Vogelwijk aardgasvrij

Naar een toekomstbestendige energievoorziening

Datum:

22 oktober 2020

Status:

Defintief

Dit onderzoek is in stand gekomen in samenwerking met de gemeente Den Haag, de energiecoöperatie Vogelwijk Energie(k) en adviesbureau DWA.

DWA
Bezoekadres:
Harderwijkweg 7
2803 PW GOUDA

Auteurs:
Peter Heijboer, heijboer@dwa.nl, tel 06 51 636 017
Rogier Duijff, rogier.duijff@dwa.nl, tel 06 11 221 373

Co-lezer:
Martijn Koop

Projectnummer DWA:
18814

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
2.	Conclusies en vervolgstappen	6
3.	De Vogelwijk – kenmerken	8
4.	Alternatieven voor aardgas	11
5.	Warmtenet: schetsontwerp en business case	19
6.	Conceptenvergelijking	29
7.	Faseringsplan en vervolgstappen	38
8.	Organisatiemodellen	46

Bijlagen:

I.	Kaartmateriaal	46
II.	Onderbouwing keuzes en uitgangspunten	56
III.	Resultaten conceptvergelijking	58
IV.	Factsheet concepten per woningtype	66
V.	Prijsbepaling waterstof Factsheet concepten per woningtype	67

1. Inleiding

1. Inleiding

De aanleiding van dit onderzoek

Den Haag wil een gezonde, schone en leefbare stad zijn, die klaar is voor de toekomst. Daarom is de gemeente op zoek naar nieuwe manieren om onze woningen te verwarmen, te koken en te douchen. Samen met bewoners en andere partners onderzoekt de gemeente manieren om over te gaan op schone energie, zo ook in de Vogelwijk.

Vanuit de buurt is de energiecoöperatie Vogelwijk Energie(k) ontstaan, met als doel een CO_2-neutrale Vogelwijk in 2040. Vogelwijk Energie(k) heeft, samen met de gemeente Den Haag aan DWA gevraagd om een plan op te stellen voor de Vogelwijk.

Het doel van dit plan is tweezijdig:
Ten eerste het aanleveren van informatie waarmee de gemeente aan de wijk handelingsperspectief wil bieden. Het tweede doel is het beantwoorden van de vragen van bewoners van de Vogelwijk. Deze behoefte werd tijdens een eerste werksessie scherp gesteld: “Er zijn eigenlijk twee eenvoudige vragen:
1. Wat is het beste energiesysteem voor de wijk? Wat zijn de gevolgen voor de kosten van de bewoners, de CO_2-uitstoot en de aanpassingen in de wijk of achter de voordeur?
2. Welke bronnen zijn daarbij het beste toe te passen?”
Deze heldere vragen worden in dit onderzoek beantwoord.

Vogelwijk Energie(k) is op zoek naar een energiesysteem dat robuust is, ook als er zich in de toekomst nieuwe kansen voordoen of nieuwe inzichten zijn: het later kunnen aansluiten op andere bronnen, en flexibiliteit in bijvoorbeeld de temperatuur van een warmtenet werden als een belangrijke onderdelen van het plan gezien. Het doel van dit onderzoek is antwoord te geven op deze vragen.

Leeswijzer
We starten met de conclusies van het onderzoek. Daarna wordt toegelicht hoe deze conclusies tot stand zijn gekomen. Er wordt gestart met een analyse van de wijk en het bepalen van de drie meest voorkomende woningtypen. Er wordt een analyse gemaakt van de mogelijke concepten om van het gas af te gaan.

De drie meest belovende technieken worden meegenomen in de analyse. In het geval van een warmtenet worden de verschillende bronnen in kaart gebracht en een business case vanuit het oogpunt van de exploitant doorgerekend.

Voor elk woningtype wordt bepaald wat het meest kansrijke energieconcept is. Er wordt bekeken wat de totale kosten zijn over 30 jaar, wat de CO_2 uitstoot in van de verschillende opties. Ook verschillende praktische aspecten worden behandeld. Op basis van deze analyse kan een keuze gemaakt worden voor de wijk. In een scenario analyse wordt gekeken wat de invloed is van verschillende ontwikkelingen, zoals een lagere prijs van waterstof en het verzwaren van het elektriciteitsnetwerk.

Tot slot wordt een faseringsplan voorgesteld en uiteengezet welke stappen Vogelwijk nu kan zetten op weg naar een aardgasvrije toekomst.

2. Conclusies en vervolgstappen

2. Conclusies en vervolgstappen

1. Uit dit onderzoek is gebleken dat een *warmtenet* de beste optie is voor de flats aan de Sportlaan en Ranonkelstraat. Dit komt door de geconcentreerde warmtevraag en aanwezigheid van blokverwarming in een aantal flats. Ook zijn er 'meekoppelkansen' van een verouderd riool- en gasnet.

2. Voor de grondgebonden woningen van de Vogelwijk behoren zowel een *warmtenet* als de *all electric* oplossing met buitenlucht warmtepompen tot de mogelijkheden. Beide concepten hebben voor- én nadelen, de één scoort iets beter op kosten, de ander op duurzaamheid. Voor het warmtenet moet de straat open, bij het *all electric* moeten de huizen ingrijpend worden geïsoleerd wat alleen tijdens een renovatiemoment uitgevoerd kan worden. Welke aspecten doorslaggevend zijn, is aan de bewoners van de Vogelwijk.

3. De Vogelwijk ligt op een unieke locatie en heeft *veel lokale en regionale bronnen*. De meest geschikte bron voor een warmtenet op de lange termijn is geothermie. Den Haag ligt in één van de regio's met een hoge potentie van geothermie. Door het gebruik van aardwarmte is de CO_2 uitstoot van deze techniek erg laag en bij een groot aantal aansluitingen zijn de kosten laag. Het aanleggen van een geothermiebron vergt een grote investering, en is erbij gebaat dat er direct veel woningen worden aangesloten.

4. Rekenend met de huidige emissiekengetallen resulteert concept 1 'warmtenet met geothermie als bron' in de laagste CO_2 emissie.
   Alle concepten hebben de potentie in de toekomst 100% duurzame warmte te leveren. Voorwaarde voor de waterstofketel is dat de waterstof groen geproduceerd wordt en in voldoende hoeveelheden beschikbaar komt. Alle concepten worden 100% duurzaam als de stroommix in Nederland volledig duurzaam wordt opgewekt. Voor het warmtenet moet dan de piekvoorziening op waterstof worden overgeschakeld.

5. Het hybride concept (warmtepomp en waterstofketel per woning) blijven voor alle woningtypes financieel onaantrekkelijk, zelfs wanneer uitgegaan wordt van een lage toekomstige waterstofprijs van € 6,7 per kg.

6. Een goed startproject is de aanleg van een warmtenet voor de flats die zich aan de noordoostelijke kant van de Sportlaan bevinden. Dit project kan doorgroeien naar een omvang van 500 tot 1.000 woningen . Als warmtebron zou in eerste instantie restwarmte van de biogas WKK op Houtrust of restwarmte uit het rioolwater van RWZI Houtrust in combinatie met een centrale warmtepomp gebruikt kunnen worden. Zodra ook omliggende wijken (Statenkwartier, Vruchtenbuurt) warmtenetten krijgen, kan overgestapt worden op geothermie.

7. De kosten van alle aardgasvrije opties liggen allemaal hoger dan die van de huidige situatie met aardgas. Om de transitie mogelijk te maken, zijn aanvullende financiële instrumenten nodig, zoals subsidies en langlopende laagrentende leningen.

Vervolgstappen
Dit onderzoek is de basis om met de wijk een gegronde keuze te maken voor een energieconcept. Op basis van de kosten, CO_2-uitstoot en overige aspecten kan in samenwerking met de bewoners bekeken worden welk energieconcept de voorkeur verdient en op draagvlak per buurt kan rekenen. In het proces moeten de rollen van het wijkteam en van de gemeente vastgelegd worden.

Wanneer de keuze valt op het aanleggen van een warmtenet moet er een verder uitgewerkt project/business plan worden uitgewerkt. De keuze voor de wijze van marktbenadering en de beoogde organisatiestructuur kunnen in dit proces verder bepaald worden.

3. De Vogelwijk - Kenmerken

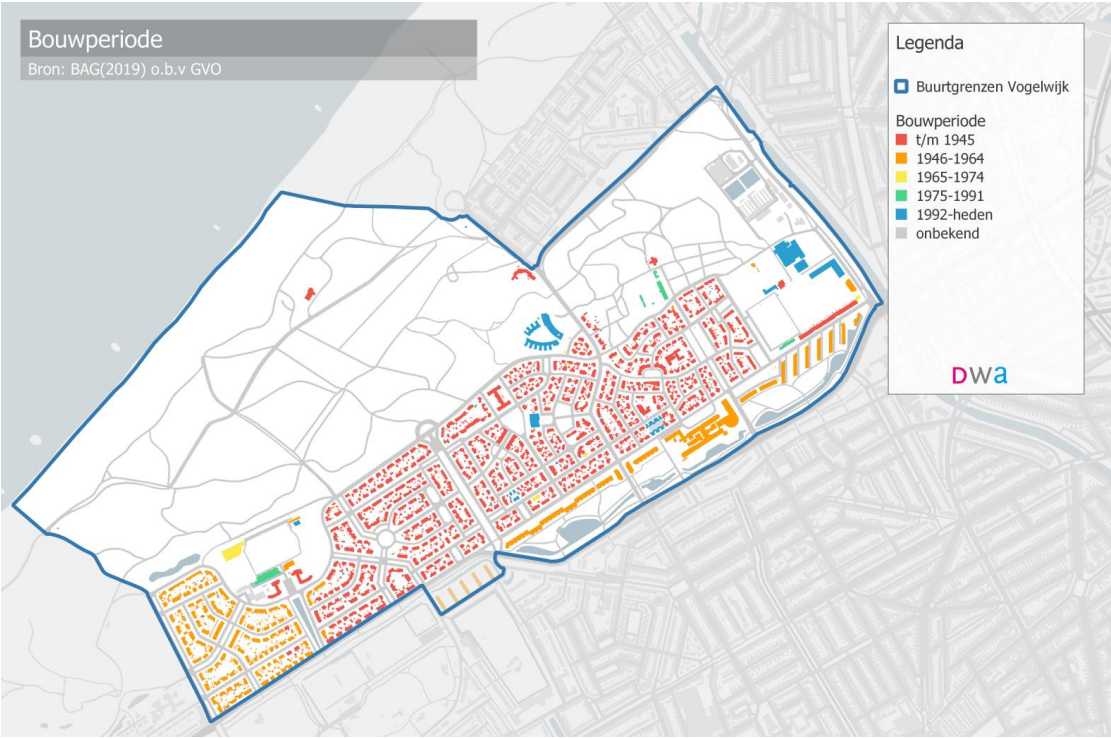
3. De Vogelwijk

Wijkkarakteristieken (zie ook de kaarten in Bijlage I) *1

De keuze voor een bepaald energieconcept hangt voor een groot deel af van de karakteristieken van de wijk, bijvoorbeeld het type pand, het bouwjaar en bouwdichtheid. Het aardgasverbruik wordt bepaald. Dit is immers het startpunt voor het aardgasvrij maken van de wijk. Voor de Vogelwijk worden de drie meest voorkomende woningtypen meegenomen als referentiewoning in de analyse. Voor elk woningtype wordt bepaald welk energieconcept het best geschikt is.

De Vogelwijk is een echte *woon*wijk. Zo'n 98% panden heeft woonfunctie waarvan vrijwel alles in particulier bezit is. Veel van de grondgebonden woningen zijn in de periode tussen 1930 en 1945 gebouwd, met uitzondering van de woningen in het zuiden van de wijk. Deze zijn voor 1965 gebouwd. In het project worden ook de flats aan de Sportlaan en de Ranonkelstraat meegenomen. In dat geval bestaat het gebied uit 2.365 woningen met een mix van 28% hoogbouw en 72% grondgebonden woningen. Deze hoogbouw is vooral individueel verketeld. Alleen de 210 appartementen aan de Sportlaan Oost hebben blokverwarming. Speciaal aandachtspunt is het Haga ziekenhuis. Hier worden op termijn waarschijnlijk appartementen gebouwd.

'Koppelkansen' transitie naar aardgasvrij
Door slim te kijken naar andere werkzaamheden in de wijken, en deze werkzaamheden samen uit te voeren met de werkzaamheden voor de energietransitie, kunnen kosten bespaard worden. Bijvoorbeeld als de huidige infrastructuur aan vervanging toe is. De riolering in de wijk is vrij recent vervangen. Hetzelfde geldt voor het gasnet en de waterleidingen. Uitzondering is het gebied in het Noordoosten. Hier is de riolering aan vervanging toe en is het aardgasnet ouder dan 30 jaar.



3. De Vogelwijk

Woningtypen die zijn meegenomen in de analyse

Op basis van de karakteristieken van de wijk zijn *drie referentiewoningen* gekozen die een goede weerspiegeling van een groot deel van de woningen in de wijk zijn:

1. De *hoekwoning of twee-onder-één-kap woning*. Dit is kenmerkend voor de grotere woningen in de Vogelwijk. Door een groot vloeroppervlak en veel buitenmuren zonder spouw is het gasverbruik hoog. De woningen in het zuidwesten van de Vogelwijk van na de oorlog worden ook tot deze categorie gerekend omdat het gevonden gasverbruik onderling niet veel verschilt.
2. De *tussenwoning*. Deze woning is als referentie genomen voor alle tussenwoningen in de Vogelwijk. Deze woningen hebben een groot vloeroppervlak, maar minder buitenmuur. Hierdoor is het gasverbruik lager.
3. De *portiekwoning*. Aan de Sportlaan en de Ranonkelstraat bevinden zich verschillende flats. De meeste hiervan zijn portiekwoningen. De gallerijflats worden ook onder deze categorie genomen. Door een kleiner vloeroppervlak, gestapelde bouw en betere isolatie is het gasverbruik hier lager.

De kenmerken van deze woningen worden meegenomen in de analyse, waarbij per referentiewoning het beste energieconcept wordt bepaald.

	Hoekwoning / 2 onder 1 kap	Tussenwoning	Portiekwoning
Aantal in de wijk*[1]	1.007	726	632
Bouwjaar	<1945	<1945	1946-1964
Vloeroppervlak (gbo) m^2	160	160	90
Isolatie	Hoofdzakelijk enkel glas Geen spouwmuren Geen vloer/dakisolatie	Hoofdzakelijk enkel glas Geen spouwmuren Geen vloer/dakisolatie	Dubbel glas Spouwmuren niet gevuld Geen vloer/dakisolatie.
Aardgasverbruik in m^3/jaar	2.750*[2]	2.250*[2]	1.300

*[1] op basis van de verdeling van geregistreerde woningen in BAG

*[2] op basis van CBS data (CBSinuwbuurt.nl)

4. Drie alternatieven voor aardgas

4. Alternatieven voor aardgas

Drie kansrijke energieconcepten

De energietransitie is in volle gang, waardoor alternatieven voor aardgas volop in het nieuws zijn. In de tabel op de volgende pagina zijn verschillende van deze energieconcepten beschreven. Op basis van een kwalitatieve analyse worden na overleg met het projectteam de drie meest kansrijke concepten voor de Vogelwijk uitgewerkt. In dit hoofdstuk wordt kort onderbouwd waarom de verschillende concepten zijn gekozen. Verdere onderbouwing in bijlage II.

De volgende concepten worden verder uitgewerkt in de analyse:

1. Collectief: Warmtenet met aanvoertemperatuur van 70°C
2. Individueel: Hybride warmtepomp (luchtwarmtepomp + waterstofketel)
3. Individueel: *all electric* (luchtwarmtepomp) en vergaande schilisolatie

Deze drie concepten worden vergeleken met de huidige situatie: CV-ketels op aardgas.

In het geval van een **warmtenet** wordt de warmte centraal opgewekt door externe warmteleverancier of door een wijkcoöperatie. Het is daarom een collectieve oplossing. Er is gekozen voor een netwerk met een aanvoertemperatuur van 70 ˚C, zodat de woningen met minimale aanpassingen aan de CV-installatie en isolatie verwarmd kunnen worden en direct tapwater geleverd kan worden.

Op de vraag of het rendabel is om het hele gebied op een warmtenet aan te sluiten, is een schetsvoorstel van een warmtetracé gemaakt en een eerste opzet van de business case voor de exploitant. Resultaat van deze analyse is een schatting van de aansluitingsbijdrage voor de bewoners en een prijs voor de geleverde warmte.

De andere twee concepten zijn individuele oplossingen; de warmte wordt in de woning opgewekt. In het geval van de ***all electric*** optie wordt dit gedaan met een lucht- warmtepomp. In deze analyse wordt een bodemzijdige warmtepomp niet mee genomen. Voor bestaande bouw is deze optie namelijk duurder in vergelijking met een luchtwarmtepomp, omdat een bron moet worden aangelegd en omdat de CV installatie geschikt gemaakt moet worden om koeling te leveren.

Bij **hybride oplossing** kunnen op korte termijn al warmtepompen in de woning geplaatst worden zonder grote aanpassingen aan de schilisolatie. De CV-ketel blijft namelijk in bedrijf voor warmte-opwekking tijdens koude winterdagen en voor warm tapwater. Het aardgasnet blijft bij dit hybride concept intact. Als in de toekomst waterstof beschikbaar komt kan de ketel vervangen worden door een waterstofketel. Er zijn verschillende om deze optie mee te nemen: Het kan worden toegepast zonder grote aanpassingen aan de woning of in de straat. Daarnaast komt waterstof in de startanalyse van het PBL naar voren als kansrijke optie in de wijk.

De definitie van de verschillende energieconcepten wordt op de volgende pagina's weergegeven. Eerst wordt de definitie van de verschillende concepten samengevat. Aanpassingen aan de woning of verandering in de infrastructuur worden hier kort samengevat. Tot slot volgt een korte toelichting per energieconcept.

Klik hier voor verdere onderbouwing
van de conceptkeuze

4. Alternatieven voor aardgas

Groslijst van mogelijke aardgasvrije energieconcepten

	Voordelen	Nadelen
Individuele opties (per woning)		
Houtpelletketel	Geen aanpassingen woningen nodig.	Ruimtebeslag in woning, geur, fijnstof, beschikbaarheid, duurzaamheid
Luchtwarmtepomp	Individueel toe te passen.	Forse aanpassingen CV-systeem en schilisolatie woningen nodig. Inpassing buitenunit in tuin of op dak, geluid, energieverbruik
Bodemwarmtepomp	Koeling woningen mogelijk. Hoge energie-efficiency	Forse aanpassingen CV-systeem en schilisolatie woningen nodig. Boren bodembronnen geeft veel overlast in tuinen. Hoge investering.
Elektrisch verwarmen	Minimale aanpassingen woningen	Zeer hoog elektriciteitsverbruik (hoge jaarlasten), niet duurzaam
Waterstofketel	Minimale aanpassingen woningen. Hergebruik aardgasnetwerk.	Onduidelijkheid over beschikbaarheid groene waterstof voor gebouwde omgeving. Hoge prijs waterstof.
Hybride warmtepomp en waterstofketel	Minimale aanpassingen woningen. Door warmtepomp minder waterstof nodig. Warmtepomp is nu al te plaatsen.	Onduidelijkheid over beschikbaarheid groene waterstof. Hoge prijs waterstof. Inpassing buitenunit warmtepomp in tuin of op dak.
Collectieve opties (voor de hele wijk)		
Warmtenet 70°C	Weinig aanpassingen in de woning nodig. Duurzame oplossing.	Grote voorinvesteringen. Oprichting warmtebedrijf noodzakelijk. Collectieve aanpak nodig.
Warmtenet 35 a 50°C	Laagwaardige warmtebronnen (kanaalwater, rioolwarmte, etc.) zijn efficienter inzetbaar	Grote voorinvesteringen. Oprichting warmtebedrijf noodzakelijk. Forse aanpassingen CV-systeem en schilisolatie woningen nodig. Naverwarming warmtapwater (boosters) in elke woning nodig
Warmtenet 12°C	Koeling woningen mogelijk. Hoge energie-efficiency. Toepasbaar in kleine deelwijken	Forse aanpassingen CV-systeem en schilisolatie nodig. Warmtepomp nodig in elke woning.

