Waterstof	Hybride warmtepomp	HT Warmtepomp
Kwalitatieve criteria	0,0	-1,8	-0,7	-1,0	-2,4	-2,2	
Toegankelijkheid	0,0	-4,0 -4,0	0,0 0,0	-1,0 -1,0	-2,0 -2,0	-3,0 -3,0	
Leveringszekerheid en betrouwbaarheid	0,0	0,0 0,0	-3,0 -2,0	-4,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	
Uitvoerbaarheid	0,0	-4,0 -4,0	-1,0 -1,0	-2,0 -2,0	-4,0 -4,0	-3,0 -3,0	
Comfort	0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	-2,0 -2,0	-1,0 -1,0	
Erfgoed waarde	0,0	-1,0 -1,0	0,0 0,0	0,0 0,0	-4,0 -4,0	-4,0 -4,0	
Kwantitatieve criteria	0,0	-0,3	0,3	-0,1	-0,6	-2,4	
Investering vastgoedeigenaar	0,0	-4,0 -3,0	-2,0 -1,0	-2,0 -2,0	-4,0 -4,0	-3,0 -3,0	
Energierkening eindgebruiker	0,0	0,0 3,0	0,0 3,0	0,0 0,0	1,0 5,0	-4,0 2,0	
Alle kosten en baten over 30 jaar	0,0	-3,0 -3,0	-3,0 -1,0	-3,0 -2,0	-4,0 -3,0	-5,0 -4,0	
Duurzaam (CO2 prestatie)	0,0	5,0 3,0	3,0 3,0	4,0 4,0	2,0 2,0	-1,0 -1,0	
Totaal	0,0	-1,0	-0,2	-0,6	-1,5	-2,3	

Figuur 6. Uitkomsten afwegingskader

6.3. Belangrijkste conclusies afwegingskader

- Voor alle oplossingen zijn extra kosten te verwachten gerekend over een periode van 30 jaar. Geen enkele oplossing is op dit moment woonlastenneutraal.
- De hogetemperatuur warmtepomp levert de meest negatieve punten op en voor 2030 is de CO₂ prestatie slechter dan huidig. Dit als gevolg van de hoge warmtevraag en beperkte isolatie van de woningen i.c.m. de CO₂-uitstoot van de elektriciteitsmix.
- Als de gehele vesting overgaat op individuele oplossingen met warmtepompen, zorgt dit naar verwachting voor de meeste negatieve invloed op erfgoedwaarden binnen de Vesting. Verrommeling van het straatbeeld in combinatie met vervangingsopgave van de infrastructuur zijn bepalend voor dit negatieve oordeel. Tegelijkertijd adviseren we hybride nadrukkelijk wel als tussenstap op individueel niveau daar waar dit kan met behoud van erfgoedwaarden.
- De HT-warmtenetoplossing kan als gevolg van de benodigde hoge temperatuur een beperkte CO₂-prestatie realiseren. Deze oplossing is evengoed concurrerend met hernieuwbare gasen, maar dan tegen significant hogere kosten. Deze hoge kosten zijn in aanvang hoog door de aanleg van de 'backbone' en vanwege de maatwerkoplossingen die nodig zijn per woning (door fundering heen boren, afleverset installeren, omleggen cv-leidingen, etc).
- De gevoeligheid van energietarieven op de berekening is hoog waardoor een HT warmtepomp of zeer kostbaar wordt, of goedkoper kan worden dan huidig. Daarop een collectieve keuze baseren ligt op dit moment minder voor de hand.
- Bij een ongewogen optelling van de criteria leveren hernieuwbare gasen de 'beste' cijfers. Overeenkomstig de Transitievisie Warmte geven hernieuwbare gasen het meest positieve beeld waarbij beide varianten op een belangrijk onderdeel een beperking kennen. Groengas kampt met een op termijn onzekere lokale bron. Waterstof is op de korte termijn gewoonweg nog niet aanwezig en moet ter plaatste gemaakt worden in een omgeving waar groene en duurzame elektrische energie schaars is.