4. Alternatieven voor aardgas

Effecten van de drie alternatieven

	Huidige situatie: Aardgas	Concept 1: Warmtenet 70°C	Concept 2: Hybride warmtepomp met waterstof ketel	Concept 3: All electric Lucht warmtepomp
Aanpassingen woningen				
Schilverbetering	-	Pakket A	Pakket A	Pakket B
Warmteafgiftesysteem ruimteverwarming	Bestaande radiatoren	Aanpassen bestaande radiatoren 70°C	Bestaande radiatoren	Nieuwe convectoren / vergrote radiatoren
Warmte-opwekker in de woning	CV-ketel	Afleverset	Luchtwarmtepomp en waterstofketel	Luchtwarmtepomp inclusief tapwaterboiler
Koken	Gasstel	Inductie	Inductie	Inductie
Verwijderen gas-aansluiting	-	Ja	Nee	Ja
Infrastuctuur				
Aardgasnet	-	Verwijderen	Aanpassen voor waterstof	Verwijderen
Warmtenet	-	Aanleg warmtenet	-	-
Elektriciteitsnet	-	Minimale aanpassingen*1	Enigszins verzwaren	Vergaand verzwaren
Collectief energiesysteem				
Energiecentrale in wijk of stad	-	Warmtecentrale met piekvoorziening	Waterstoffabriek of invoedingspunt regionaal net	-
Hernieuwbare energiebron	-	Geothermie, biogasWKK en warmterivier Houtrust, restwarmte via Leiding door het Midden	Groene waterstof, buitenlucht	Buitenlucht

*1 Impact van zonnepanelen, elektrisch koken en elektrisch rijden zijn ook een reden het netwerk te verzwaren.

4. Alternatieven voor aardgas

Aanpassingen aan de woning bij elk concept

1. Drie isolatiepakketten
Per energieconcept zijn verschillende isolatiepakketten nodig. In de huidige situatie worden woningen met CV-water van hoge temperatuur verwarmd met een CV ketel.

- Op basis van testen in de wijk is te verwachten dat de woningen verwarmd kunnen worden met water op 70°C zonder grote aanpassingen aan de isolatie en CV. Dit is als **pakket A** gedefinieerd.
- Bij de lage temperatuur van 50 °C zijn wel forse aanpassingen nodig zoals aangegeven in **pakket B**.

2. Aanpassing warmte-afgiftesysteem:
Ook de vereiste aanpassing aan het warmte-afgifte systeem in de woning is afhankelijk van de temperatuur van de CV installatie.

- De huidige radiatoren zijn meestal ontworpen op 90°C.
- Dankzij het in de loop der tijd geplaatste dubbel glas of vloer/dakisolatie kunnen de radiatoren veelal ook op 70°C werken. Eventueel door plaatsing van ventilatoren aan de onderzijde van de radiator de warmteoverdracht te verbeteren.
- Bij *all electric* zijn CV-temperaturen nodig die lager zijn dan 50°C. Om dit te bereiken zijn grotere aanpassingen nodig. Er moeten dan bijvoorbeeld grote convectoren worden geplaatst of er moet vloerverwarming worden aangelegd.

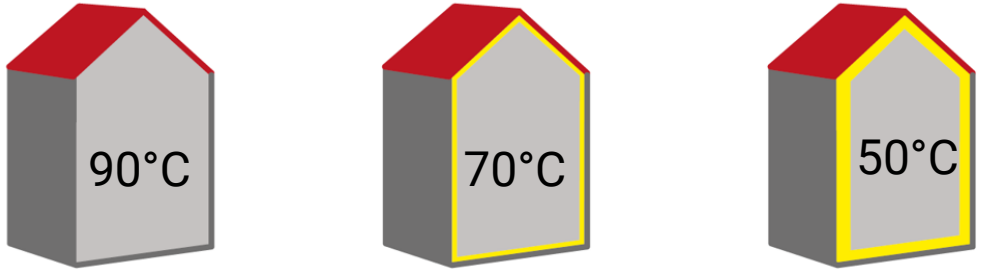
In alle gevallen moeten de radiatoren waterzijdig ingeregeld worden voor een optimale verdeling van warmte-afgifte in de woning.

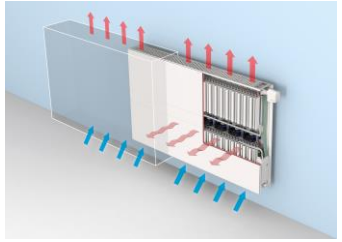
3. Elektrisch koken
Wanneer de gasaansluiting verdwijnt of om wordt gebouwd tot waterstof, zal ook het koken op gas verdwijnen. In dit geval wordt ervan uit gegaan dat het koken voortaan op inductietoestellen plaatsvindt.

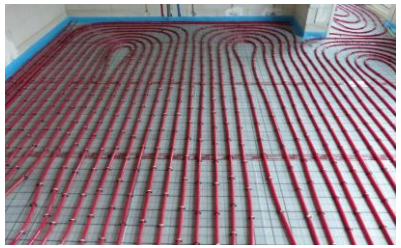
Huidige situatie:
- Beperkte isolatie
- Mechanische ventilatie
- Radiatoren

Pakket A:
- Beperkte isolatie
- Mechanische ventilatie
- Radiatoren (aangepast)

Pakket B:
- HR++ glas
- Isolatie dak, vloer en spouwmuren of binnenisolatie
- CO_2 gestuurde ventilatie
- Convectoren







4. Alternatieven voor aardgas

Concept 1: Warmtenet met aanvoertemperatuur van 70°C

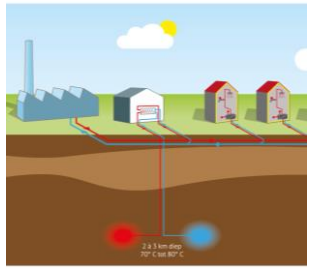
Beschrijving:
Met een warmtenet op 70 °C kan direct worden verwarmd en kan het warmtapwater meteen op de vereiste temperatuur worden geleverd via het per woning te plaatsen warmte-afleverset.

Duurzame warmtebronnen
Een warmtenet kan aangesloten worden op verschillende bronnen. Het type bron bepaalt voor een groot deel de duurzaamheid van dit concept. Op pagina 21 zijn de mogelijke duurzame bronnen in en rond de Vogelwijk in kaart gebracht. Op de lange termijn wordt geothermie als meest aantrekkelijke bron van warmte gezien. Op de korte termijn zou thermische energie uit afvalwater (TEA) of warmte van de bio installatie op Houtrust als bron kunnen dienen. Bij elk type warmtebron zijn hulpketels nodig die ongeveer 15% van de totale warmte leveren, vooral om pieken op de koudste dagen op te vangen. Ze kunnen ook als back-up dienen indien er problemen zijn met de duurzame bron.

Infrastructuur
Bij een warmtenet zijn grote aanpassingen in de openbare ruimte nodig. In de straten moet het warmtenet aangelegd worden. Dit netwerk bestaat uit een aanvoerleiding en een retourleiding voor het afgekoelde water. Het netwerk wordt in eerste instantie tot de erfgrens van elke woning aangelegd. Voor het elektrisch koken moet gekeken worden of het elektriciteitsnetwerk licht verzwaard moet worden.

Aanpassingen aan de woningen
Zodra een woning op het warmtenet aansluit, wordt er een verbinding gemaakt tussen het warmtenet en de CV-installatie. In de woning is een warmte-afleverset met warmtemeter nodig, die vaak op de plek van de oude CV-ketel wordt geplaatst. Ook moeten er leidingen vanuit de straat naar het warmte-afleverset worden aangelegd. Er zijn meerdere opties om de afleversets aan te sluiten op het warmtenet. De eerste optie is het aanleggen van leidingen via de zolders van de woningen. De leidingen lopen dan door woning scheidende muren. Over het eigendom van de leidingen moeten dan goede afspraken gemaakt worden. Hierdoor is minder leiding nodig door de woningen. Een andere optie is het buitenlangs brengen van de leidingen via een regenpijp achtige constructie. Deze optie is goedkoper maar esthetisch minder aantrekkelijk. Tot slot kan ook de CV-installatie worden aangepast waardoor de afleverset bij de voordeur in de hal geplaatst kan worden.

Met een 70°C warmtenet zijn aanpassingen aan de woningisolatie geen vereiste.



4. Alternatieven voor aardgas

Concept 2: Hybride warmtepomp: luchtwarmtepomp + waterstofketel

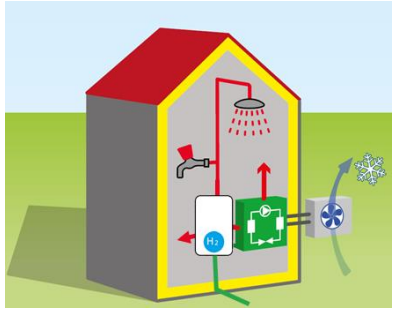
Beschrijving:
Dit hybride concept brengt de voordelen van twee systemen bij elkaar. Een warmtepomp kan op een betaalbare manier warmte leveren. Voor het leveren van tapwater en het verwarmen van de woning op koude dagen komt het grote vermogen van de waterstofketel van pas. De ketel levert op dat moment ook een hoge CV-temperatuur (>70°C). De verwachting is dat waterstof een schaarse en daarmee prijzige brandstof blijft. Zaak is dus om het gebruik hiervan beperkt te houden en op termijn te investeren in isolatie.

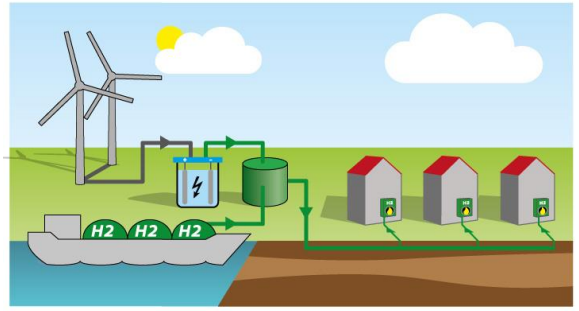
Duurzame warmtebronnen
De verwachting is dat in de toekomst waterstof op grote schaal uit duurzame wind- en zonne-energie geproduceerd kan worden. De hoeveelheid waterstof die op deze manier gemaakt kan worden, zal echter niet voldoende zijn om het aardgasverbruik in Nederland te vervangen. Waterstof kan immers ook voor andere doeleinden gebruikt worden, zoals de transportsector, de industrie en voor het balanceren van de elektriciteitsproductie. Om aan alle vraag te voldoen zal waterstof geïmporteerd moeten worden uit bijvoorbeeld Noord-Afrika. In deze studie wordt uitgegaan van twee scenario's (zie ook bijlage V):

- **Scenario A** is groene waterstof uit Nederland waarbij de *huidige* adviesprijs van Shell voor waterstoftankstations is aangehouden: € 10 per kg incl. btw.
- **Scenario B** is een scenario waarin de prijs van waterstof onzeker blijft. In de gevoeligheidsanalyse is daarom ook een *toekomstige* prijs meegenomen: productie van groene waterstof uit groene stroom. In dit geval zijn kosten door o.a. CE Delft in 2030 ingeschat op € 2,92,- per kg. Dit is nog exclusief kosten voor transport, opslag winstmarge/consumer care, geopolitieke effecten, eventuele energiebelasting en btw. Als verkoopprijs is in scenario B daarom als meest optimale prijs € 6,67 per kg incl. btw ingeschat. Om dit prijsniveau te halen moet de prijs elk jaar 4% dalen ten opzichte van 2020.

Infrastructuur
Het is de verwachting dat het huidige aardgasnet met kleine aanpassingen omgebouwd kan worden voor het transport van waterstof. Doordat de warmtepompen een minder groot vermogen hebben, zal het elektriciteitsnetwerk waarschijnlijk minimaal vervangen hoeven worden, ook bij elektrisch koken.

Aanpassingen aan de woningen
In de woning zijn beperkte aanpassingen nodig aan de isolatie en het warmteafgiftesysteem. De kosten zijn echter hoger wanneer niet geïsoleerd wordt, omdat de waterstofketel vaker moet draaien. Daarnaast moet de aardgasketel vervangen worden door een waterstofketel.





4. Alternatieven voor aardgas

Concept 3: All electric *met luchtwarmtepomp*

Beschrijving:
Een luchtwarmtepomp haalt warmte uit de buitenlucht en brengt dit op een bruikbare temperatuur voor ruimteverwarming en tapwaterverwarming. Een warmtepomp bestaat uit een buitenunit om de warmte uit de lucht te halen, en een binnenunit met de warmtepomp en een buffervat. Een warmtepomp is een individuele oplossing, er is geen warmtenet nodig voor deze oplossing.

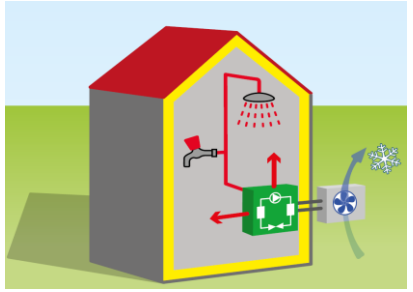
Duurzame warmtebronnen
Buitenlucht is een duurzame bron van warmte. De warmtepomp heeft elektrische energie nodig de warmte uit de buitenlucht te halen. Dit is ongeveer 1/3 van de energie die aan de woning wordt geleverd. Een luchtwarmtepomp is pas helemaal duurzaam als ook de elektriciteit duurzaam wordt opgewekt.

Infrastructuur
Door het gebruik van individuele warmtepompen en elektrisch koken, zijn op veel plaatsen in de wijk aanpassingen aan het elektranet noodzakelijk. Deze kosten worden gemaakt door de netbeheerder en zijn niet direct toe te schrijven aan de bewoners, maar worden wel meegenomen in het bepalen van de maatschappelijke kosten.

Aanpassingen aan de woningen
Een luchtwarmtepomp heeft een beter rendement als de verwarming op lage temperatuur (<50 °C) functioneert. De woning moet geschikt gemaakt worden voor het verwarmen op deze temperatuur. Ten eerste moet de woning grondig geïsoleerd worden volgens ‘pakket B’ op pagina 15. Dit is een ingrijpende actie die eigenlijk alleen uitgevoerd kan worden als de woning gerenoveerd wordt. Naast dak/vloerisolatie moeten de binnenmuren moeten van isolatie worden voorzien. Diverse woningen hebben nog enkel glas in stalen kozijnen.

Om hier HR++ glas in te plaatsen moeten ook de kozijnen vervangen worden.

Daarnaast dienen de radiatoren vervangen te worden door vloerverwarming of convectoren. Tot slot moet de CV-installatie zelf aangepast worden. De CV-ketel wordt vervangen door een luchtwarmtepomp en een boilervat voor warm tapwater. Er moet een buiten unit geplaatst worden in de tuin, op een uitbouw of op het dak.



5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

Verkenning naar de kansen en kosten van Concept 1 'Warmtenet 70°C'

Om vast te kunnen stellen wat het beste energieconcept is voor de Vogelwijk verkennen we eerst hoe de business case van Concept 1 'Warmtenet met een aanvoertemperatuur van 70°C' uitpakt voor deze wijk. Daarmee is een eerste inschatting van de aansluitkosten en de warmtekosten te maken.

Deze kosten hangen onder andere af van de beschikbare warmtebronnen voor het gebied. Daarom zijn allereerst de verschillende warmtebronnen in kaart gebracht en beoordeeld op kosten en CO_2-uitstoot.

Bepalend voor de kosten zijn ook de bebouwingsdichtheid en de woningtypes. Om dit in beeld te brengen is een eerste schets van het leidingtracé opgezet. De wijk is daarbij opgedeeld in verschillende fases waarin het netwerk wordt aangelegd. Voor de hand ligt om te beginnen aan de Sportlaan en Ranonkel (fase 1 in dit onderzoek). Door een geconcentreerde warmtevraag van de flats wordt dit gezien als de beste optie. Daarnaast ligt dit gebied vlak bij een groot aantal warmtebronnen, waardoor de transportafstand klein is. In fase 2 en 3 breidt het warmtenet zich uit naar de grondgebonden woningen in de Vogelwijk.

Met deze gegevens is vervolgens een business case opgezet met cashflow berekeningen over een looptijd van 30 jaar. Uitgangspunt daarbij is dat het warmtenet door een derde partij wordt geëxploiteerd.

De ligging van het warmtenet en de dikte van de leidingen worden gebruikt in de bepaling van de business case. Het resultaat van de business case is een eenmalig aansluitbijdrage (BAK) die bewoners moeten betalen voor aansluiting op het warmtenet, en de warmtekosten die per jaar betaalt moeten worden. Deze tarieven gebruiken we vervolgens in hoofdstuk 6, waar we Concept 1 vergelijken met de twee andere concepten.

Aan de hand van een gevoeligheidsanalyse wordt bekeken wat de invloed is van verschillende parameters op de aansluitkosten voor de bewoners.

5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

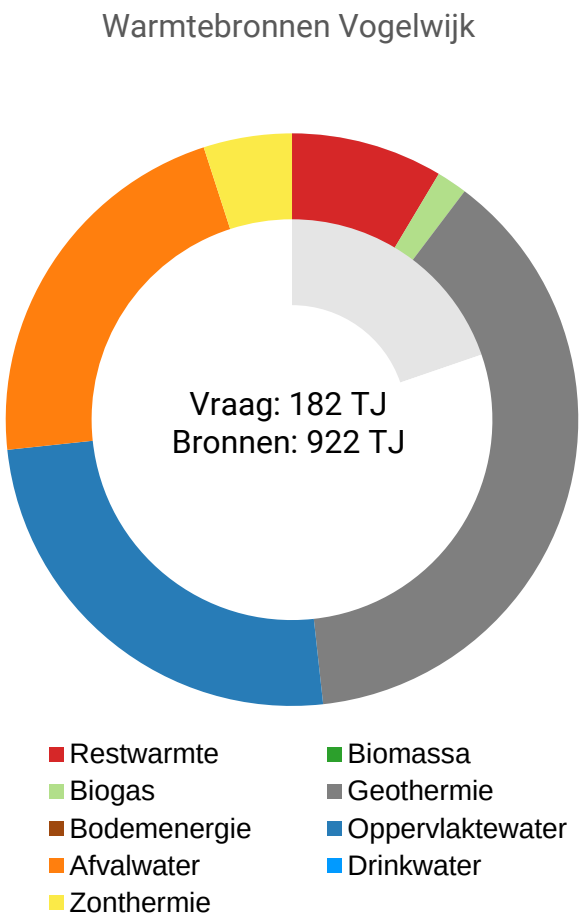
Inventarisatie warmtebronnen voor de Vogelwijk

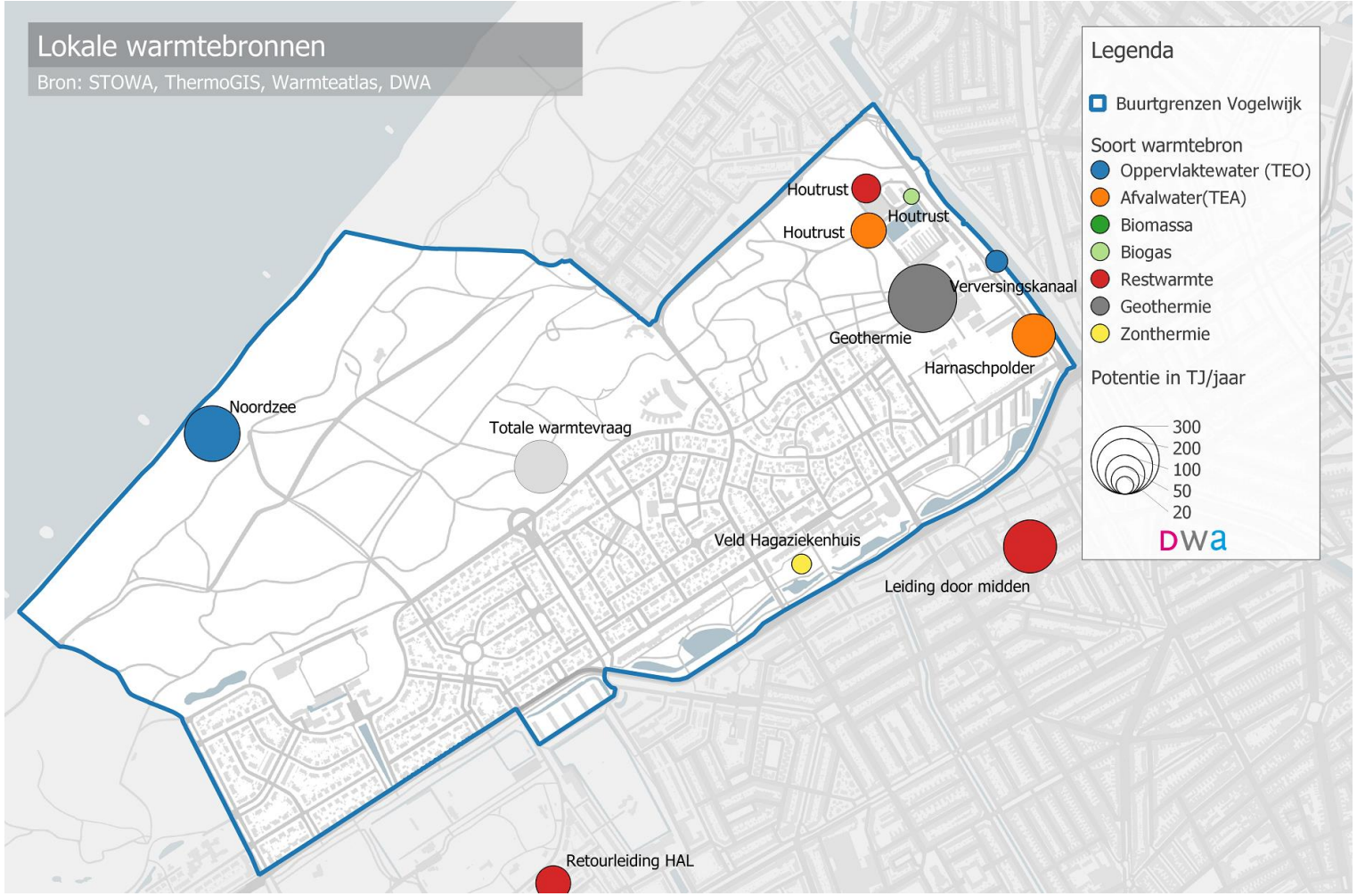
	Brontem-peratuur	Schaal woningen	Potentie (TJ/jaar)	Bron	Systeemopzet	Kosten €/GJ*	CO_2 kg/GJ**
Lokaal							
Biogas WKK Houtrust	>70 °C	300 – 500	16	DWA/ CMAG	Warmte/kracht motoren + piekvoorziening	€ 8 - 12	< 22
Effluent Houtrust	11-16 °C	300 – 2000	80	DWA/ CMAG	Collectieve warmtepompen + piekvoorziening	€ 15 - 18	48
Effluent persleiding Harnaschpolder	11-16 °C	> 2.000	120	DWA/ CMAG	Collectieve warmtepompen + piekvoorziening	€ 15 - 18	48
Zeewater	16-22 °C (zomer)	> 300	200	STOWA	Onttrekking + WKO + collectieve warmtepomp + piekvoorziening	€ 30	53
Verversingskanaal	16-25 °C (zomer)	300 – 800	31	STOWA	Onttrekking + WKO + collectieve warmtepomp + piekvoorziening	€ 30	53
Stedelijk/regionaal							
Geothermie	70°C	8750	350	ThermoGIS	Geothermiebron + piekvoorziening	€ 12 -15	20 – 22
Industriele restwarmte Leiding door het midden	70°C				Aansluiten netwerk + piekvoorziening	< € 12?	8 – 20
Retourleiding Haagse Aardwarmte Leijweg	40°C	1575	63	DWA	Aansluiten netwerk collectieve warmtepomp + piekvoorziening	> € 15	> 33

* Productiekosten 70°C excl SDE subsidie en piekvoorziening
** Warmte van 70°C afgeleverd in de woning, emissie uniforme maatlat

5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

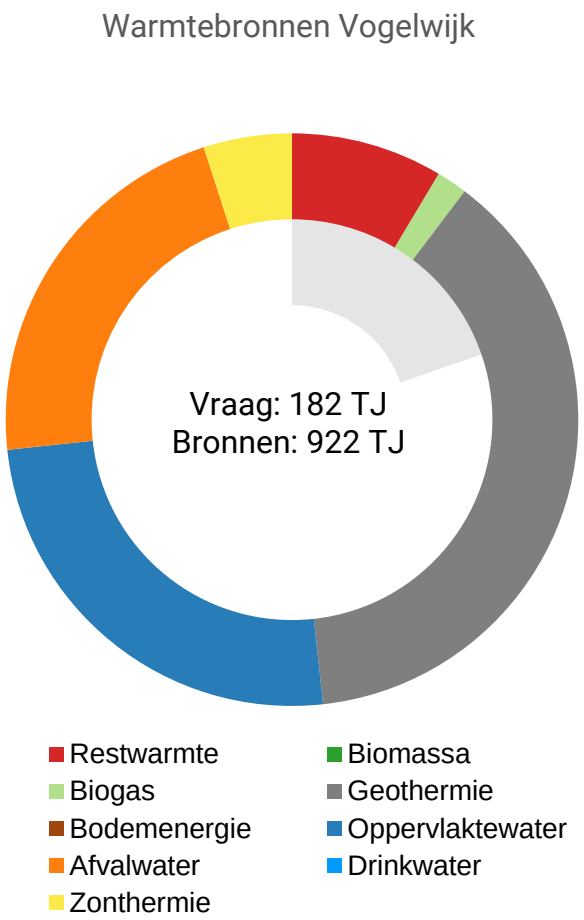
Inventarisatie mogelijke warmtebronnen





5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

Inventarisatie mogelijke warmtebronnen



Zoals te zien op de kaart van de Vogelwijk zijn er veel lokale bronnen beschikbaar. Het totale aanbod van warmte is zelfs meerdere malen groter dan de totale warmtevraag van de Vogelwijk. Dit geeft ruimte om de meest geschikte bron te kiezen.

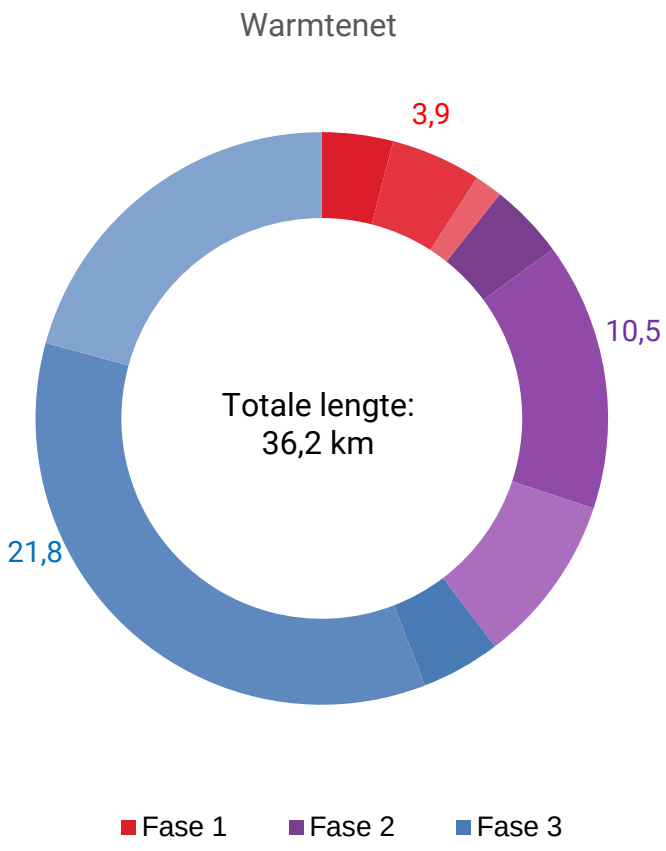
Bronnen met een hoge temperatuur hebben de voorkeur omdat er direct mee verwarmd kan worden en er direct tapwater op gewenste temperatuur gemaakt kan worden. Ook het feit dat de woningen beperkte schilisolatie hebben, maakt een netwerk op hoge temperatuur gewenst. Er zijn verschillende lokale bronnen op hoge temperatuur beschikbaar, zoals geothermie en restwarmte van de WKK installatie van Houtrust. Ook zijn er plannen om hoge temperatuur restwarmte uit Rotterdam naar Den Haag te brengen via de 'Leiding door het Midden'. Nog niet bekend is welke wijken in Den Haag daarop aangesloten kunnen worden. Op de korte termijn kan gekeken worden of het bestaande warmtenet van Eneco, dat tot nabij het World Forum loopt, voldoende capaciteit heeft om een deel van de benodigde warmte te leveren aan de wijk.
Andere bronnen als energie uit oppervlakte-, riool- of zeewater hebben een lage temperatuur. Dit geldt ook voor warmtewinning uit de persleiding die vanaf rioolwaterzuivering Houtrust naar de Noordzee loopt (ook wel de warmterivier genoemd) en voor de retourleiding van de geothermie bron van de Haagse Aardwarmte Leyweg (HAL). Bij deze bronnen is een centrale warmtepomp nodig om de gewenste temperatuur van 70°C te halen.

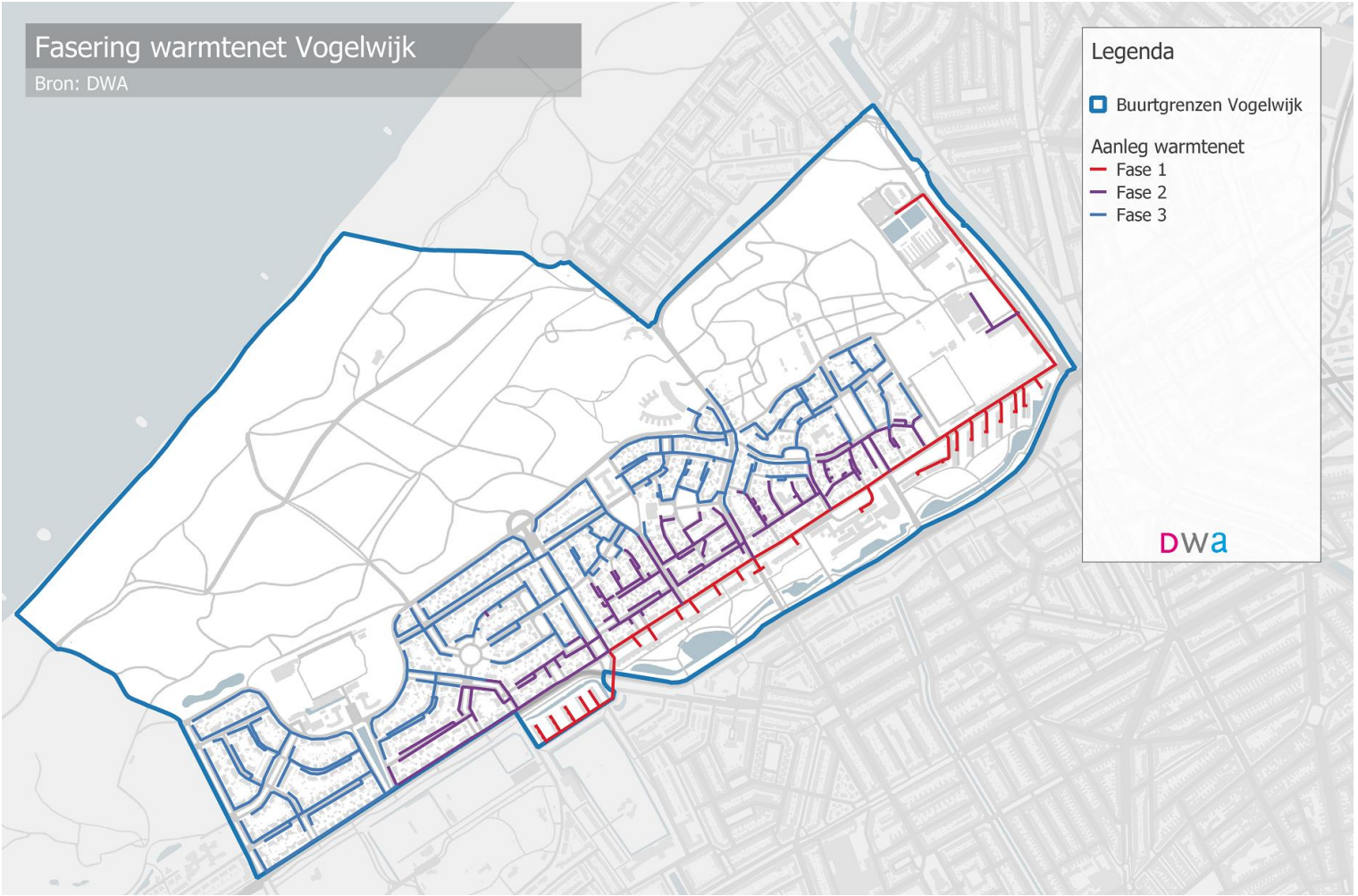
Uit de analyse van de bronnen komt naar voren dat geothermie de beste bron is op de lange termijn. De kosten en CO_2-uitstoot zijn beiden laag. De minimaal vereiste schaalgrootte voor een geothermie project overstijgt de grootte van Vogelwijk, waardoor deze bron pas geschikt is als ook delen van Statenkwartier en de Vruchtenbuurt aansluiten. De biogas warmte/kracht (WKK) motoren van Houtrust wordt als kansrijke optie gezien voor een startproject. De hoge temperatuur van de WKK kan dan in de wijk worden gebracht, terwijl met de duurzame elektriciteit warmtepompen de zuivering van warmte kunnen voorzien op een lage temperatuur.

Zoals te zien zijn veel bronnen geconcentreerd in het noordoosten van de wijk. Rond Houtrust is warmte uit biogas, thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) en thermische energie uit afvalwater (TEA) te winnen. Ook heeft deze locatie de meeste ruimte voor een eventuele geothermiebron in de toekomst. Dit maakt dit gebied het meest geschikt als startpunt van het warmtenet.

5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

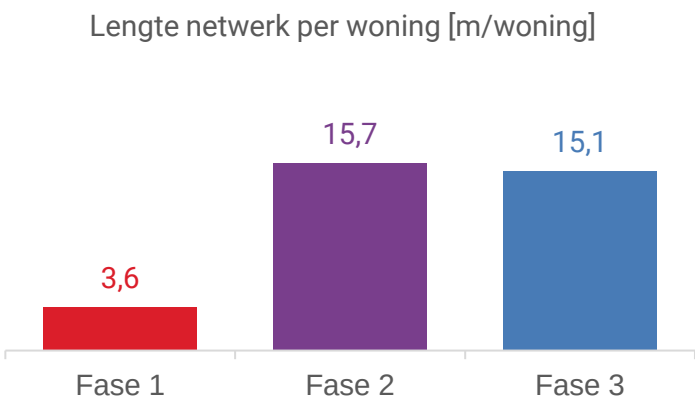
Mogelijk leidingtracé voor nieuw warmtenet in de Vogelwijk

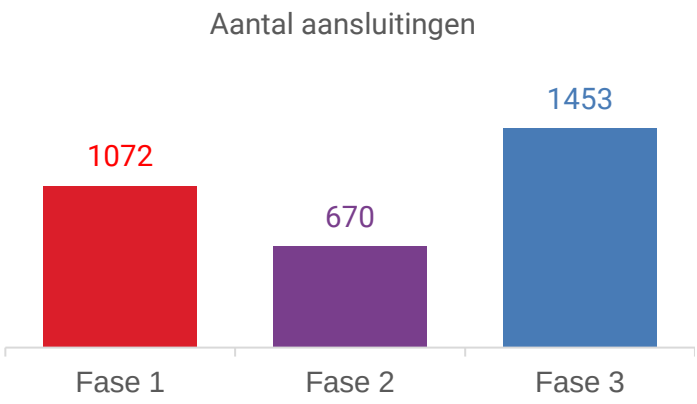




5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

Gefaseerde opbouw warmtecentrale en warmtenet





De aanleg van een warmtenet in de Vogelwijk is voor dit onderzoek in drie fases verdeeld. In de eerste fase worden de flats aan de Sportlaan en Ranonkel aangesloten. Er zijn meerdere redenen om dit gebied als startproject te gebruiken. Ten eerste hebben de flats een geconcentreerde warmtevraag, waardoor er met een klein netwerk (circa 3,9 km) een groot aantal woningen (1072) aangesloten kunnen worden. Een aantal van deze flats hebben al blokverwarming, waardoor ze gemakkelijk op een warmtenet aan te sluiten zijn. Een tweede reden is de nabijheid van de warmtebronnen. Veel warmtebronnen kunnen worden gerealiseerd in het gebied van RWZI Houtrust en een mogelijk tracé van een stedelijk warmtenet (Leiding door het midden) komt langs de noordoostelijke kant van de Sportlaan. Bijkomend voordeel is dat de riolering en het gasnet in dit deel van het gebied als eerste aan vervanging toe zijn. Door rioolvervanging of het verwijderen van het gasnet te combineren met de aanleg van een warmtenet kunnen kosten bespaard worden. Deze kostenbesparingen zijn nog niet verrekend in de business case. Het Haga ziekenhuis krijgt een herbestemming met functie wonen. Dit kan een potentieel grote afnemer van warmte zijn. Dit is nog niet in dit onderzoek meegenomen.

In fase 2 en 3 worden de grondgebonden woningen van de Vogelwijk aangesloten. Vanaf de Sportlaan worden verschillende leidingen naar de rest van de wijk gelegd. Door de ruime opzet van dit deel van de wijk is relatief veel leidinglengte nodig in verhouding met het aantal woningen. Wanneer fase 2 en 3 worden aangesloten, worden warmtebronnen als geothermie aantrekkelijk. Voor geothermie zijn grote investeringen nodig. Daarna kan echter op een kosteneffectieve manier warmte gewonnen worden en kan een grote CO_2 reductie gerealiseerd kan worden.

5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

Eerste blauwdruk business case

Om de kosten van het warmtenet in beeld te brengen is een business case opgezet voor de keten van warmte-opwekking, distributie en aansluitleidingen tot en met de afleversets in de woningen. Dit systeem wordt door een warmtebedrijf geëxploiteerd. Dit kan een marktpartij zijn maar ook een buurtwarmtemodel met participatie van bewoners.

Om een warmtenet rendabel te kunnen exploiteren is een sluitende business case een vereiste. De investeringen, de kosten van de productie en het transport van warmte moeten worden terugverdiend inclusief een bepaalde winstmarge. De inkomsten worden gegenereerd door een vergoeding van de bewoners aan het warmtebedrijf gaan betalen. We gaan uit van een eenmalige aansluitbijdrage voor aansluiting op het warmtenet (de BAK), en een jaarlijks bedrag dat bestaat uit een vastrecht en een bepaalde warmteprijs zoals samengevat in de tabel. Vooralsnog rekenen we met twee soorten jaarlijkse tarieven, namelijk de huidige tarieven van bijvoorbeeld Eneco en met de maximumtarieven die in de warmtewet afgesproken zijn ter bescherming van de consument (advies ACM).

De meest geschikte bron voor het warmtenet op langere termijn is geothermie. Deze bron is als uitgangspunt gekozen in de business case. Om de invloed van een andere bron voor een startproject te kwantificeren is een scenario opgesteld waarbij de bio WKK (of aquathermie in combinatie met een warmtepomp) als bron dient.

Als looptijd van de business case is 30 jaar gekozen en het gewenste financiële rendement is op 6% gesteld.

De BAK en de warmtetarieven zijn het resultaat van de business case. De BAK hangt af van veel verschillende factoren, zoals weergegeven op pagina 27.

*alle prijzen inclusief BTW		Maximale tarieven Warmtewet 2020	Eneco 2020
Vastrecht warmte	€/jaar	469,17	362,65
Huur warmtewisselaar	€/jaar	126,19	126,19
Meetkosten	€/jaar	26,63	26,63
Som vastrecht warmte aansluiting	€/jaar	621,99	515,47
GJ-tarief	€/GJ	26,06	25,43

5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

Scenario analyse business case

In de scenario-analyse is in de eerste drie scenario's stapsgewijs steeds een extra fase met een deel van de wijken toegevoegd. Wat opvalt is dat de gemiddelde BAK per woning voor fase 1 een stuk lager is dan de BAK voor fase 1 ,2 en 3 samen. De kosten voor het warmtenet zijn voor de flats in fase 1 laag in vergelijking met het warmtenet in de rest van de wijk, waardoor de aansluitingskosten laag zijn.