7. Conclusie en vervolgstappen

CENTRALE VRAGEN

- In hoeverre is er op dit moment een voorkeursalternatief waarmee de vesting aardgasvrij kan worden?
- Welke vervolgstappen adviseren we de gemeente te zetten (o.a. participatie, handelingsperspectief bieden)?

7.1. Conclusie

Voor de vesting zijn aardgasvrije alternatieven beschikbaar. Met behulp van meerdere oplossingen kan op termijn een volledig aardgasvrije vesting gerealiseerd worden. De oplossingen gebaseerd op hernieuwbare gassen scoren in het afwegingskader het beste. Wel kennen beide oplossingen uitdagingen ten aanzien van de beschikbaarheid, nu en in de toekomst.

Een hoge temperatuur warmtenet is, ondanks het beperkt aantal benodigde isolerende maatregelen, kostbaar in aanleg en gebruik. Rond de vesting zijn alleen lage temperatuur bronnen beschikbaar waardoor de installaties tegen een laag rendement een hoge temperatuursprong moeten realiseren. Dit kost samen met de verliezen in het netwerk de nodige efficiëntie en resulteert in een hoge prijs per eenheid warmte en hoge aansluitkosten.

De elektrische oplossing gebaseerd op een elektrische warmtepomp scoort minpunten op de benodigde isolerende maatregelen die niet of tegen hoge kosten kunnen worden gerealiseerd. Toepassing van een hoge temperatuur warmtepomp resulteert in een zeer hoge energierekening als gevolg van de blijvend hoge warmtevraag. Ook leidt dit tot behoefte aan netverzwaring, een verdrievoudiging aan middenspanningsruimten in het gebied en ruimtelijk vraagstuk hoe warmtepompen in- en bij de gebouwen kunnen worden geïnstalleerd zonder dat ze afbreuk doen aan de erfgoedwaarden van de vesting.

N.B.: alle varianten worden afgezet tegen het referentiescenario dat in 2030 nog steeds alle woningen met een eigen cv-ketel op aardgas worden verwarmd tegen de dan geldende tarieven. Hoewel nooit met zekerheid te zeggen, houden we in het model rekening met de verdere stijging van aardgastarieven (mede ingegeven door hogere energiebelasting) en zetten we dat scenario af tegen de verwachte tarieven van de aardgasvrije alternatieven in 2030.

7.2. Discussie

Geen enkele duurzame warmtebron komt op dit moment 'beter' uit het afwegingskader dan aardgas. Oplossingen met hernieuwbaar gas zitten het dichtste aan tegen de scores van aardgas. Individuele maatregelen zijn niet financieel aantrekkelijk, lastig in de uitvoerbaarheid vanwege netcongestie en vanwege beperkte isolatiemogelijkheden en impact op erfgoedwaarde van de vesting. Een collectieve warmteoplossing lijkt dan de meest logische aardgasvrije eindoplossing. Op korte termijn scoren deze warmteoplossingen echter evenmin 'beter' dan het aardgasscenario.

Op dit moment is **groengas** als interessant maar onzeker ingeschat. Inzet hierop vereist leveringszekerheid van vanuit de bron (RWZI). Uit de gesprekken met het waterschap blijkt nu geen positieve haalbaarheid. Het waterschap verwacht in elk geval een deel zelf te gaan gebruiken op de lange termijn is onduidelijk wat de toekomst van deze zuivering wordt. Verdere gesprekken hierover zijn nodig. Als het waterschap besluit dat het beschikbare groengas wel door de vesting kan worden gebruikt, dan ontbreekt er een bedrag van circa €2.000 per woning in de vesting om dit rendabel te kunnen produceren.