Om de kosten van de aansluitbijdrage te verlagen, is het van belang dat de vollooptijd beperkt blijft. Dit betekent dat alle woningen zo snel mogelijk moeten worden aangesloten nadat het warmtenet in de buurt is aangelegd. Bij een lange vollooptijd zullen de eerste jaren weinig inkomsten worden gegenereerd. De BAK moet dan hoger zijn om de business case rendabel te maken. Naast de lagere inkomsten wordt ook SDE subsidie misgelopen wanneer de vollooptijd lang is. Dit komt omdat de subsidie voor een bepaald aantal jaar loopt (15 jaar bij SDE) en de hoogte van de subsidie afhangt van de hoeveelheid geleverde warmte.

De scenario's 5 t/m 10 laten de prijsvariaties zien voor fase 1 en 2:

- Ook een hogere isolatiegraad van de woningen zorgt voor een hogere aansluitbijdrage. Doordat de warmtevraag van woningen lager is, zijn de inkomsten uit de verkoop van warmte lager. Om toch het warmtenet te kunnen bekostigen is daarom een hogere BAK nodig.
- Het tarief dat jaarlijks voor warmte wordt betaald heeft invloed op de BAK. Bij een lagere prijs voor de warmte zal de aansluitbijdrage hoger uitvallen. Het omgekeerde is ook het geval.
- In de business case wordt rekening gehouden met SDE subsidie voor de geothermiebron. Zonder deze subsidie zullen de kosten voor warmte hoger uitvallen. Met vastliggende jaarlijkse kosten wordt de BAK hierdoor hoger.

Scenario	Deel-wijk	Warmte-tarieven	Afname warmtevraag woningen na 30 jaar	Vollooptijd warmtenet [jaar]	BAK [€/woning] (incl BTW)
1. Alleen hoogbouw	1	ACM	20%	3	€ 6.200
2. Hoogbouw en gedeelte Vogelwijk	1, 2	ACM	20%	3	€ 9.900
3. Hoogbouw en geheel Vogelwijk	1, 2, 3	ACM	20%	3	€ 11.100
4. Hoogbouw en geheel Vogelwijk	1, 2, 3	ACM	20%	5	€ 12.400
5. Langzame volloop	1, 2	ACM	20%	7	€ 12.500
6. Grotere afbouw warmtevraag (meer schilisolatie)	1, 2	ACM	30%	3	€ 10.600
7. Lagere warmtetarieven	1, 2	Eneco	20%	3	€ 12.500
8. Geen SDE subsidie op geothermie	1, 2	ACM	20%	3	€ 13.400
9. Inflatie 3% door coronacrisis (i.p.v. 2%)	1, 2	ACM	20%	3	€ 8.500
10. Andere bron: Biogas van zuivering (TEA, warmterivier)	1,2	ACM	20%	3	€ 7.300

5. Warmtenet: schetsontwerp en business case

Scenario analyse business case

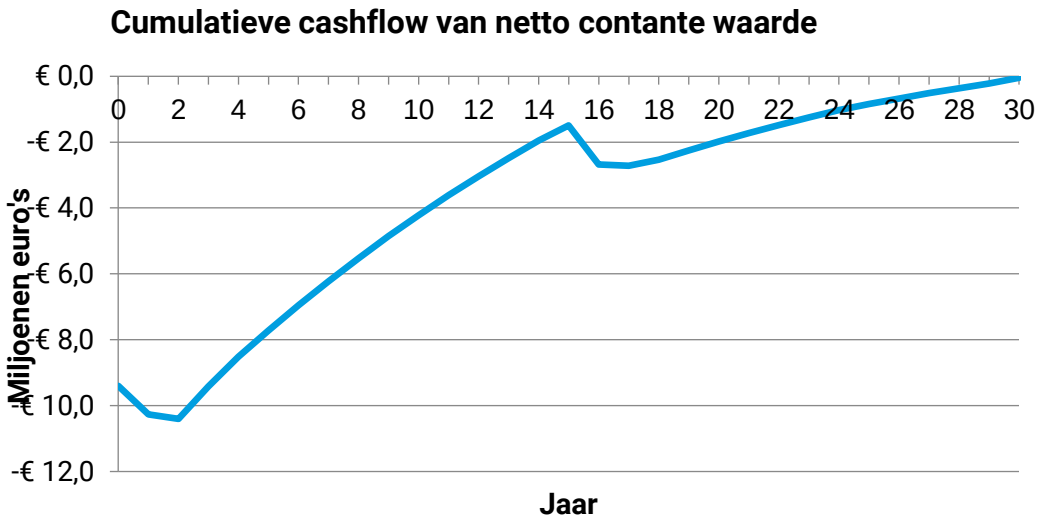
Vervolg:

- Bij een hogere inflatie, bijvoorbeeld door de coronacrisis, wordt de business case ruimer en kan de BAK lager worden. Dit komt omdat de schulden voor de investering in de bron minder waard worden door inflatie.
- Tot slot heeft ook de warmtebron die gekozen wordt invloed op de aansluitbijrage. Dit heeft vooral te maken met de ideale schaalgrootte van de verschillende bronnen. Voor een klein aantal aansluitingen warmte uit afvalwater in combinatie met een warmtepomp een financieel aantrekkelijke optie. In dit geval is de BAK lager dan wanneer geothermie als bron wordt gebruikt. Ook het gebruik van warmte van de warmte-kracht -koppeling (WKK) op biogas van Houtrust is een aantrekkelijke optie. Waarschijnlijk is deze optie nog goedkoper dan thermische energie uit afvalwater.
  Op de lange termijn zal geothermie de goedkoopste warmte leveren. De reden dat de BAK van geothermie hoger is komt doordat de investeringen hoog zijn, en een groot aantal aansluitingen nodig zijn om de bron kosten efficiënt te gebruiken.

Resultaten van de business case
De scenario-analyse tabel gaat uit van de gewogen gemiddelde BAK per woning. In onderstaande tabel is de BAK evenredig verdeeld over de fasen. Dus de fase die de kostenstijging veroorzaakt krijgt een dusdanige BAK toebedeeld dat al deze kosten gedekt zijn. In de kostenoverzichten die in hoofdstuk 5 worden uitgewerkt is uitgegaan van deze BAK bedragen per deelfase. Voor dit onderzoek is uitgegaan van een vollooptijd van 3 jaar voor fase 1 en 5 jaar voor het totaal.

Fase	BAK per fase (€/woning incl. BTW)
Fase 1	6.170
Fase 2	15.550
Fase 3	15.550

In de onderstaande figuur is de cashflow van de businescase voor Fase 1 weergegeven.



6. Conceptenvergelijking

6. Conceptenvergelijking

De drie alternatieven voor aardgas verder uitgewerkt

Introductie

Nu de wijk is geanalyseerd, de meest voorkomende woningen zijn vastgesteld en de kosten van een warmtenet bekend zijn, bepalen we het meest kansrijke aardgasvrije energieconcept per woningtype.

Om dit te bepalen is een *woningmodel* gebruikt. Dit model is opgezet uit oogpunt van de bewoners: De investeringen, aansluitkosten en jaarlasten staan centraal. De karakteristieken van de woningen als raamoppervlaktes, isolatiewaarden et cetera worden als invoer voor het model gebruikt. Het model is aangepast aan het huidige energieverbruik van de woningen. Dit is het startpunt voor het invoeren van de verschillende energieconcepten. Kosten en energieverbruik worden voor de verschillende concepten bepaald.

Het resultaat is het meest geschikte energieconcept op basis van CO_2-uitstoot en kosten voor de bewoners. Deze twee criteria worden kort toegelicht.

CO_2 emissie

Alle technieken zijn geschikt om 100% duurzame energie te leveren. In de eerste jaren zal de uitstoot echter niet nul zijn, omdat de mix van onze elektriciteit in Nederland nog niet volledig duurzaam wordt opgewekt. De mix van onze elektriciteit in Nederland is nog niet volledig duurzaam. Duurzame concepten die elektriciteit gebruiken, hebben daarom ook in de toekomst een bepaalde uitstoot. Het aandeel groene elektriciteit zal met de tijd groeien, waardoor de uitstoot van CO_2 per kWh lager wordt. Dit wordt weergegeven door de uitstoot in 2030 en 2050 te bepalen.
Het warmtenet wordt pas geheel emissieloos als alle elektriciteit duurzaam wordt opgewekt en de piekketel op termijn wordt vervangen door een duurzaam alternatief, bijvoorbeeld op waterstof of biogas.

Samengevat zijn de volgende scenario's bekeken:

- Huidige elektriciteitsmix: 0,43 kg CO_2 / kWh
- Elektriciteitsmix in 2030: 70% duurzame elektriciteit: 0,21 kg CO_2 / kWh
- Elektriciteitsmix in 2050: 100% duurzame elektriciteit: 0,0 kg CO_2 / kWh
- Elektriciteitsmix in 2050: piekketel vervangen door duurzaam alternatief.

TCO

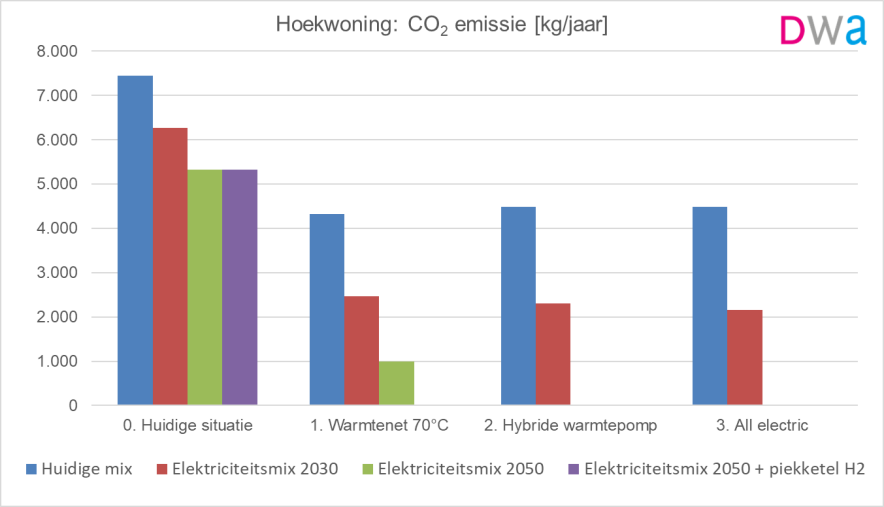
De kosten voor de bewoners worden uitgedrukt als de Total Cost of Ownership (TCO). Dit zijn de totale kosten voor een bepaald energiesysteem over een looptijd van 30 jaar. Voor bepaalde concepten zijn deze kosten met meer zekerheid te bepalen dan voor andere concepten. Door middel van een gevoeligheidsanalyse wordt daarom een bandbreedte berekend voor de TCO. Zo kan bekeken worden of de keuze voor een bepaald energieconcept robuust is en onder verschillende omstandigheden toegepast kan worden.

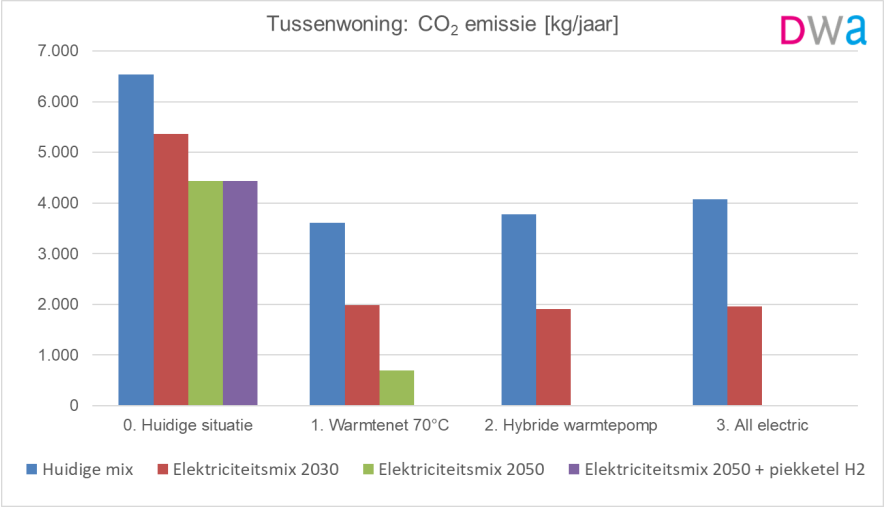
Overige aspecten

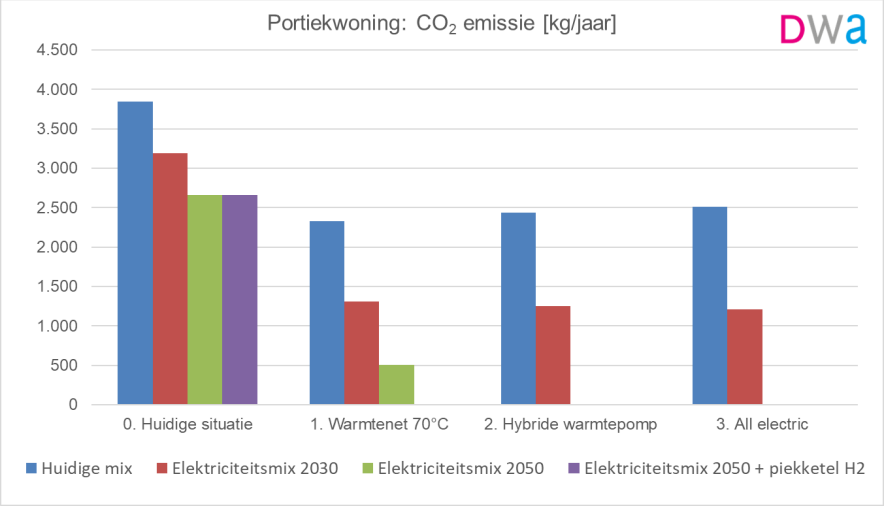
Behalve de kosten en de CO_2-uitstoot zijn veel andere aspecten van belang bij de keuze voor een bepaalde optie. Zijn er veel aanpassingen nodig aan de woning of moet de straat open voor aanpassingen aan de infrastructuur? Dit soort vragen dienen meegenomen te worden in de keuze voor een bepaald concept. Welke criteria hierbij doorslaggevend zijn is uiteindelijk aan de Vogelwijk zelf. Om te helpen bij deze keuze is een integrale afweging gemaakt.

6. Conceptenvergelijking

CO_2 emissie per woningtype voor elk energieconcept







6. Conceptenvergelijking

CO_2 emissie per woningtype voor elk energieconcept

De figuren op de vorige pagina geven de CO_2-uitstoot van de verschillende energieconcepten weer. Dit is de CO_2-uitstoot van de verwarming van de woning, tapwater en koken.

Deze uitstoot is voor verschillende scenario's bepaald, omdat de totale uitstoot van een concept af hangt van de uitstoot van de Nederlandse elektriciteitsmix. Het eerste scenario is de CO_2-uitstoot onder de *huidige* omstandigheden. Bij het toepassen van de technieken wordt direct minder CO_2 uitgestoten. Hierin is te zien dat een warmtenet met geothermie als bron de grootste besparing oplevert.

Met het verduurzamen van de elektriciteitsmix zal de uitstoot van de concepten verder afnemen. Voor de berekening is ervan uit gegaan dat in 2030 70% van de elektriciteit duurzaam wordt opgewekt, en 100% in 2050. Ook wordt er van uit gegaan dat waterstof duurzaam wordt opgewekt uit duurzame zon- en windenergie.

Warmtepompen hebben een grote elektriciteitsvraag. De uitstoot van de *all electric* optie en de hybride optie zullen daarom verder dalen in 2030. Wanneer de elektriciteitsmix volledig groen is, zal de uitstoot van deze concepten dalen naar nul in 2050.

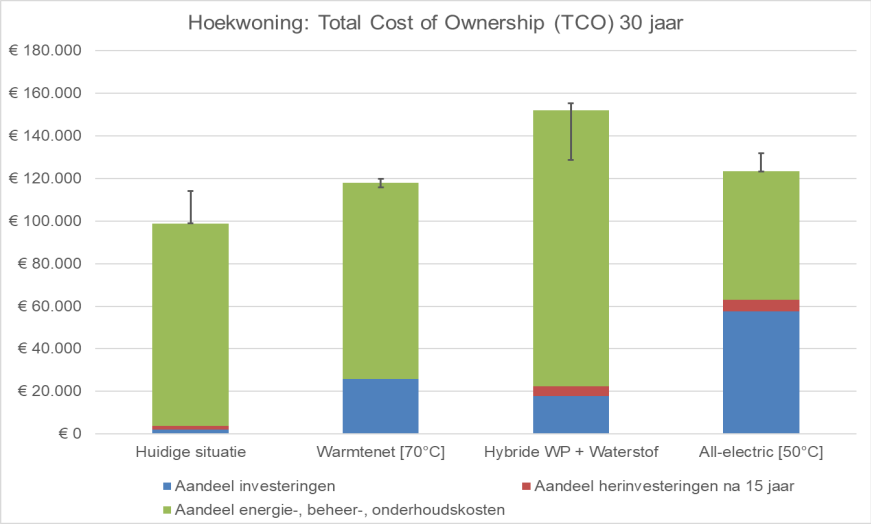
De uitstoot van een warmtenet met geothermiebron kan verder terug gebracht worden als groene stroom wordt gebruikt voor de pompen in de geothermiebron en het warmtenet. Dit is te zien in de reductie van de CO_2-uitstoot in 2030 en 2050. Bij een volledig groene elektriciteitsmix is de geothermiebron nog niet volledig emissieloos. Dit komt omdat de piekvoorziening op aardgas wordt gestookt. De piekvoorziening is nodig op het gewenste vermogen te leveren bij de hoogste warmtevraag gedurende de koudste dagen. In deze berekening is een conventionele piekketel op aardgas aangenomen die 15% van de energie opwekt.

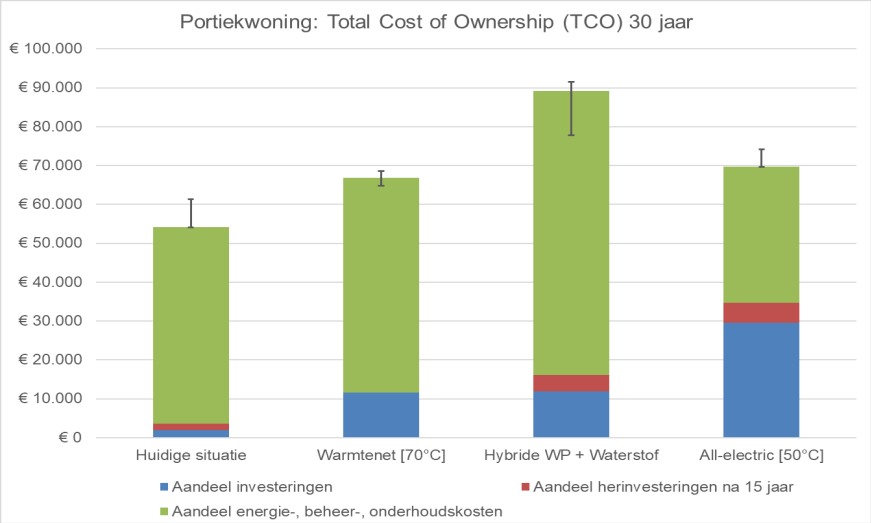
In de toekomst kan deze piekvoorziening omgebouwd worden zodat biogas of groene waterstof gebruikt kan worden. In dat geval zal ook de CO_2-uitstoot van het warmtenet op nul uitkomen in 2050.

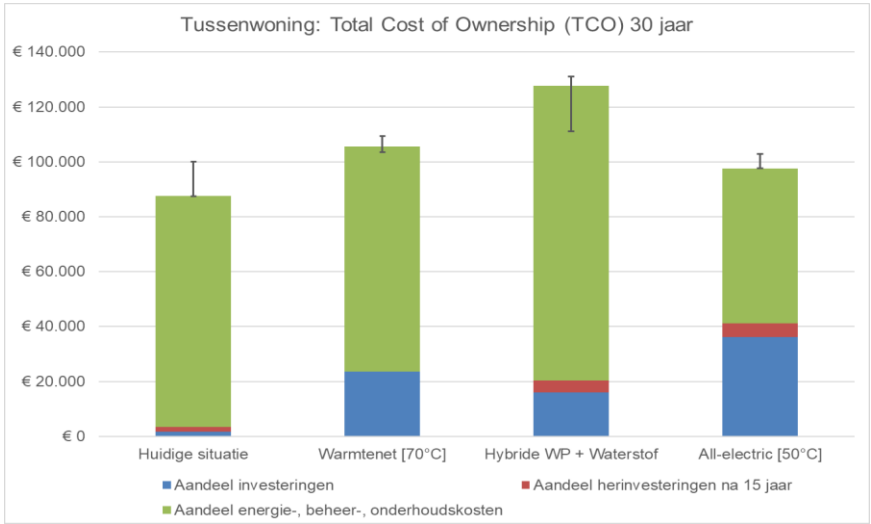
In het geval van een startproject zullen andere bronnen als geothermie worden gebruikt. Warmte van de bio-WKK of thermische energie uit afvalwater van houtrust zijn dan de meest voor de hand liggende opties. De uitstoot van de bio-WKK is vergelijkbaar met die van geothermie (rond de 22 kg CO_2/GJ). Thermische energie uit afvalwater zal echter een grotere uitstoot hebben door het gebruik van een warmtepomp. Hierdoor zal de uitstoot hoger zijn in vergelijking met geothermie of biogas (ongeveer 48 kg CO_2/GJ).