De landelijk overheid en onderliggende RES-regio's spannen zich in om voor 2050 productiecapaciteit te organiseren voor 2 miljard kuub groengas. Het grootste deel is nodig voor procesindustrie, piekvoorzieningen

van warmtenetten maar ook vastgoed dat alleen tegen hoge kosten aardgasvrij kan worden. Afhankelijk van de ontwikkelingen in dit verband kunnen op termijn wel andere bronnen beschikbaar komen voor de productie van groen gas. Nader onderzoek naar andere bronnen voor groengas binnen de Noord-Veluwe (grofweg het gebied waar het gasnet rondom Elburg zich bevindt dat met groengas gevoed kan worden) is wenselijk.

Waterstof zou in theorie lokaal geproduceerd kunnen worden. Wel is hiervoor een overschot aan duurzame elektriciteit nodig dat er op dit moment niet is, en ontstaat een praktisch probleem als alle CV-ketels gelijktijdig moeten worden vervangen. Een bestaand leidingnetwerk gefaseerd overzetten van aardgas naar waterstofgas is nog niet eerder op deze schaal vertoond. Ook de kosten hiervoor zijn dusdanig hoog dat dit momenteel niet een logische oplossing is. Er is nog teveel onzekerheid om nu iets te kunnen zeggen over de prijs van waterstof in 2030. Naar verwachting zal de productie van waterstof wel iets opgeschaald en de prijs per m³ mogelijk wat zijn gedaald, maar dit is ook sterk afhankelijk van andere ontwikkelingen en de vraag vanuit de industrie en mobiliteitssector.¹⁰ Als richting 2030 of 2040 blijkt dat waterstof ruimschoots- en tegen lage kosten beschikbaar is zou de prijs omlaag kunnen gaan en kan opnieuw worden gekeken of dit een geschikte optie is voor de vesting.

De aanleg van een **warmtenet** in de Vesting is, gezien de monumentale panden en erfgoedwaarde van het gebied, redelijk gecompliceerd. Een dergelijke oplossing vergt in de eerste plaats een grote rol van de gemeente om de benodigde samenloop te organiseren en een moment te kiezen waarop de overstap gezamenlijk wordt gemaakt. Daarnaast zijn er geen hoogwaardige warmtebronnen beschikbaar voor de vesting die een warmtenet een efficiënte oplossing zouden maken. In alle gevallen blijft relatief veel elektriciteit nodig (hoewel minder dan bij individueel elektrische oplossingen) om vanuit een bron met lage aanvoertemperatuur jaarrond een HT-warmtenet te kunnen voeden. Verder hebben de benodigde energiecentrales waar deze opwaardering van temperatuur kan plaatsvinden impact op de erfgoedwaarde van de vesting op gebiedsniveau en zijn er op gebouwniveau ook uitdagingen om het benodigde leidingwerk in pandig te realiseren. Tot slot past de benodigde grootverbruikaansluiting die nodig is voor centrale warmtepompinstallaties op dit moment niet op het elektriciteitsnet. Liander heeft aangegeven dat dit vanwege congestieproblematiek op onderstation Nunspeet in elk geval ook niet op korte termijn alsnog gaat lukken.

Net als bij varianten met warmtepompen en waterstof kunnen innovaties in het ontwerp en de aanleg van warmtenetten het beeld veranderen en kunnen marktomstandigheden verbeteren. We kunnen daarmee niet uitsluiten dat op termijn een warmtenet wel een logischere warmteoplossing wordt voor de vesting, maar met de kennis van nu scoort een warmtenet voor de vesting niet beter dan oplossing met hernieuwbaar groen gas.

Tot slot, en wat anti-climactisch: geen actie is ook een mogelijkheid. De 'oplossing' bestaat hier uit vertrouwen dat de landelijke gasmix uiteindelijk in 2050 ook 100% vergroend is en geen CO₂-uitstoot meer oplevert. Dat is alleen geen pad waarmee de vesting (eerder dan 2050) 'overstapt' op duurzame warmte.

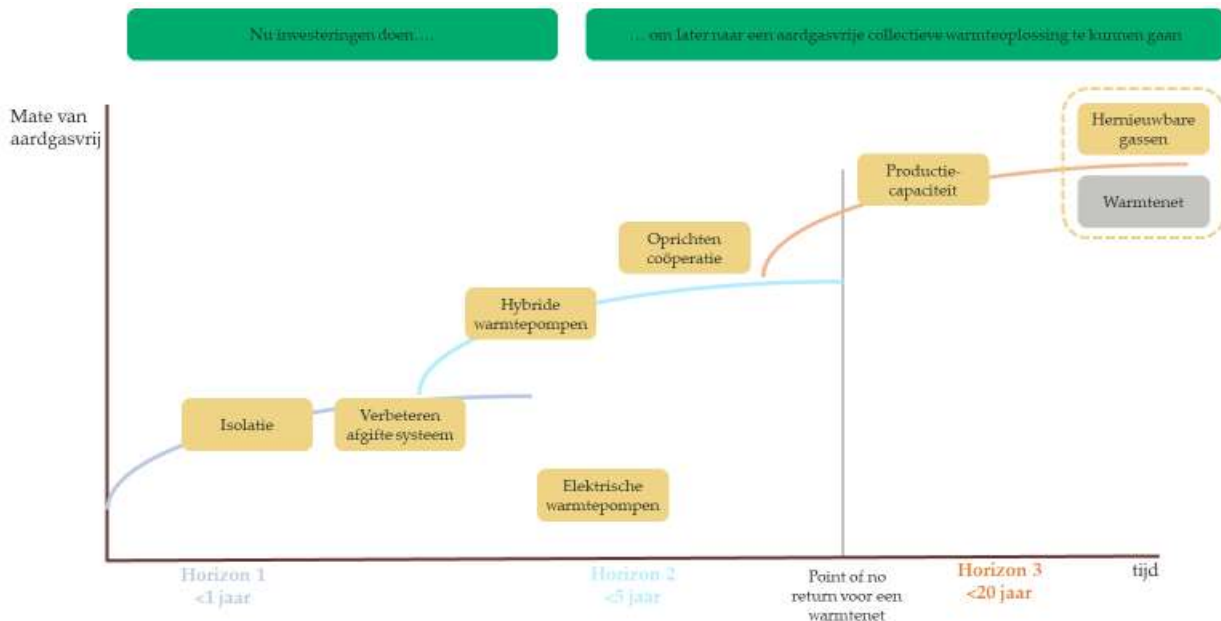
7.3. Vervolgstappen

Eerder in dit rapport hebben we aangegeven dat er technisch in principe van alles kan, maar dat de vraag vooral is hoe ver partijen bereid zijn te gaan in hun inspanningen en op welke termijn dit moet resulteren in een aardgasvrije vesting. Met de kennis van nu zien we het dan als meest doelmatig om voorlopig te kiezen voor een hybride route waarin aardgas later vervangen kan worden door hernieuwbaar gas (groen gas of waterstof). Hoe snel dat aan de orde is, hangt onder meer af van de ontwikkeling in de beschikbaarheid en prijs en bereidheid om extra te betalen voor aardgasvrije warmte. In de route naar een aardgasvrije vesting zien we daarom een proces van isoleren, verbeteren van afgiftesystemen en toepassing van hybride warmtepompen waar dit mogelijk is met behoud van erfgoedwaarde en voldoende financieel aantrekkelijk is voor gebouweigenaren als eerste

¹⁰ De Boer, S. (2022) Waterstof in de gebouwde omgeving? *Rabobank* en Bhimji, S. (2021) Groene waterstof als alternatief voor fossiele brandstoffen in 2030 komt dichterbij. *ABN AMRO*.

logische stap. Intussen kan worden toegewerkt naar een collectief go/no go moment voor een aardgasvrije warmteoplossing. Figuur 7 laat dit schematisch zien.