6. Conceptenvergelijking

Total cost of ownership (TCO)







Uitgangspunten bij de berekening:

Looptijd	30 jaar
Discontovoet	3,0 %
Indexatie aardgasprijs	2,5 % inclusief inflatie
Indexatie elektriciteitsprijs	2,0 % inclusief inflatie
Indexatie onderhoudskosten	2,0 % inclusief inflatie
Indexatie waterstof	0,0 % inclusief inflatie

NB: De bedragen zijn inclusief btw en inclusief subsidies. In bijlage II is de uitsplitsing en onderbouwing van deze bedragen uitgewerkt.

6. Conceptenvergelijking

Total cost of ownership (TCO)

De kosten voor de energieconcepten zijn samengevat in de 'Total cost of ownership' of: TCO. Het zijn de *totale kosten die een bewoner betaalt voor een het energieconcept over een looptijd* van 30 jaar. De TCO is bepaald vanuit het oogpunt van de *bewoner*. Het bestaat uit alle investeringen die een bewoner moet doen om aardgasvrij te worden, de jaarlijkse onderhouds- en energiekosten. Daarin zijn zowel de kosten voor het verwarmen van de woning als het huishoudelijke elektriciteitsverbruik meegenomen.

Aan de hand van de TCO voor de verschillende woningtypen is te zien dat de opties dicht bij elkaar liggen wat betreft kosten, zie pagina 33. De TCO van de aardgasvrije opties liggen allemaal hoger dan die van de huidige situatie met aardgas, uitgaande van de huidige aardgasprijs.

- Voor de *portiekwoning* (flats Sportlaan) is een warmtenet met een geothermiebron het energieconcept met de laagste kosten. Door de hoge bebouwingsdichtheid kan met een klein netwerk veel huizen worden aangesloten. Een startproject met een andere bron (biogas van rioolwaterzuivering Houtrust) kan de kosten nog verder verlagen.
- Voor de *grondgebonden* woningen van de Vogelwijk is de keuze minder duidelijk. Voor tussenwoningen is een luchtwarmtepomp (*all electric*) de beste optie, terwijl de hoekwoningen beter kunnen worden aangesloten op een warmtenet. Dit verschil is waarschijnlijk te verklaren door de grote warmtebehoefte van de hoekwoningen. Hierdoor valt een warmtenet ondanks de ruime opzet van de wijk voor dit woningtype goedkoper uit.

Voor de grondgebonden woningen van de Vogelwijk kunnen zowel een warmtenet of een luchtwarmtepomp gekozen worden. *Houd hierbij rekening dat er voor één energieconcept gekozen moet worden voor de hele wijk*.

Wanneer verspreid in de wijk liggende woningen op luchtwarmtepompen overstappen, wordt het warmtenet voor de resterende woningen duurder.
De opbouw van de TCO verschilt voor de energieconcepten. Voor een warmtenet is voor de bewoners een investering nodig in de vorm van een aansluitbijdrage (BAK), en worden jaarlijks kosten in rekening gebracht voor de geleverde warmte.

Bij het warmtenet bestaan de investeringen uit de aansluitbijdrage die aan een warmteleverancier wordt betaald. De jaarlijkse kosten bestaan uit de kosten voor de geleverde warmte.

De hybride oplossing heeft de laagste investeringskosten, omdat er geen aanpassingen aan de woning nodig zijn. De jaarlijkse energiekosten zijn echter hoog door een hoger elektriciteitsverbruik en gebruik van waterstof.
De hybride oplossingen is voor alle woningtypen de duurste optie. Dit in tegenstelling tot de resultaten van de startanalyse van het PBL, waarin waterstof als meest kosteneffectieve optie naar voren kwam. Dit komt waarschijnlijk door de lage prijs van waterstof in de startanalyse, waar geen rekening is gehouden met winst van producenten, belastingen en marktwerking.

De *all electric* oplossing heeft de grootste investering nodig. Vergaande isolatie en aanpassingen in het CV-systeem zijn nodig. In de berekening wordt er van uitgegaan dat dit gedaan wordt tijdens een renovatiemoment, waardoor de kosten lager zijn. Wanneer de aanpassingen buiten renovatie om gedaan worden zal de TCO verder oplopen. Door de goede isolatie is minder warmte nodig, waardoor de jaarlasten bij deze optie laag zijn.

6. Conceptenvergelijking

Gevoeligheidsanalyse op de TCO

In het woningmodel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Het resultaat is weergegeven in de tabel en in de spreidingsbalken van de TCO figuren.
De conclusies die hieruit volgen zijn:

- In het geval dat *subsidies* wegvallen, blijven de conclusies gelijk. Voor de Sportlaan blijft een warmtenet de beste optie, voor de grondgebonden woningen van de Vogelwijk blijft de keuze open. Wel worden de verschillen tussen hybride en de *all electric* oplossing nog groter.
- Bij een *hogere BAK* zal een warmtenet het minder goed doen. In dat geval zijn de opties warmtenet en *all electric* even duur voor de portiek-woningen. Voor de grondgebonden woningen wordt *all electric* financieel het meest aantrekkelijk. Voor een startproject met bioWKK kan een lagere BAK worden gerealiseerd.
- Een grote onzekerheid is de *prijs van waterstof* in de toekomst. In scenario B is een lagere waterstofprij gehanteerd (6,66 € /kg) op basis van groene waterstof geproduceerd uit piekstroom. In dit geval zal het hybride concept het beter doen, maar blijft duurder dan de andere opties.
- Als scenario zijn ook de (ruw ingeschatte) *maatschappelijke kosten voor aanpassingen aan de netwerken* meegewogen. Dit betreft het verwijderen aardgasnet (aanname 1.573 €/woning), verzwaren elektriciteitsnet (aanname 2.420 €/woning) of het aanpassen van het gasnet naar waterstof (aanname 605 €/woning). In dit geval zullen vooral de kosten voor all-elektric hoger uitvallen, omdat het elektriciteitsnet verzwaard moet worden en het gasnet verwijderd moet worden.
- Diverse grondgebonden woningen hebben nog *stalen kozijnen*, zodat ook de kozijnen moeten worden vervangen. Als die kosten worden meegewogen wordt een warmtenet voor ook voor de grondgebonden woningen de goedkoopste optie.

	1. Warmtenet 70°C	2. Hybride warmtepomp	3. All electric
Basisscenario			
Hoekwoning	€ 118.000	€ 151.900	€ 123.400
Tussenwoning	€ 105.600	€ 127.800	€ 97.700
Portiekwoning	€ 66.800	€ 89.200	€ 69.700
Zonder subsidies			
Hoekwoning	€ 119.000	€ 155.300	€ 127.600
Tussenwoning	€ 106.500	€ 131.100	€ 101.200
Portiekwoning	€ 66.800	€ 91.500	€ 72.200
BAK 25% hoger			
Hoekwoning	€ 122.200	€ 151.900	€ 123.400
Tussenwoning	€ 109.500	€ 127.800	€ 97.700
Portiekwoning	€ 68.500	€ 89.200	€ 69.700
Waterstofprijs 6,6 euro / kg (incl BTW)			
Hoekwoning	€ 118.000	€ 128.600	€ 123.400
Tussenwoning	€ 105.600	€ 111.200	€ 97.700
Portiekwoning	€ 66.800	€ 77.800	€ 69.700
Inclusief maatschappelijke kosten netwerkaanpassingen			
Hoekwoning	€ 119.700	€ 152.600	€ 127.800
Tussenwoning	€ 107.200	€ 128.400	€ 101.600
Portiekwoning	€ 68.500	€ 89.800	€ 74.100
Isolatie duurder (hele kozijn vervangen)			
Hoekwoning	€ 118.000	€ 151.900	€ 131.800
Tussenwoning	€ 105.600	€ 127.800	€ 102.900
Portiekwoning	€ 66.800	€ 89.200	€ 69.700

6. Conceptenvergelijking

Meest kansrijke concepten

Op basis van de resultaten van het woningmodel kan worden geconcludeerd dat voor de Sportlaan een warmtenet de beste optie is als we kijken naar kosten en CO_2-uitstoot. Voor de grondgebonden woningen van de Vogelwijk liggen de resultaten echter dichter bij elkaar, en zijn zowel een warmtenet als het toepassen van de *all electric* oplossing geschikt.

In dit gebied moet daarom een keuze gemaakt worden tussen één van de twee energieconcepten. Het aanleggen van een warmtenet voor de helft van de woningen die verspreid liggen in een buurt is namelijk niet rendabel. Omdat de twee opties qua kosten en emissie dicht bij elkaar liggen, zal er per buurt daarom een keuze gemaakt moet worden op basis van andere criteria. Om te helpen bij deze keuze is een overzicht gemaakt van verschillende criteria. Per criteria is aangegeven hoe de energieconcepten scoren. De onderbouwing van deze tabel is te vinden in de bijlagen.

Beide concepten voor de grondgebonden woningen van de Vogelwijk hebben eigen voor- en nadelen. Voor *all electric* zijn ingrijpende maatregelen in de woning nodig. Isolatie moet onder andere aan de binnenkant van de woning worden aangebracht, waardoor dit alleen gecombineerd kan worden met een grootschalige renovatie van de woning. Ook moet de CV-installatie worden aangepast en moet een warmtepomp worden geplaatst. Voordeel van dit concept is dat men vrij is een eigen systeem aan te leggen en dat de jaarlasten laag zijn.

Voor een warmtenet zijn daarentegen veel aanpassingen in de wijk nodig. De straat moet open voor de aanleg van een warmtenet. Ook is het van belang dat het merendeel van de bewoners zich aansluiten op het warmtenet. Een warmtenet kent echter ook veel voordelen. In de woning zijn de aanpassingen beperkt. Er dient alleen een afleverset geplaatst te worden. Isoleren is voor dit concept geen voorwaarde. Tot slot kunnen met warmtenetten verschillende duurzame warmtebronnen gebruikt worden. De meeste geschikte bron voor het warmtenet is geothermie. De kosten van deze techniek is laag, en er is een grote reductie van CO_2. Andere bronnen zoals het gebruik van warmte van de WKK van Houtrust op biogas of het gebruik van restwarmte uit afvalwater behoren ook tot de mogelijkheden.

6. Conceptenvergelijking

Integrale afweging *(bedragen inclusief btw, prijspeil 2020)*

	Huidige situatie		Concept1: Warmtenet 70°C		Concept 2: Hybride warmtepomp met waterstof ketel		Concept 3: All electric Lucht warmtepomp	
Financieel	Flats	Grond-gebonden	Flats	Grond-gebonden	Flats	Grond-gebonden	Flats	Grond-gebonden
Investering in de woning:	€ 2.000	€ 2.000	€ 11.500	€ 24.750	€ 12.000	€ 17.000	€ 29.500	€ 47.000
Jaarlijkse lasten per woning	€ 1.680	€ 3.000	€ 1.850	€ 2.950	€ 2.450	€ 4.050	€ 1.150	€ 1.950
Total Cost of Ownership (30 jaar)	€ 54.000	€ 93.250	€ 67.000	€ 113.250	€ 89.000	€ 142.500	€ 69.750	€ 110.500
Milieu-effecten								
CO_2 emissie (kg/jaar) 2020	3.660	6.785	2.250	3.905	2.340	4.040	2.510	4.330
Geluidsoverlast woningen	niet		niet		beperkt		beperkt	
Veiligheid	gas in huis				gas in huis			
Praktische aspecten								
Aanpassingen aan woning	niet		beperkt		beperkt		veel	
Extra ruimtebeslag in de woning	niet		niet		beperkt		veel	
Overlast in de straat	niet		groot		niet		beperkt	
Ruimtebeslag collectieve energiecentrale	niet		groot		niet		niet	
Afhankelijkheid en organisatie								
Actieve rol bewoners vs verzorgend	niet		verzorgend		actieve rol		zeer actieve rol	
Afhankelijkheid	gasprijs		warmteleverancier		waterstofproductie		elektriciteitsprijs	
Tijdstip warmteoptie			na collectieve keuze		eerst hybride wp plaatsen, waterstof is verre toekomst		bij woningrenovatie	
'Lokale' warmtebron	niet lokaal		lokaal		beperkte mate lokaal		beperkte mate lokaal	
Toekomstbestendigheid	niet toekomstbestendig		flexibele bronkeuze		onzekerheid waterstof		*all electric* flexibiliteit	

7. Faseringsplan en vervolgstappen

7. Faseringsplan en vervolgstappen

Starten en dan doorgroeien

In hoofdstuk 5 is al kort beschreven dat de Vogelwijk in verschillende fases op een warmtenet aangesloten kan worden.

Uit de bronnenstudie kwam naar voren dat een warmtenet met geothermie als bron de beste optie is. Een warmtenet met geothermie als bron heeft echter een 'kip-ei' probleem. Het duurt een bepaalde periode voordat alle woningen zijn aangesloten op een warmtenet. Voor de eerste aansluitingen is al wel een geschikte warmtebron nodig. Een geothermiebron heeft een groot vermogen en kan meerdere wijken van warmte voorzien. De bron is echter pas rendabel bij een groot aantal aangesloten woningen. Dit komt omdat de investeringen in geothermie groot zijn. Ook voor SDE subsidie die verkrijgbaar is op geothermische warmte is het van belang dat er direct veel aansluitingen zijn. De SDE subsidie hangt af van de hoeveelheid geleverde warmte, en loopt over een periode van 15 jaar. Wanneer in de eerste jaren weinig woningen zijn aangesloten, wordt dus een grote hoeveelheid subsidie misgelopen.

Startproject Sportlaan
Om het probleem te doorbreken wordt de volgende aanpak voorgesteld. Voor de flats aan de Sportlaan is een warmtenet de duurzaamste en financieel meest aantrekkelijke optie, dus wordt aangeraden hier te starten met een projectomvang van 500 tot 1.000 woningen. Als bron voor dit warmtenet zijn verschillende lokale opties mogelijk: restwarmte van de biogas WKK van Houtrust en de thermische energie uit het effluent van Harnaschpolder in combinatie met een centrale warmtepomp.

Gestart kan worden met de flats die zich aan de noordoostelijke kant van de Sportlaan bevinden. Deze flats hebben blokverwarming, waardoor ze gemakkelijk op een warmtenet aan te sluiten zijn. Bijkomend voordeel is dat de riolering en het gasnet in dit deel van het gebied als eerste aan vervanging toe zijn. Door rioolvervanging of het verwijderen van het gasnet te combineren met de aanleg van een warmtenet kunnen kosten bespaard worden. Beide voordelen zijn nog niet verrekend in de business case.

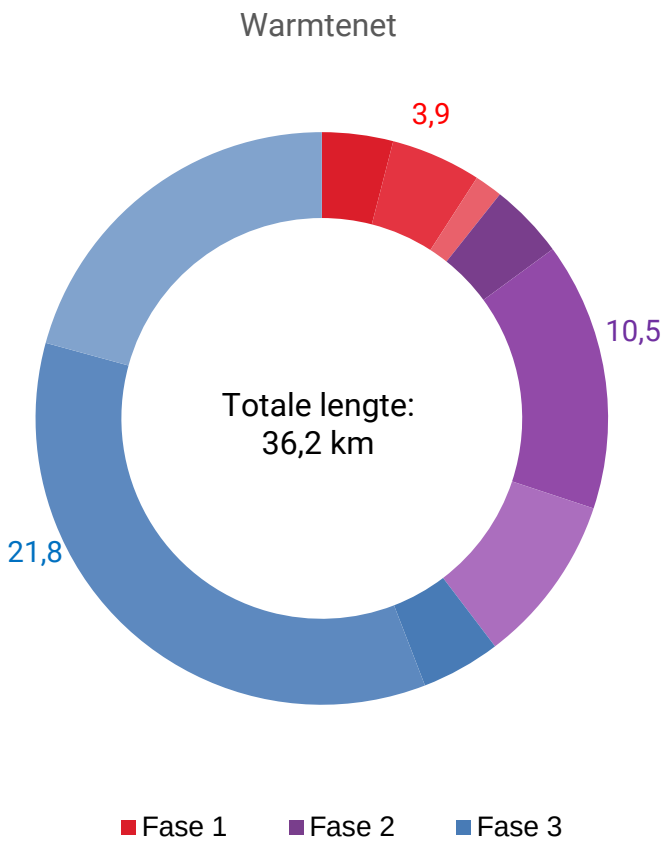
Groei naar de rest van de wijk
Op termijn kan het aantal aansluitingen op het warmtenet groeien tot aan de Ranonkel. Ook in aanliggende wijken, zoals Statenkwartier en Vruchtenbuurt kan in deze tijd een warmtenet aangelegd worden. Omdat de warmte bij een warmtenet op een centraal punt wordt opgewekt, kan van bron gewisseld worden zonder aanpassingen in de wijk. Op een gegeven moment zijn er genoeg aansluitingen en kan geothermie als bron worden gebruikt. Ook stedelijke en regionale opties als de 'Leiding door het midden' kunnen dan als bron dienen. Zo blijft het warmtesysteem flexibel voor de toekomst!

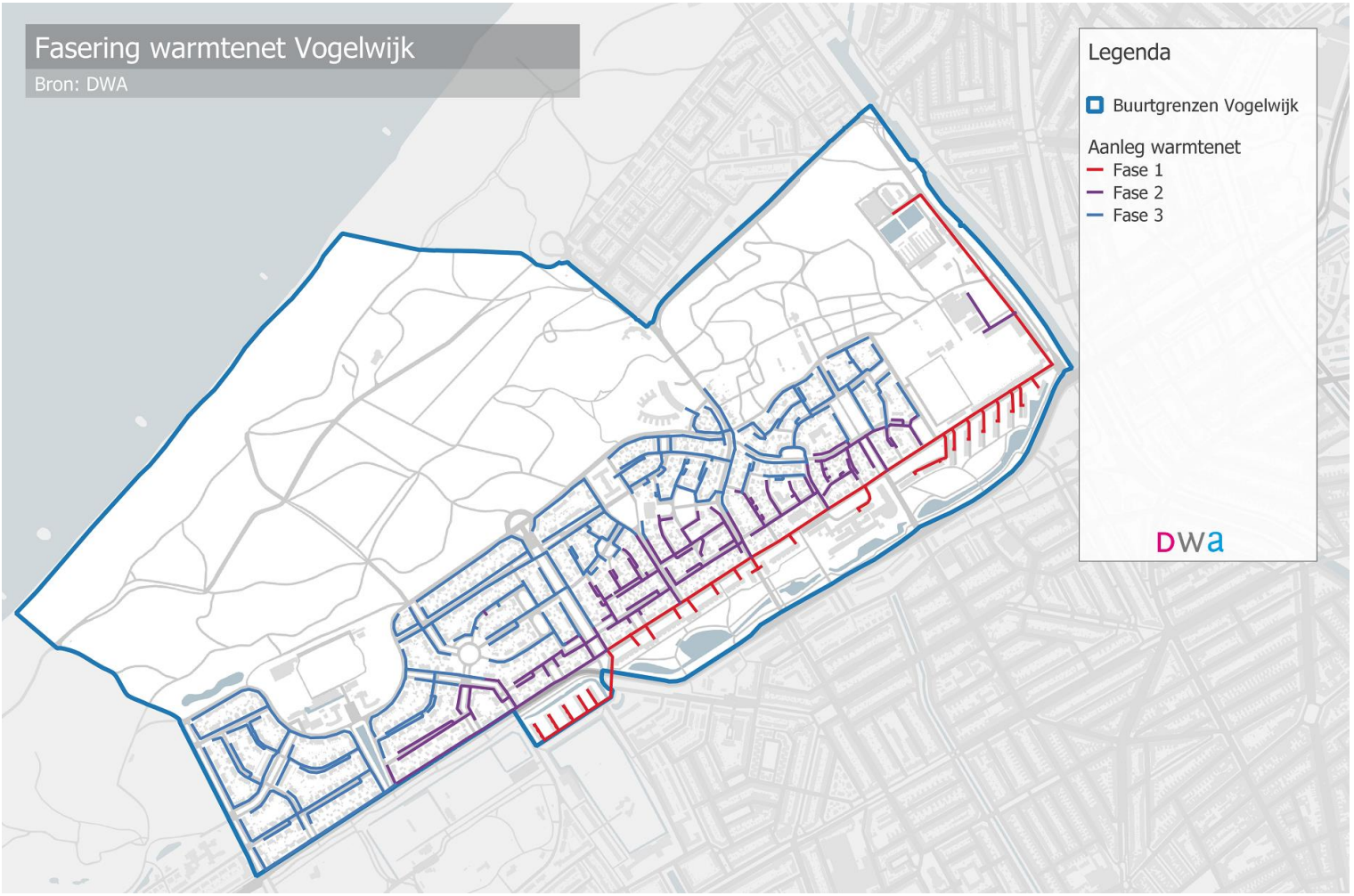
Voor de grondgebonden woningen van de Vogelwijk kan gekozen worden om deze ook aan te sluiten op het warmtenet of dat de *all electric* optie gekozen wordt. Voor het warmtenet is van belang dat per buurt voor één concept gekozen wordt en dat deze vlakbij fase 1 ligt. Als bijvoorbeeld maar een deel van de verspreid in een buurt liggende woningen wordt aangesloten op het warmtenet zullen de kosten hoger worden.