Voor 2030 overstappen naar een volledig aardgasvrije warmteoplossing voor de hele vesting vergt, afgezet tegen het voorgestelde scenario, zeer grote inspanning van betrokkenen en resulteert in hoge kosten. Door nu te doen wat redelijkerwijs kan en tegen 2030 opnieuw te kijken hoe de zaken er dan voorstaan, kan rond dat moment worden besloten of, en zo ja, wanneer een collectief overstapmoment wel aan de orde is. Uiteindelijk blijft een vorm van collectieve overstap waarschijnlijk wel wenselijk of noodzakelijk. Tot die tijd (en ook daarna) staat het inwoners en ondernemers vrij zelf maatregelen te treffen waarmee de warmtevraag toch zoveel mogelijk kan worden beperkt.



Figuur 7. Routekaart naar een aardgasvrije vesting.

Tijdens de tweede klankbordgroepbijeenkomst begin februari 2023 hebben we met een klein deel van de bewoners en ondernemers in de vesting getoetst hoe deze conclusies landen. Daarbij hebben we ook besproken hoe elders in Nederland energiecoöperaties door bewoners starten, wat hierbij komt kijken en hoe op verschillende plekken wordt toegewerkt naar een collectief overstapmoment op een duurzame warmtebron. Zoals eerder aangeven vergt dat grote inspanning van een kernteam met mensen die hier tijd en geld in willen investeren. De bereidheid om dat te doen, de inhoudelijke en procesmatige kennis van de 'kartrekkers', beschikbare financiële middelen en het doorzettingsvermogen zijn sterk bepalend voor het wel of niet slagen van een dergelijk project.

Aan de ca. 20 aanwezigen tijdens de avond hebben we bij wijze van proef de stelling voorgelegd: "ik zou graag meedoen met een door de bewoners van de vesting georganiseerde collectieve warmteoplossing". Het antwoord daarop bleek diffuus: op een vijfpuntsschaal scoorde deze vraag gemiddeld 3,1, waarbij de spreiding hoog was. Daaruit valt vooralsnog geen volmondig 'ja' te trekken, maar ook geen 'nee'. Na bestuurlijk akkoord voor vervolgonderzoek zou een eerstvolgende stap daarom zijn om met een groter deel – maar liever nog met de gehele vesting – te bepalen hoe groot het draagvlak is voor een collectief overstapmoment. We adviseren gedegen onderzoek naar dit draagvlak te (laten) doen en bij voldoende draagvlak over 2-3 jaar een collectief beslismoment aan te wijzen. In die tussentijd houden gemeente en professionele partners nauw contact, worden mijlpalen verder uitgewerkt en kunnen bewoners en ondernemers starten de slag met isoleren en hybride warmtepompen waar mogelijk naar draagkracht en met behoud van erfgoedwaarden. Voor advies kunnen zij terecht bij het Regionaal Energieloket (bijvoorbeeld bij hun monumentexpert) of het Oversticht.

De verdere voortgang van het project wordt door de gemeente bijgehouden op de website (Verduurzaming Elburg-Vesting). Suggesties kunnen worden meegegeven per email: duurzaam@elburg.nl.

Bijlagen

Bijlage A – Overzicht juridische en technische (on)mogelijkheden per oplossingsrichting

Bijlage B – Jaarrekening + BuCa per oplossing

Bijlage C – Toelichting afwegingskader en meetlat

Bijlage D – Studie erfgoedwaarden Elburg-Vesting

Bijlage A - Technische en juridische (on)mogelijkheden

	Oplossingsrichting	Technisch	Juridisch	Valt af
Hernieuwbaar gas	Losgekoppeld biogas netwerk	<i>Onhaalbaar omdat er een probleem is van leveringszekerheid door de lock-in van de RWZI die in de toekomst minder biogas produceert.</i>	<i>Onhaalbaar omdat biogas buiten de wettelijk bevoegdheden van de netbeheerder ligt en de veiligheid niet via andere constructie kan worden gegarandeerd.</i>	<i>Ja</i>
	Groen gas in het plaatselijke net	<i>Haalbaar ondanks dat er een lock-in scenario is met de RWZI die in de toekomst minder biogas produceert. Betreft wel een papieren oplossing waarin de vesting betaalt voor de kosten van biogasproductie, die dan op papier ten goede komt aan hun gebied (en in de praktijk in heel Nederland).</i>	<i>Haalbaar</i>	<i>Nee</i>
	Waterstof	<i>Onzeker; er zijn nog geen pilot projecten die vergelijkbaar zijn met de casus van Elburg (alleen veel kleinschaliger). Productie van waterstof op deze schaal is nog onzeker.</i>	<i>Naar verwachting haalbaar, ondanks dat waterstof buiten de wettelijk bevoegdheden van de netbeheerder ligt. De ACM doogt waterstofpilots door netbeheerders. De verwachting is dat transport van waterstof met de invoering van de nieuwe Energiewet wel wordt toegestaan.</i>	<i>Nee</i>
Individueel elektrisch	All-electric	<i>Individueel is deze oplossing toe te passen mits er voldoende ruimte in de woning is, een basisniveau van isolatie kan worden bereikt en de installatie ruimtelijk uitvoerbaar is met behoud van erfgoedwaarden. Op de schaalgrootte van de hele vesting is deze oplossing onhaalbaar vanwege beperkte isolatiemogelijkheden en netcongestie op korte termijn.</i>	<i>Juridisch weinig gemeentelijke besluitinstrumenten om op korte termijn aardgasvrij te worden</i>	<i>Deels</i>
	Hybride route naar all-electric	<i>Haalbaar voor een beperkt deel van het vastgoed, onhaalbaar voor het geheel vanwege beperkte mogelijkheden tot isolatie en/of ruimtelijke inpasbaarheid in gebouwen. Mogelijke problematiek met netcongestie op korte termijn, ook inpassing van buitenunits niet op alle plekken mogelijk.</i>	<i>Geen onhaalbaarheden op voorhand</i>	<i>Nee</i>
Collectieve warmte	Laag temperatuur warmtenet	<i>Onhaalbaar door de lage temperatuur van het net in combinatie met de mogelijkheid tot isolatie</i>	<i>Geen onhaalbaarheden op voorhand</i>	<i>Ja</i>
	Hoog temperatuur warmtenet	<i>Op voorhand geen technische onhaalbaarheden voor een hoog temperatuur warmtenet. Echter is (ultra) diepe geothermie als warmtebron wel uitgesloten. Onhaalbaar op deze schaalgrootte. Nog weinig ervaring met UDG, veel onzekerheden op geologisch en financieel gebied. Wellicht een optie voor een bredere scope van Elburg maar vanuit RES weinig kansen.</i>	<i>Op voorhand geen juridische onhaalbaarheden voor een hoog temperatuur warmtenet. Biomassa als langdurige bron op gemeentelijk niveau wel beleidsmatig uitgesloten.</i>	<i>Deels</i>