Het ligt voor de hand om in fase 1 met een warmtenetwerk te beginnen. Als door verdergaande ontwikkelingen, inzichten dan blijkt dat het toch minder interessant is om ook de grondgebonden woningen in de wijk van een warmtenet te voorzien, kan daar dan alsnog voor één van de andere aardgasvrije concepten gekozen worden.

7. Faseringsplan en vervolgstappen

Groeimodel warmtenetten





7. Faseringsplan en vervolgstappen

Transitiepaden

Het pad naar een duurzame toekomst is vaak nog onbekend. Toch willen we vandaag al keuzes gaan maken en beginnen met de energietransitie. Bij deze keuze moeten we er rekening mee houden dat we opties niet te snel afschrijven. Om dit allemaal in beeld te brengen zijn de paden vastgelegd in het figuur 'Transitiepaden' op pagina 42, waarin de route naar een duurzame toekomst is weergegeven.

Het figuur wordt van links naar rechts gelezen. Net als in de gewone wereld kan je (helaas) niet terug in de tijd. Links is de huidige situatie weergegeven, namelijk het gebruik van aardgas. Rechts is de toekomst met wenselijke technieken. Alles daartussen is de route die gelopen kan worden.

Het figuur kan het best uitgelegd worden aan de hand een voorkeursroute, weergegeven met gele arcering. In het geval van de Vogelwijk is een warmtenet op 70 °C de beste optie. Dit is dan ook de eindtechniek van deze route.

Er wordt aangeraden te beginnen met voorbereidingen voor de aanleg van een warmtenet. Op dit warmtenet kan eerst een lokale bron worden aangesloten. Op termijn kan het warmtenet worden aangesloten op een stedelijk warmtenet of op grote duurzame bron als geothermie. Tot slot kan gekeken worden of de piekvoorziening verduurzaamd kan worden.

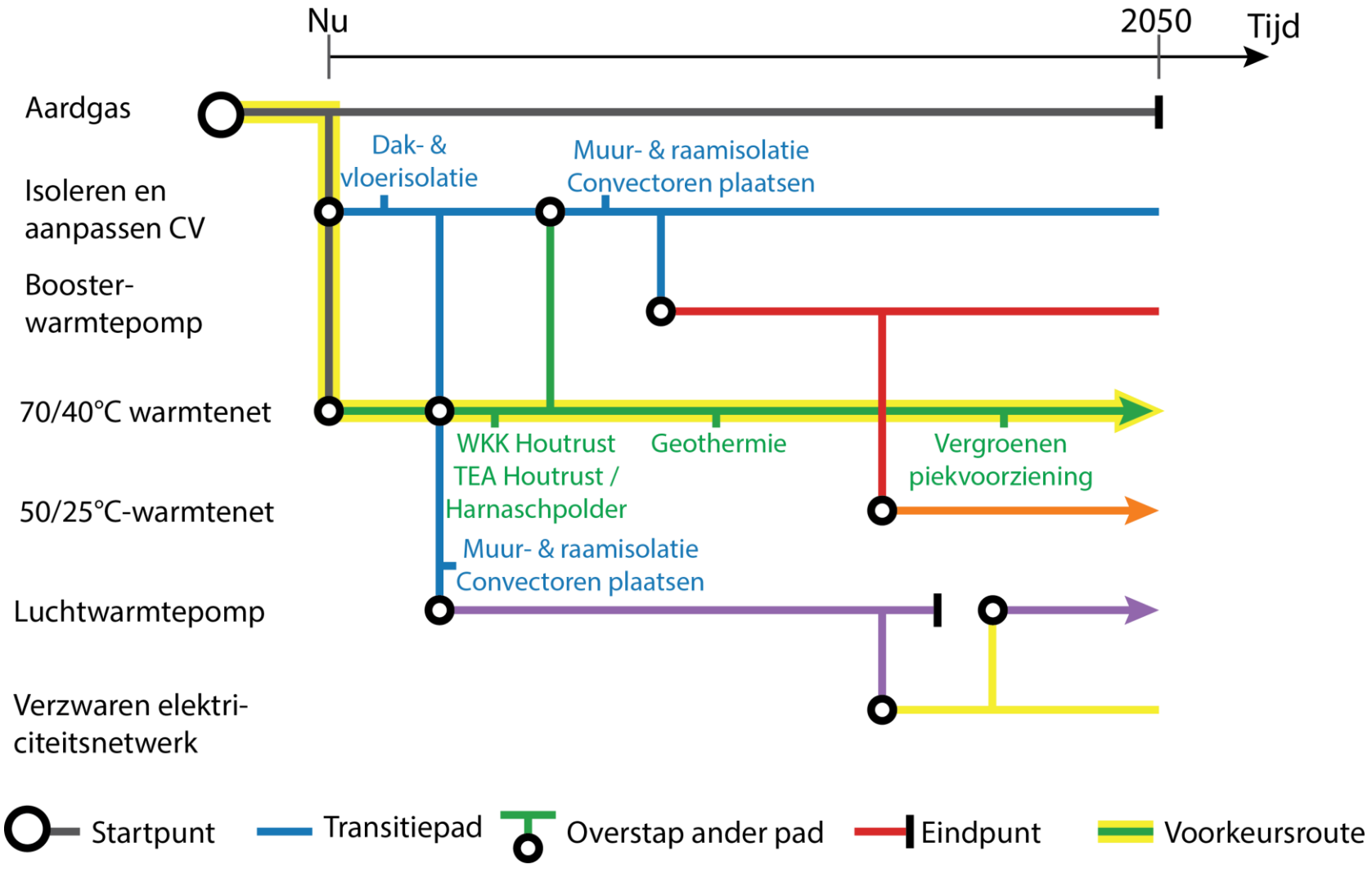
Het figuur laat ook goed zien dat er flexibiliteit zit in de keuzes. Er kan bijvoorbeeld van de voorkeursroute afgeweken worden door eerst beperkt te isoleren. De optie voor geothermie blijft dan open. Voor de grondgebonden woningen is de keuze voor een warmtenet of *all electric* oplossingen nog open.

Ook gaf het wijkteam aan te willen kijken naar een netwerk op lagere temperatuur, zodat ook lage temperatuurbronnen kunnen worden aangesloten. In het figuur is te zien dat, na ingrijpende isolatie en het installeren van een boosterwarmtepomp in de woningen, deze stap gemaakt kan worden. De investering in goede isolatie en een warmtepomp is ook nodig voor *all electric* oplossingen.

Tot slot is weergegeven dat als voor één concept gekozen is, er niet meer voor het andere concept gekozen kan worden. Wel is het mogelijk voor één techniek te kiezen in het ene deel van de wijk en een andere techniek voor het andere deel van de wijk. Hierbij moet wel in acht worden genomen dat een warmtenet aan de Sportlaan een vereiste is voor de aanleg van een warmtenet voor de grondgebonden woningen.

7. Faseringsplan en vervolgstappen

Transitiepaden



7. Faseringsplan en vervolgstappen

Vervolgstappen in de Vogelwijk

In dit rapport zijn de meest geschikte warmtebronnen voor een warmtenet bepaald en is de business case voor een warmte exploitant doorgerekend. Voor de verschillende woningtypen is het meest kansrijke energieconcept bepaald. Voor de portiekwoningen is de meest aantrekkelijke keuze een warmtenet met als bron restwarmte uit de biogas-WKK of aquathermie als bron. Geothermie is op de lange termijn de meest duurzame en kosteneffectieve optie. Voor de grondgebonden woningen moet een keuze gemaakt worden, omdat de concepten dicht bij elkaar liggen.

Het is daarom van belang de bewoners van de wijk bij het proces te betrekken. Aan de hand van de berekende besparing op CO_2, totale kosten van de energieconcepten en overige aspecten is een overzichtelijk kader geschept. Welke aspecten uiteindelijk doorslaggevend zijn is aan de bewoners van de wijk. Zowel de keuze voor een warmtenet als de keuze voor een *all electric* oplossing hebben grote invloed op de buurt en haar bewoners. Het is daarom van belang al in de een vroeg stadium de bewoners te betrekken om te peilen welk energieconcept de voorkeur heeft en op draagvlak per buurt kan rekenen. Voor de Sportlaan is het van belang draagvlak en enthousiasme te creëren onder de bewoners voor een warmtenet.

De kosten van alle aardgasvrije opties liggen allemaal hoger dan die van de huidige situatie met aardgas. Om de transitie mogelijk te maken, zijn aanvullende financiële instrumenten nodig, zoals subsidies en langlopende laagrentende leningen. Met name voor de financiering van warmtenetten kan een langlopende lening (> 30 jaar) een positieve impact leveren op de business case. Mogelijk kan de gemeente daar een rol in vervullen.

In het geval van een warmtenet zal de warmte aan de bewoners geleverd worden door een externe partij. Hiervoor zijn verschillende organisatie-modellen te bedenken, elk met eigen voor- en nadelen. Deze organisatie modellen worden kort besproken in het volgende hoofdstuk. Tijdens het participatieproces wordt aangeraden ook over dit onderdeel na te denken.

7. Faseringsplan en vervolgstappen

Tot slot: warmte-exploitatie - zelf doen of laten doen?

De warmte-exploitatie in het geval van een warmtenet kan op verschillende manieren geëxploiteerd worden, elk met eigen voor en nadelen. De volgende opties worden nader bekeken:

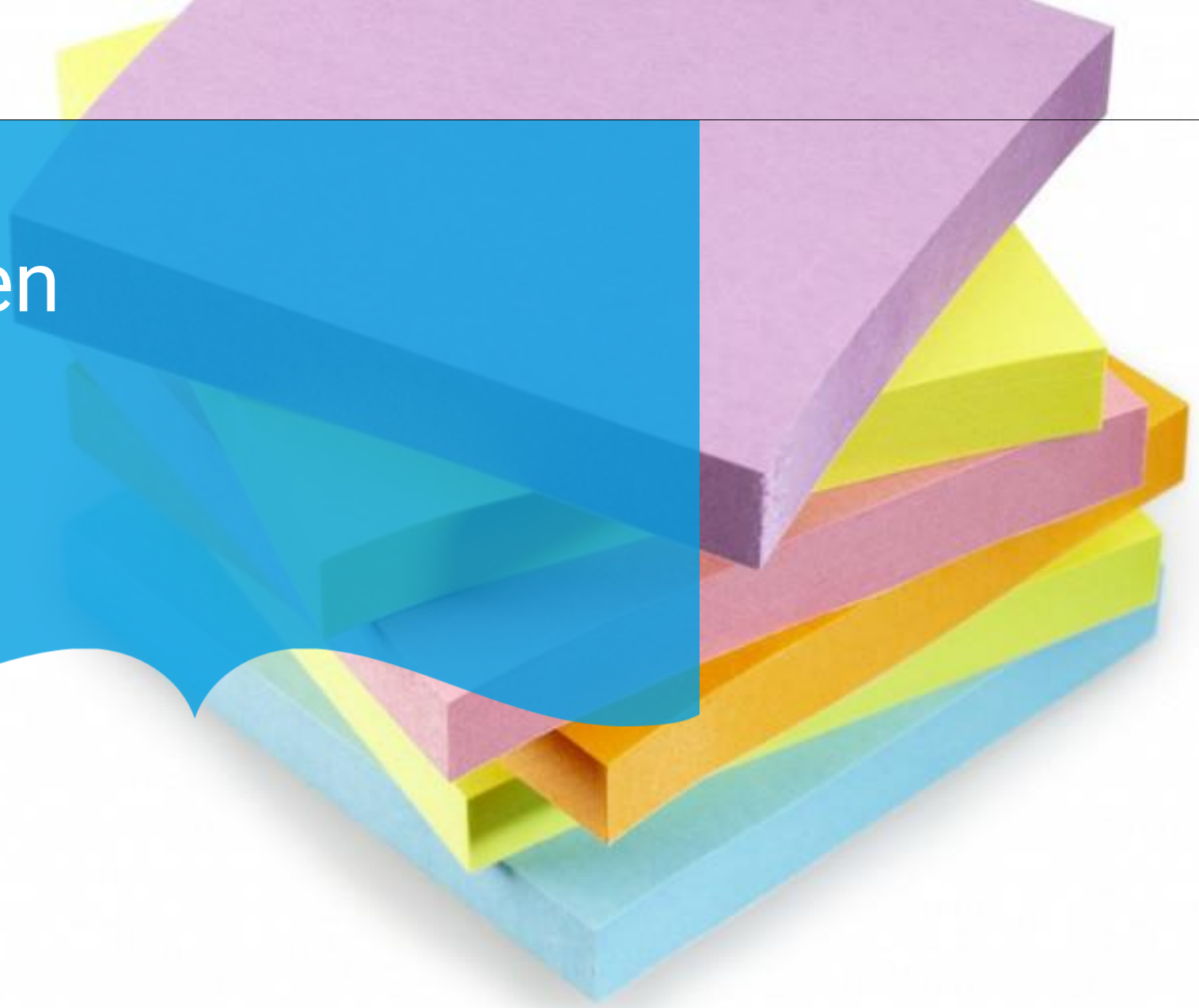
- *Coöperatiemodel*: In dit model ligt het eigendom warmtesysteem (voor een deel) bij bewoners, die verenigd zijn in een coöperatie. Een coöperatie heeft verschillende voordelen. Zo kan het financieel rendement lager zijn, waardoor voordelige tarieven gerekend kunnen worden. De keuze voor de bron en de aanleg van het netwerk kan voor een groot deel door de wijk bepaald worden. Hierdoor is de wijk vrij in de toekomst andere bronnen te gebruiken voor het netwerk. Nadelen van de coöperatie is dat de risico's voor de warmtelevering voor een deel bij de bewoners liggen. Daarnaast is vaak de kennis en ervaring voor het beheer en onderhoud niet aanwezig.

- *Outsourcing*: Een andere optie is het volledig outsourcen van de warmtelevering. Door het volledig uitbesteden van de warmtelevering wordt het risico bij de bewoners weggelegd. Nadeel is dat de inbreng van de wijk in de ontwikkeling van het netwerk en de gebruikte bron beperkt zijn.

- *Splitsingmodel*: Een derde optie is het splitsen van de warmtelevering in een publiek deel en een commercieel deel. Een publieke partij (de gemeente of een stichting) beheert in dat geval het warmtenet. Aan dit netwerk kunnen exploitanten warmte leveren. Hierdoor kunnen meerdere bronnen worden aangesloten. Door een laag financieel rendement op het warmtenet zou de aansluitbijdrage omlaag kunnen.

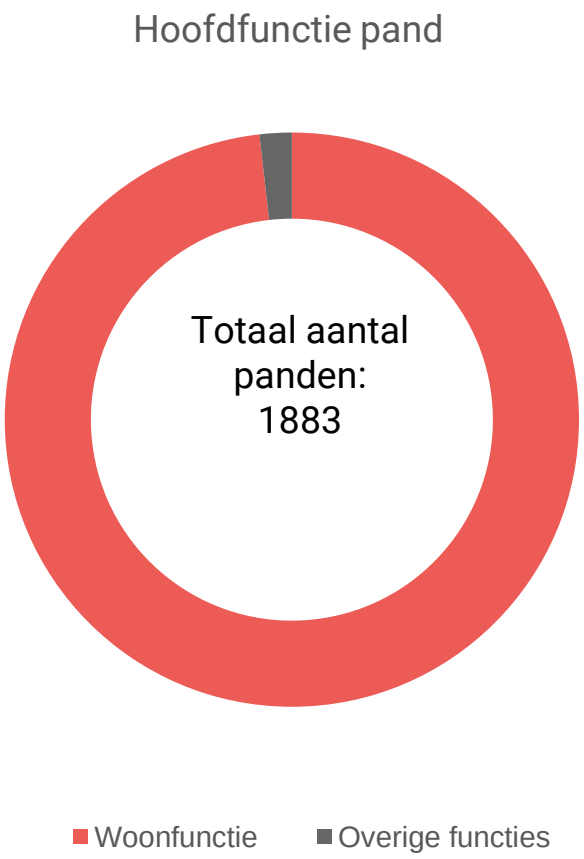
	Coöperatie-model	Outsourcing
Benodigd financieel rendement	Laag (3 a 4%)	Hoog (>6%)
Risico's	Zelf dragen	Weggelegd
Draagvlak particulier	Meer draagvlak	Argwaan richting monopolist
Draagvlak huurders	Draagvlak is lastig	Ontzorging
Onderhouds- en beheerkosten	Hoger door inhuur	Lager door interne expertise en schaalgrootte
Kennis en ervaring	Niet tot nauwelijks (inhuur nodig)	Aanwezig
Ontwikkelen / groeien	Aandeelhouder gedreven	Business case gedreven
Stimulans tot het optimaliseren van het systeem	Aandeelhouder gedreven	Business case gedreven
Stimulans tot het verhelpen van storingen	Geen eenduidige stimulans	Boeteclausule warmtewet