Bijlage B - Jaarrekening + BuCa per oplossing

PROJECT: Elburg Vesting DATUM: 02-12-2022 VER.SIE: 0.8			Huidig	Warmtenet HT	Groengas regionaal	H2	Basis isolatie + all electric	HT Warmtepomp
	BTW	Eenheid	Huidig	Nieuw	Nieuw	Nieuw	Nieuw	Nieuw
ENERGIEVERBRUIK								
Elektriciteitsverbruik	n.v.t.	kWh	3.400	3.600	3.600	3.600	9.807	14.367
Elektriciteitsopwek	n.v.t.	kWh	-	-	-	-	-	-
Aardgasverbruik	n.v.t.	Nm3	2.000	-	2.088	2.088	-	-
Verbruik collectieve warmte	n.v.t.	GJ	-	59	-	-	-	-
Verbruik blokverwarming	n.v.t.	GJ	-	-	-	-	-	-
Relatief warmteverbruik ruimteverwarming	n.v.t.	kWh / m2	111	120	120	120	120	120
SAMENVATTING								
Totale investeringen	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ 43.125	\$ 13.225	\$ 14.375	\$ 48.875	\$ 30.475
Netto contante kosten investeringen, kosten en besparingen	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ 28.800	\$ 22.424	\$ 23.574	\$ 45.654	\$ 121.202
Totale jaarlijkse kosten buiten energierekening	ind. BTW	Euro	\$ 253	\$ 2.765	\$ 1.023	\$ 1.090	\$ 3.580	\$ 2.508
Totale jaarlijkse kosten energierekening	ind. BTW	Euro	\$ 8.190	\$ 7.641	\$ 8.542	\$ 8.542	\$ 7.613	\$ 11.163
Totale jaarlijkse kosten	incl. BTW	Euro	\$ 8.443	\$ 10.406	\$ 9.566	\$ 9.633	\$ 11.193	\$ 13.672
Totale maandelijkse kosten	incl. BTW	Euro	\$ 704	\$ 867	\$ 797	\$ 803	\$ 933	\$ 1.139
PRIJZEN								
Consumentenprijs gas	ind. BTW	Euro / Nm3	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61
Consumentenprijs elektriciteit	ind. BTW	Euro / kWh	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Consumentenprijs collectieve warmte	ind. BTW	Euro / GJ	77,02	77,02	77,02	77,02	77,02	77,02
PARTICULIER								
Indicatoren								
Netto contante kosten investeringen, kosten en besparingen	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ 28.800	\$ 22.424	\$ 23.574	\$ 45.654	\$ 121.202
Investeringen								
Investering in isoleren, ventileren, afgiftesysteem en e-koken	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ 22.500	\$ 6.500	\$ 7.500	\$ 37.500	\$ 12.500
Investering in aansluitkosten / warmtepomp	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ 15.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 14.000
Investeringen in zonnepanelen	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Proceskosten	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ 5.625	\$ 1.725	\$ 1.875	\$ 6.375	\$ 3.975
Subsidie	ind. BTW	Euro	n.v.t.	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Totale investeringen	incl. BTW	Euro	n.v.t.	\$ 43.125	\$ 13.225	\$ 14.375	\$ 48.875	\$ 30.475
Jaarlijkse kosten								
Afschrijving en onderhoud HR-ketel	ind. BTW	Euro	\$ 253	\$ -	\$ 253	\$ 253	\$ -	\$ -
Herinvestering, onderhoud en monitoring warmtepomp	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 733	\$ 733
Herinvestering, onderhoud en monitoring zonnepanelen	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Kosten afleveren collectieve warmte	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ 253	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Financieringslasten	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ 2.512	\$ 770	\$ 837	\$ 2.847	\$ 1.775
Totale jaarlijkse kosten buiten energierekening	incl. BTW	Euro	\$ 253	\$ 2.765	\$ 1.023	\$ 1.090	\$ 3.580	\$ 2.508
Jaarlijkse kosten energierekening								
Vastrecht								
Vastrecht elektriciteit netbeheerder	ind. BTW	Euro	\$ 319	\$ 319	\$ 319	\$ 319	\$ 319	\$ 319
Vastrecht aardgas netbeheerder	ind. BTW	Euro	\$ 275	\$ -	\$ 242	\$ 242	\$ -	\$ -
Vastrecht elektriciteit elektriciteitsleverancier	ind. BTW	Euro	\$ 53	\$ 53	\$ 53	\$ 53	\$ 53	\$ 53
Vastrecht aardgas gasleverancier	ind. BTW	Euro	\$ 73	\$ -	\$ 73	\$ 73	\$ -	\$ -
Vastrecht collectieve warmte	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ 291	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Vastrecht collectieve koude/ bronnet	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Vastrecht blokverwarming	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Variabele kosten								
Variabele kosten aardgas	ind. BTW	Euro	\$ 5.217	\$ -	\$ 5.447	\$ 5.447	\$ -	\$ -
Variabele kosten elektriciteit	ind. BTW	Euro	\$ 2.647	\$ 2.803	\$ 2.803	\$ 2.803	\$ 7.635	\$ 11.185
Variabele kosten collectieve warmte	ind. BTW	Euro	\$ -	\$ 4.569	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Overige								
Heffingskorting	ind. BTW	Euro	\$ -394	\$ -394	\$ -394	\$ -394	\$ -394	\$ -394
Totale jaarlijkse kosten energierekening	incl. BTW	Euro	\$ 8.190	\$ 7.641	\$ 8.542	\$ 8.542	\$ 7.613	\$ 11.163
TOTALE JAARLIJKSE KOSTEN(-) / BESPARINGEN(+) VASTGOED-EIGENAAR / GEBRUIKER			\$ 8.443	\$ 10.406	\$ 9.566	\$ 9.633	\$ 11.193	\$ 13.672
TOTALE MAANDELIJKSE KOSTEN(-) / BESPARINGEN(+) VASTGOED-EIGENAAR / GEBRUIKER			\$ 704	\$ 867	\$ 797	\$ 803	\$ 933	\$ 1.139