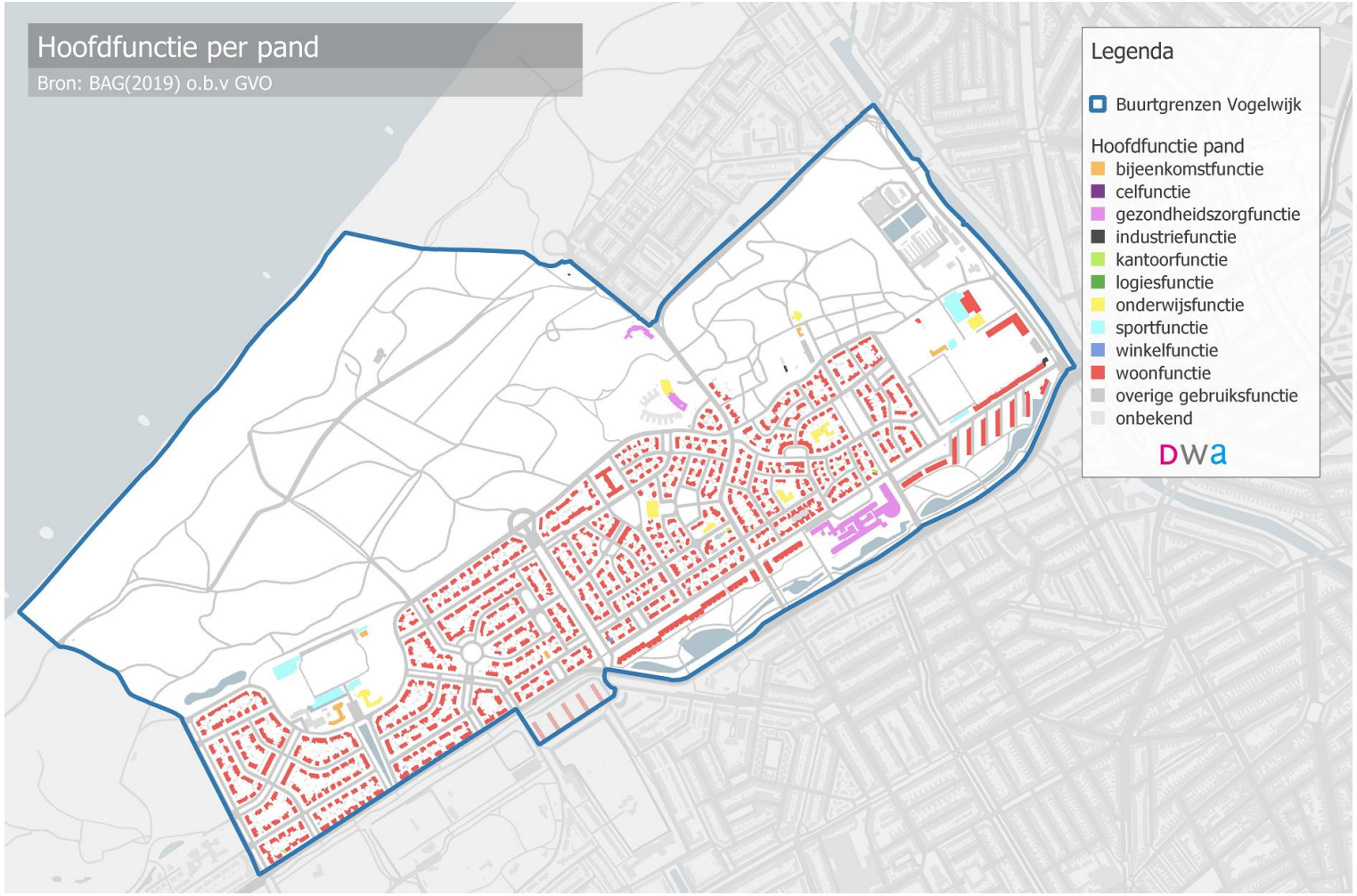
Bijlagen



Bijlage I: Kaartmateriaal

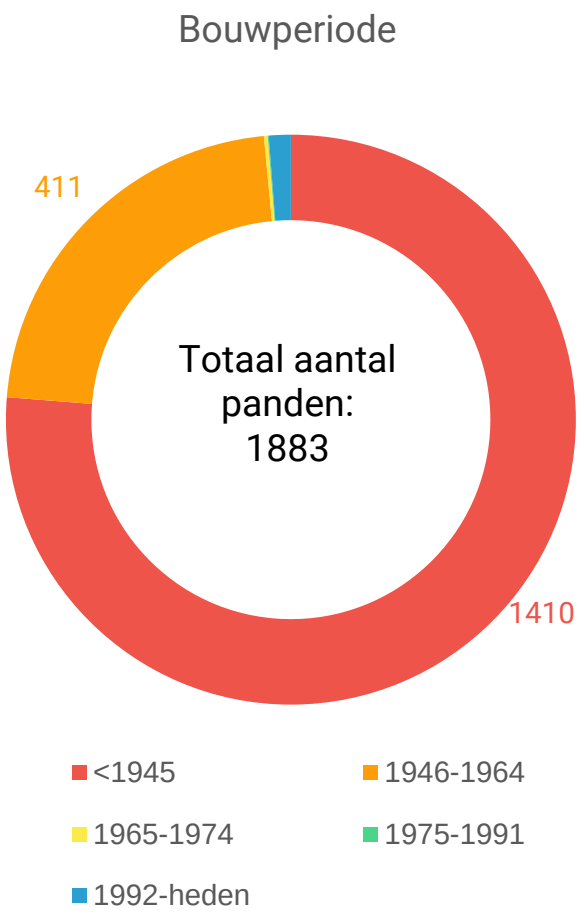
Hoofdfunctie per pand

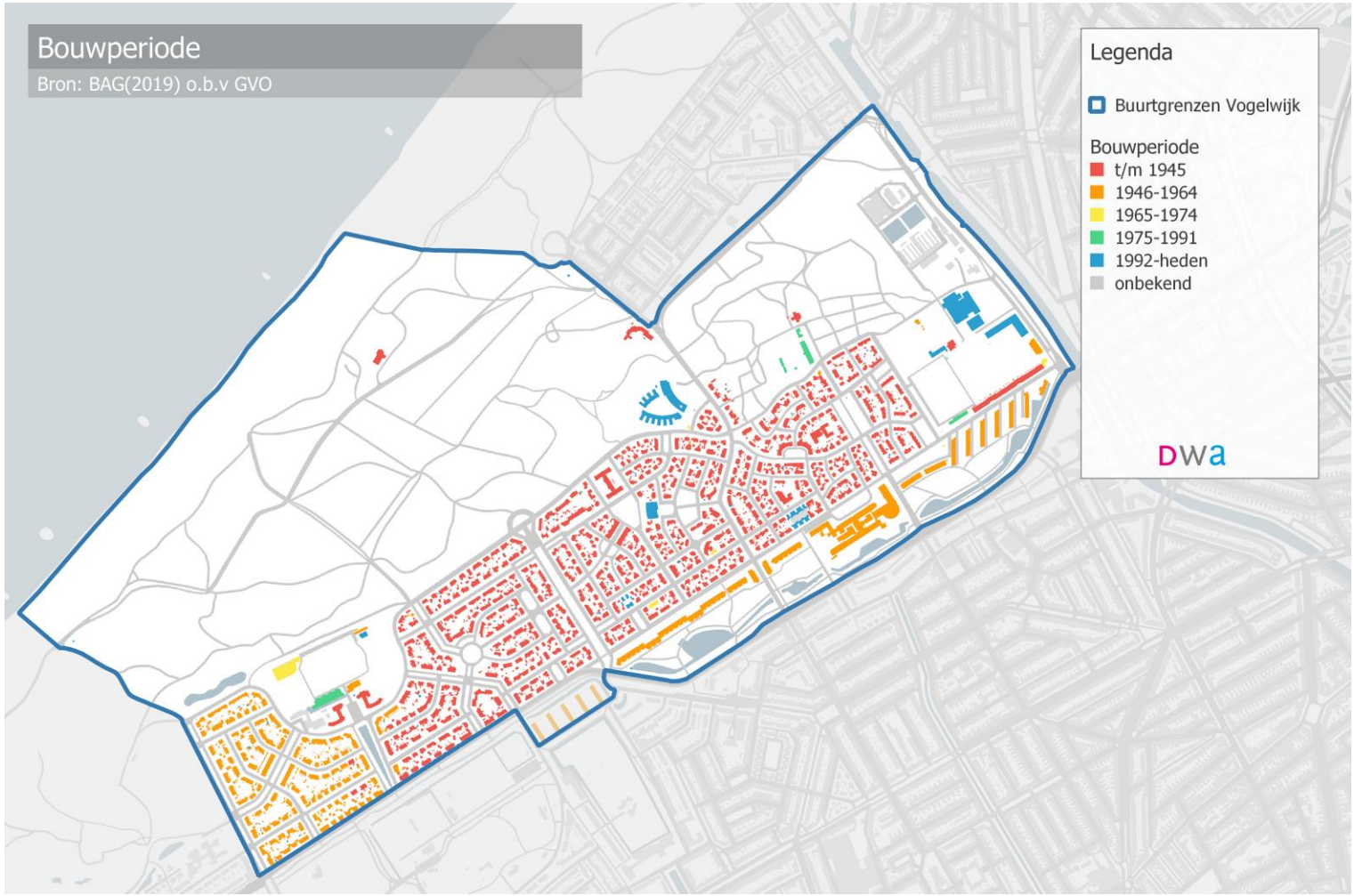




Bijlage I: Kaartmateriaal

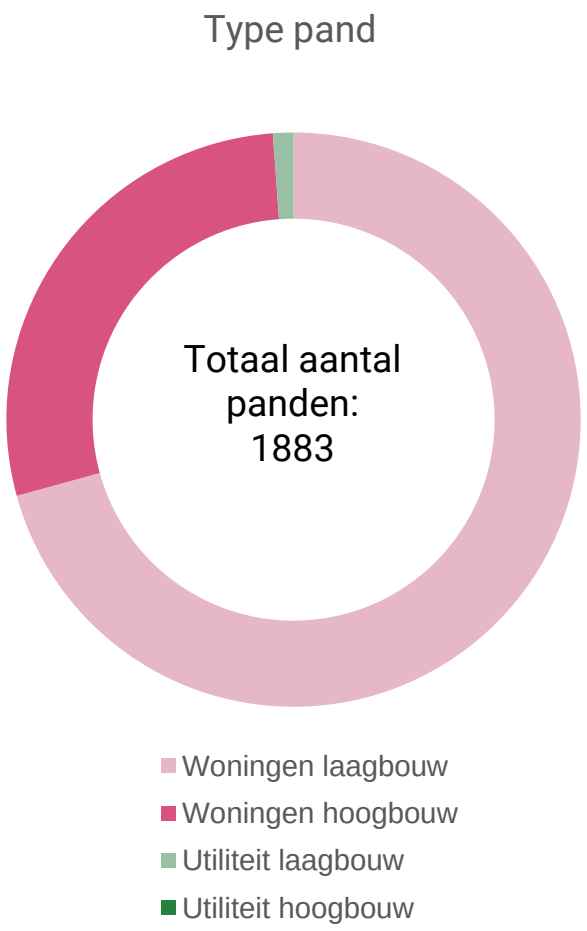
Bouwperiode per pand

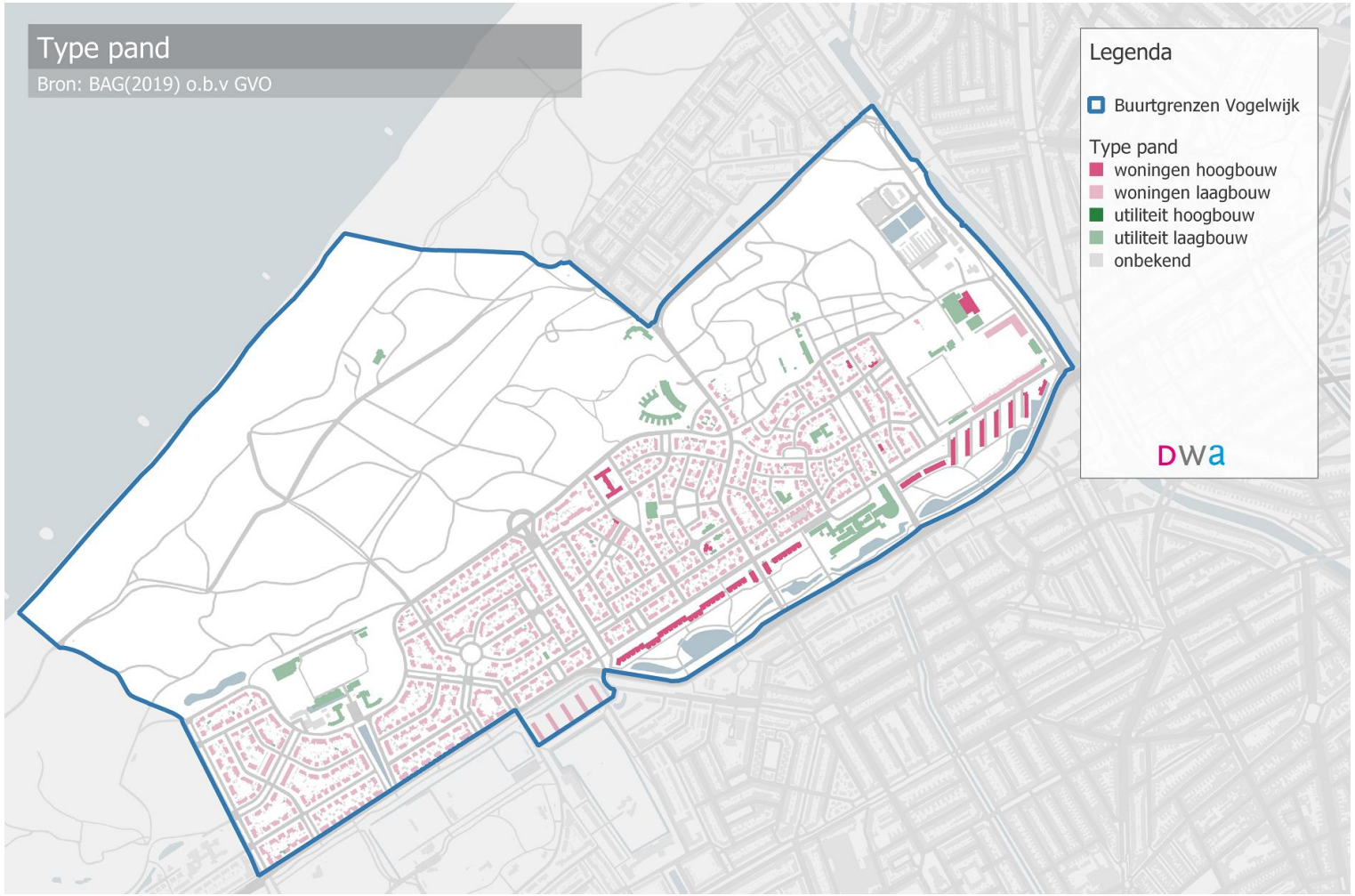




Bijlage I: Kaartmateriaal

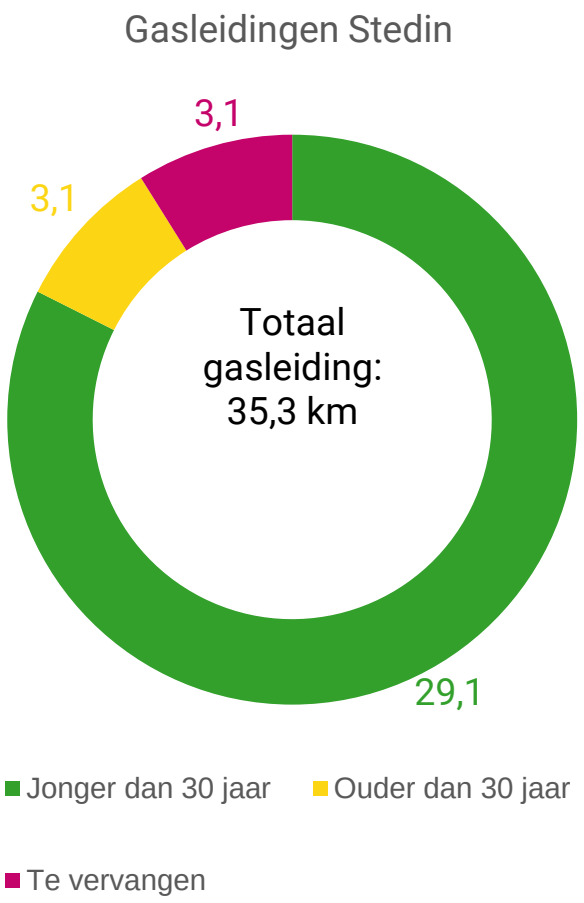
Type pand

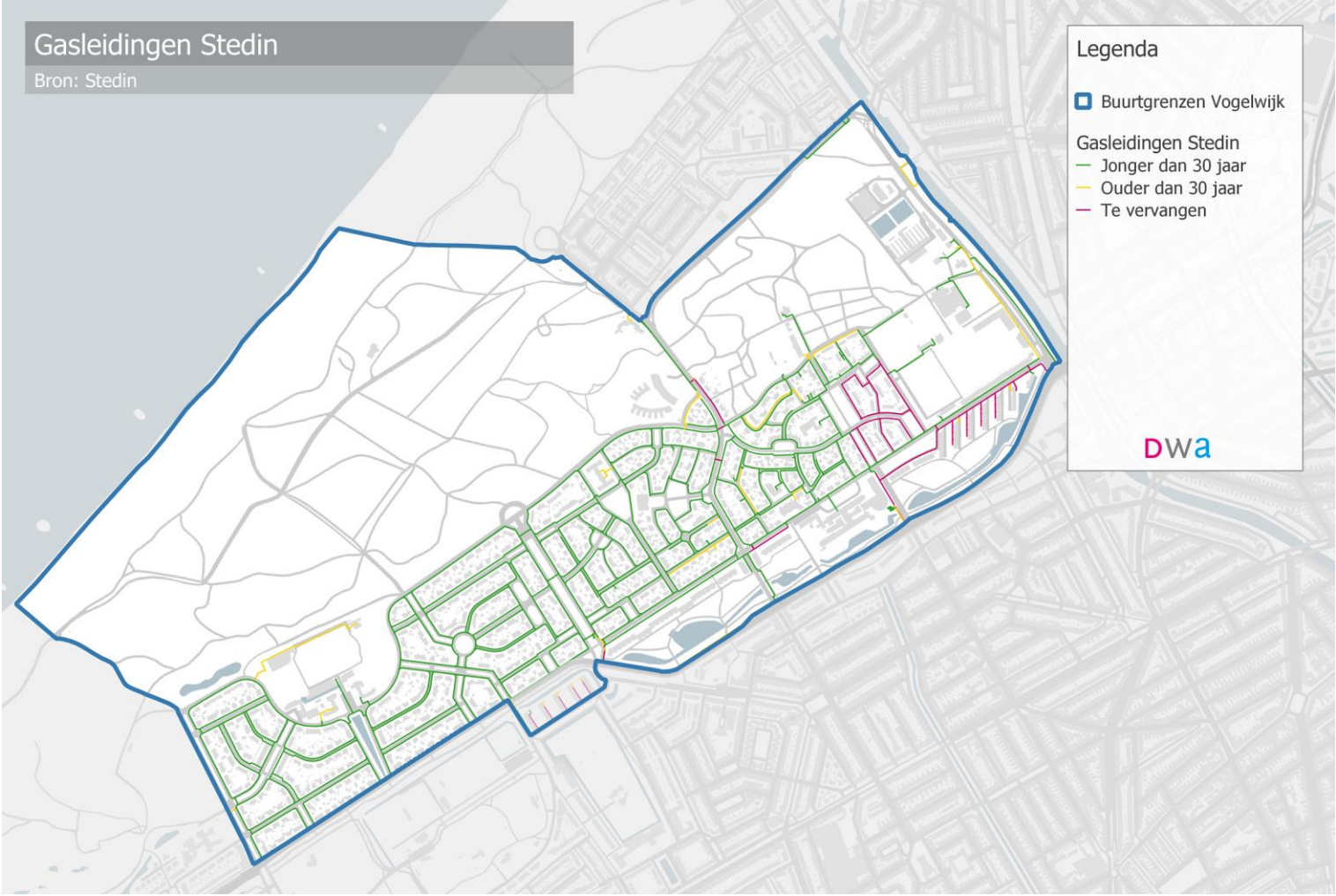




Bijlage I: Kaartmateriaal

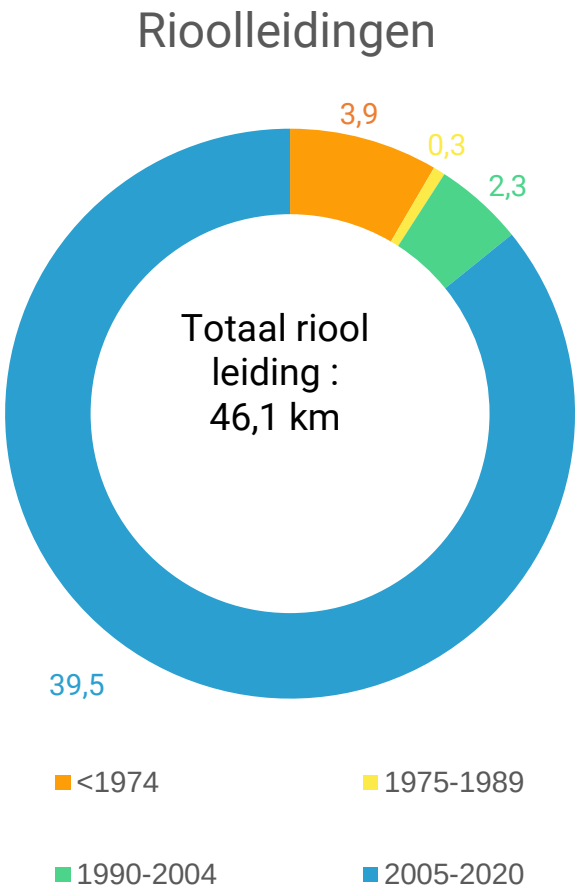
Meekoppelkansen: vervanging aardgasnet

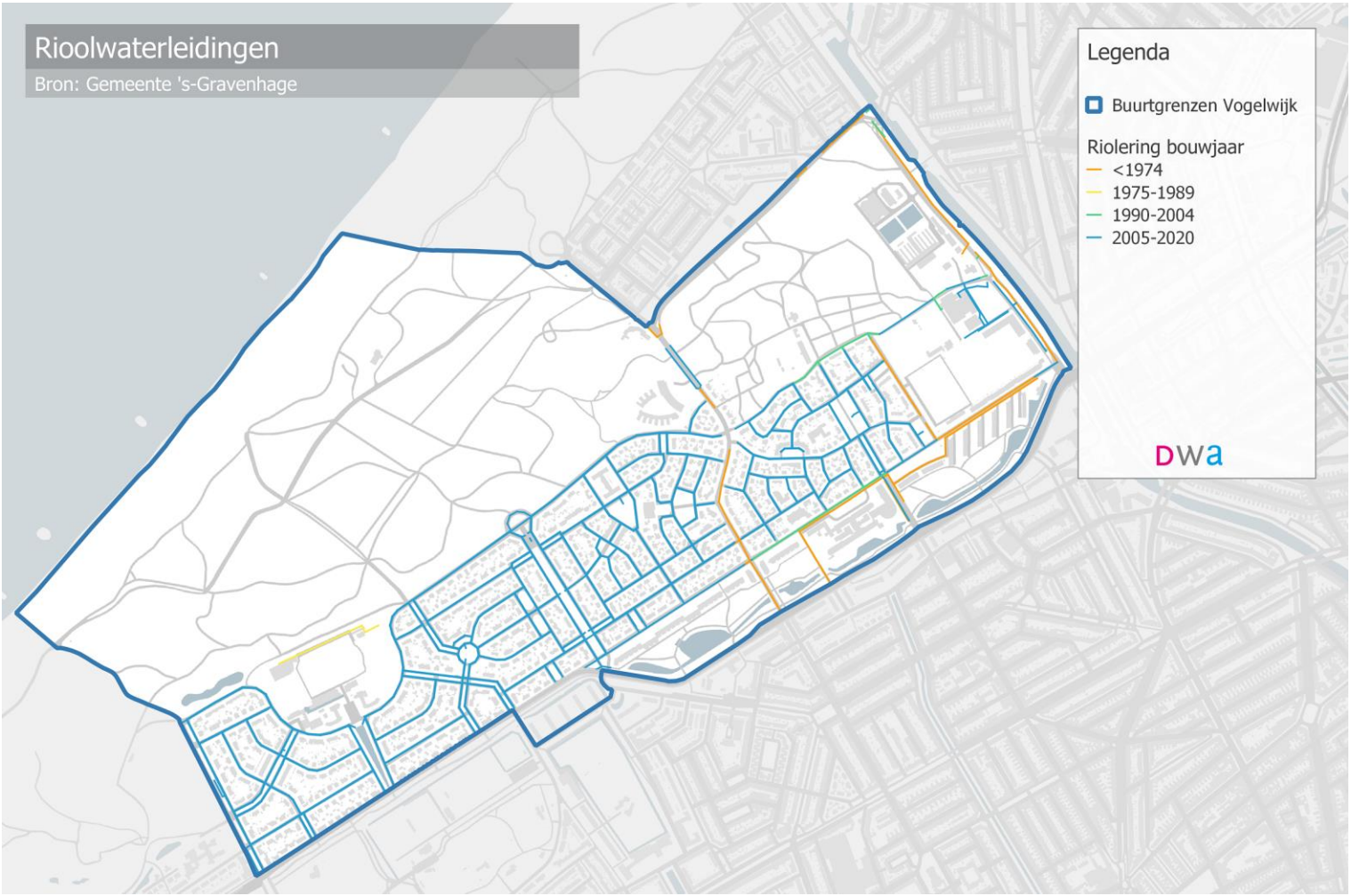




Bijlage I: Kaartmateriaal

Meekoppelkansen: leeftijd rioolleidingen





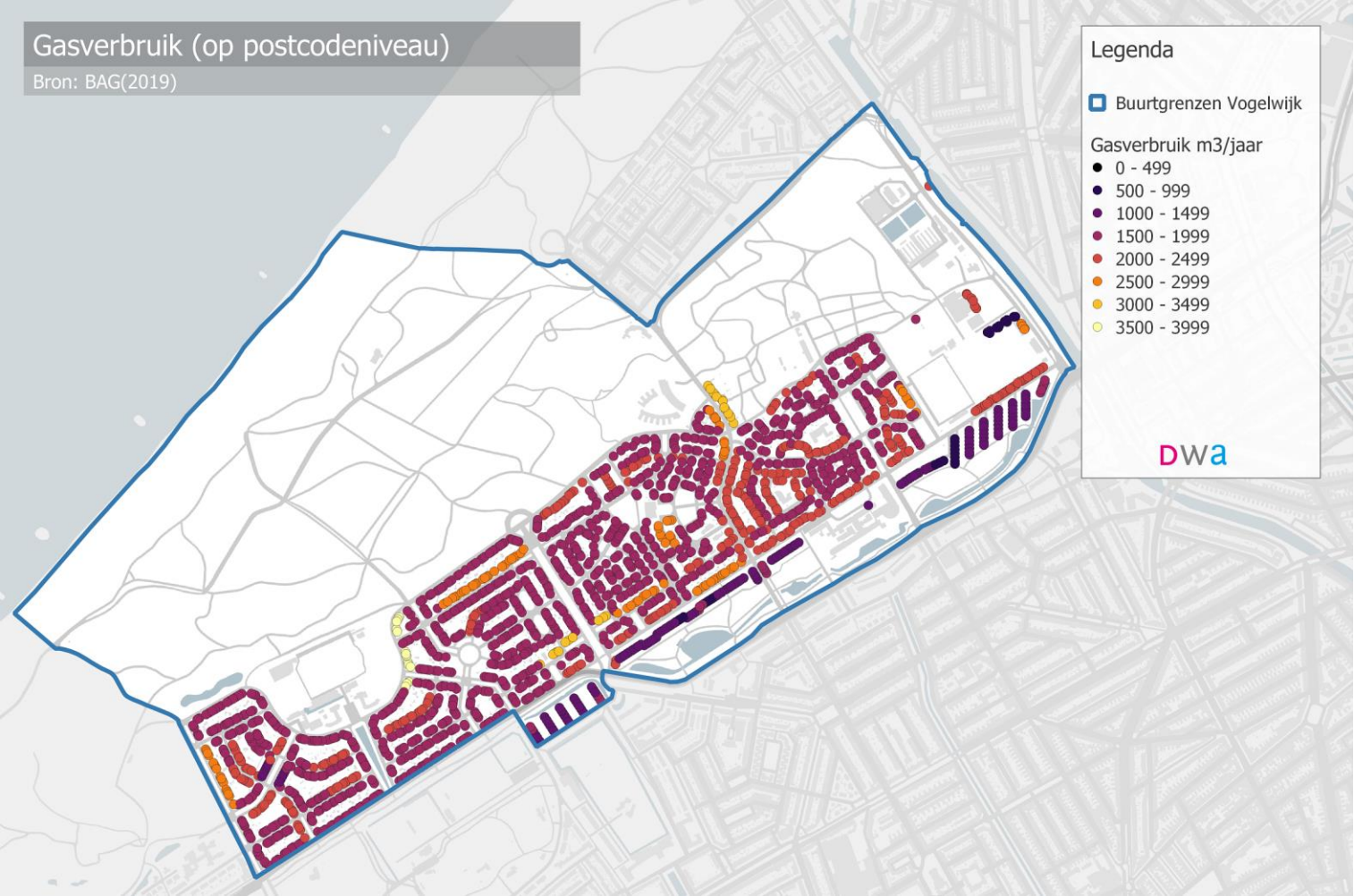
Bijlage I: Kaartmateriaal

Aardgasverbruik per verblijfsobject

Het aardgasverbruik van een wijk is beschikbaar op postcodeniveau. In verband met de wet op de privacy is het niet mogelijk het verbruik van een individueel object in te zien.

Hierdoor is het alleen mogelijk het gemiddelde verbruik van een (deel van een wijk) te bepalen. Er kan geen onderscheid gemaakt worden tussen vrijstaande-, hoek- en tussenwoningen in een deel van de wijk.