**OVER
MORGEN**

Bijlage C – Toelichting afwegingskader en meetlat

Kwalitatieve criteria

	Leveringszekerheid	Erfgoed	Toegankelijkheid	Uitvoerbaarheid	Comfort
-5	Directe onzekerheid	Afbreuk erfgoedwaarden	Omvang installaties > 2x2x3 meter	Niet uitvoerbaar	Niet op temperatuur
-4				10 jaar uitvoeringstijd	Condens problemen
-3	Onzekerheid lange termijn		Omvang installaties > 1x1x2 meter		Kans op tochtklachten
-2					Meer onderhoud
-1				Binnen 1 jaar gerealiseerd	Minder liters/min.
0	Conform energie/warmtewet	Behoud erfgoedaarden	Omvang installaties > 0,5x1x1 meter	Plaatsing CV ketel in 4 uur tijd	Net zoveel comfort als met aardgas
1					
2	Aanvullende bronnen beschikbaar			Makkelijk in te passen dan doorgaan met aardgas	Meer liters/min.
3			Omvang installaties > 0,5x0,5x0,5 meter		Minder onderhoud
4					Snel op temperatuur
5	Gegarandeerd	Verbetering erfgoedwaarden		Oplossing voor alle nadelen aardgas net	

Kwantitatieve criteria

	Betaalbaarheid			
	Investering per gebouw (€)	Energierekening (€)	NCW (€)	Duurzaamheid (kg/CO ₂ eq.)
-5	80.000	150% t.o.v. aardgas	100.000	1.0000
-4	45.000	140% t.o.v. aardgas	50.000	9.000
-3	20.000	130% t.o.v. aardgas	25.000	8.000
-2	10.000	120% t.o.v. aardgas	10.000	7.000
-1	5.000	110% t.o.v. aardgas	5.000	6.000
0	Prijs cv-ketel (1.500)	Aardgasprijs	0	Uitstoot aardgas (5.621)
1	1.000	90% t.o.v. aardgas	5.000	5.000
2	750	80% t.o.v. aardgas	10.000	4.000
3	250	70% t.o.v. aardgas	25.000	3.000
4	50	60% t.o.v. aardgas	50.000	2.000
5	0	50% t.o.v. aardgas	100.000	1.000

Bijlage D – Studie erfgoedwaarden Elburg- Vesting