Doordat het gemiddelde verbruik per postcode is berekend, is een deel van de data niet te gebruiken. Op de volgende pagina is geschikte data gefilterd.

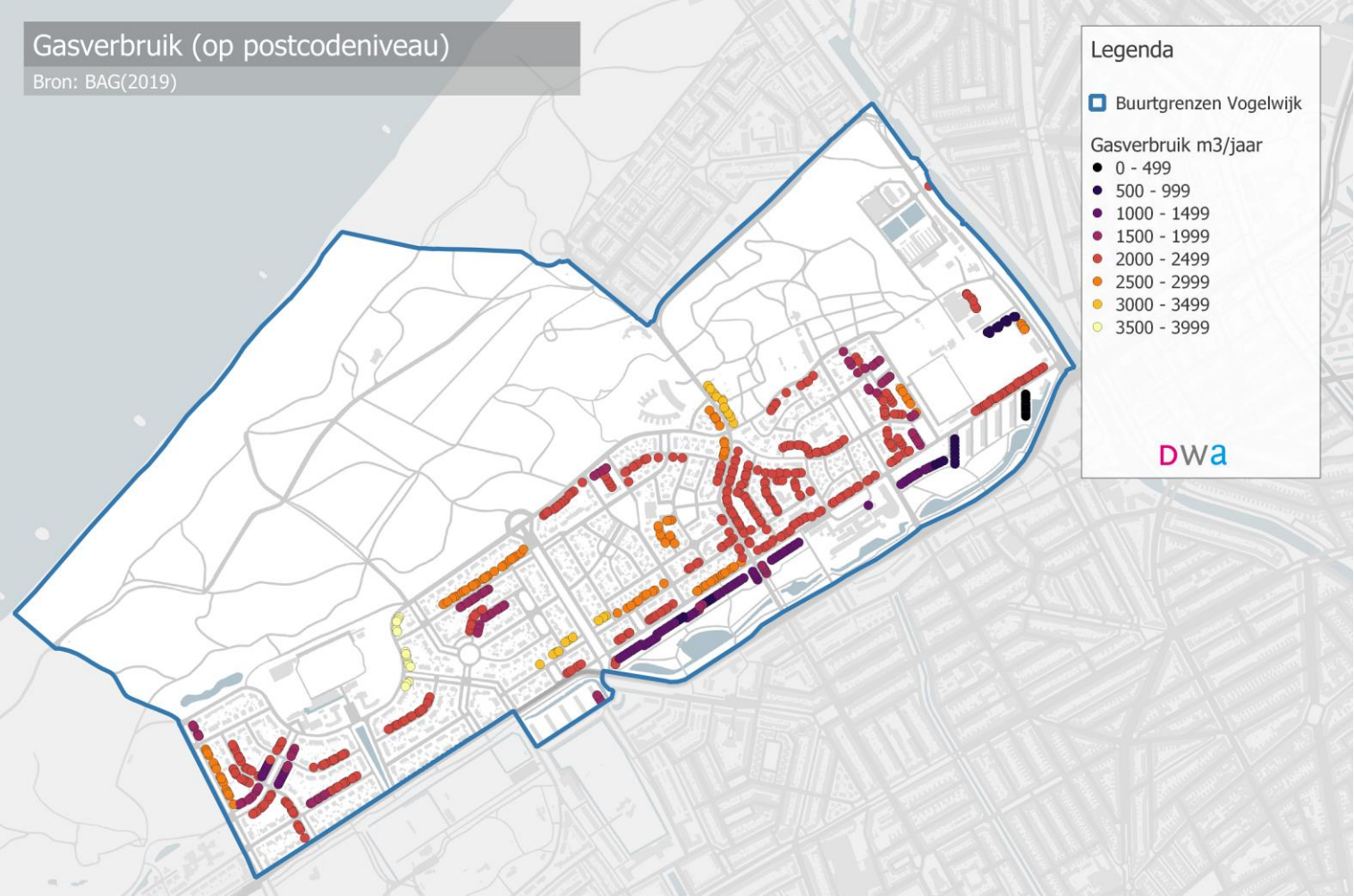


Bijlage I: Kaartmateriaal

Aardgasverbruik per verblijfsobject (gefilterd)

Op basis van de gefilterde data is een gemiddeld gasvebruik voor de flats aan de Sportlaan en een gemiddeld gasverbruik voor de Vogelwijk bepaald, respectievelijk 1300 en 2150 m^3 aardgas per jaar.

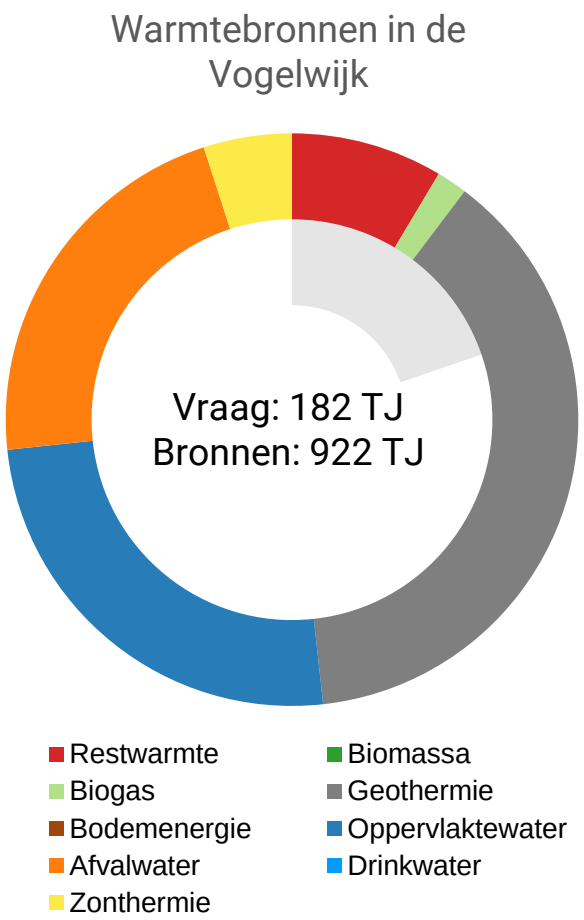
Op basis van het gemiddelde van 2150 m^3 aardgas per jaar is een verdeling gemaakt van het gebruik voor de twee referentiewoningen: De hoekwoning en de tussenwoning. Dit is gedaan op basis van kentallen van gasverbruik per woning van milieucentraal. Op basis van deze berekening wordt uitgegaan van een verbruik van 2350 m^3/jaar voor hoekwoningen en 1900 m^3/jaar voor tussenwoningen.

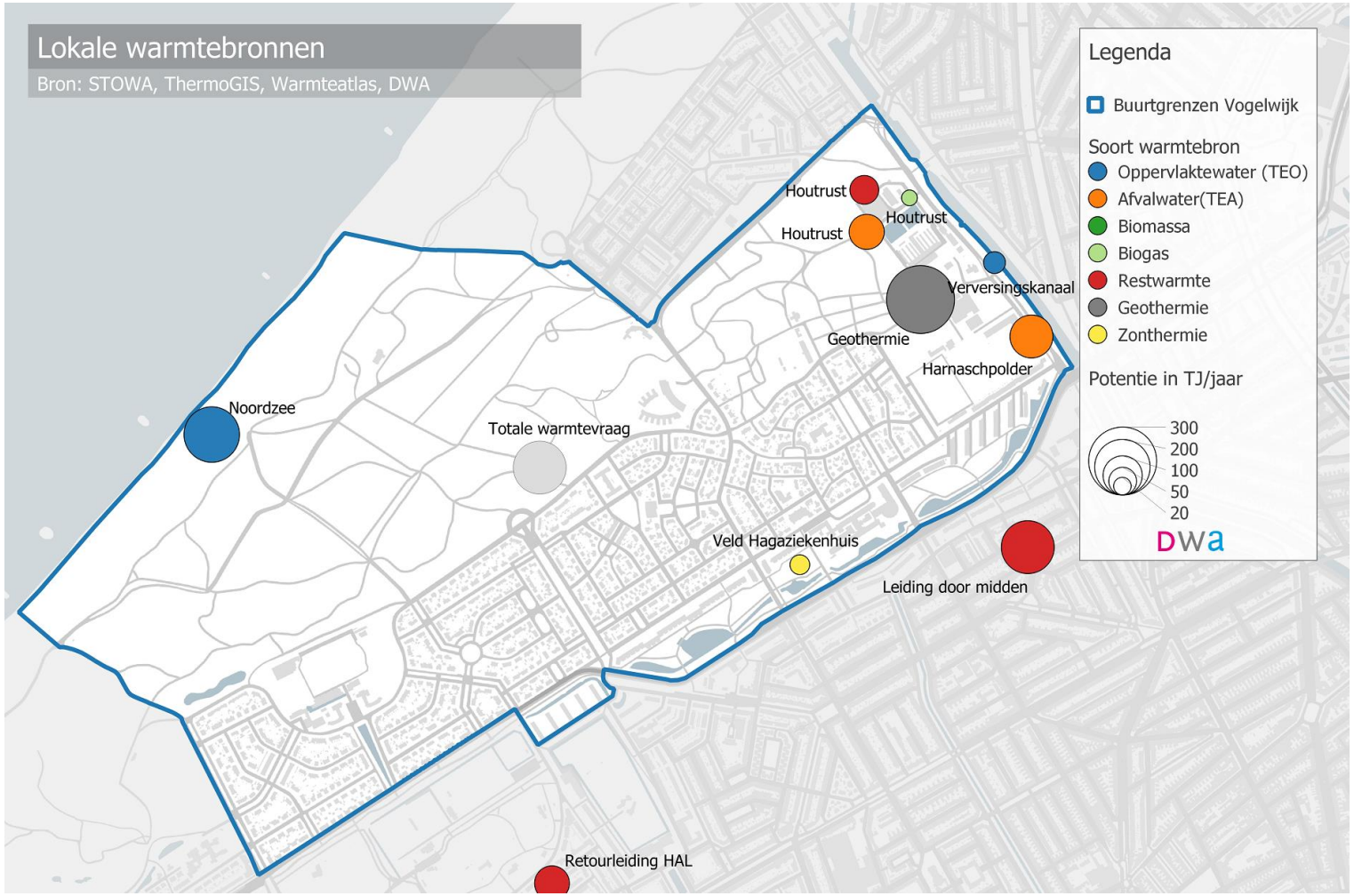


Terug naar referentiewoningen

Bijlage I: Kaartmateriaal

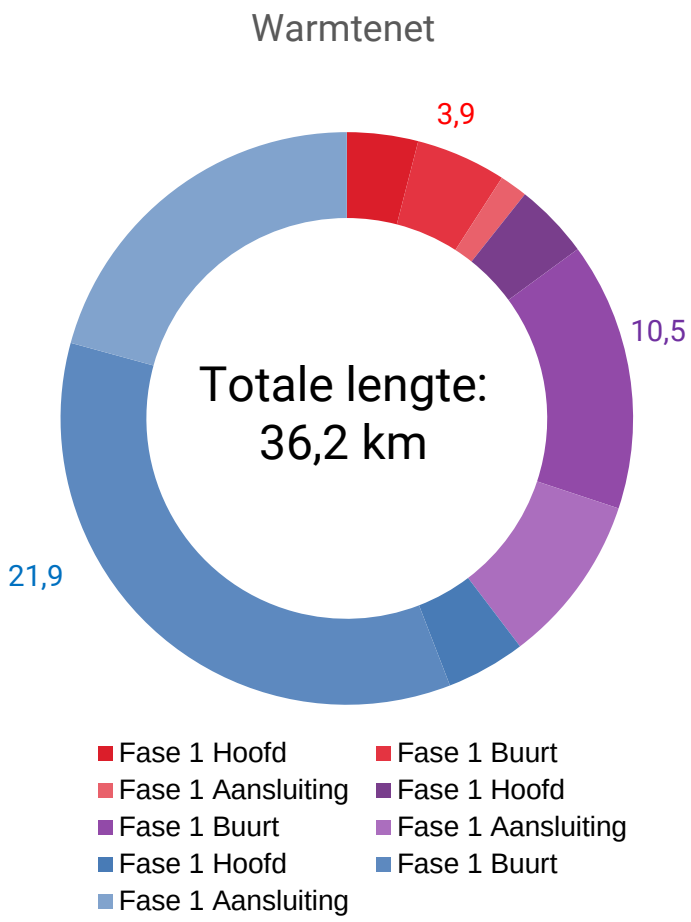
Warmtebronnen

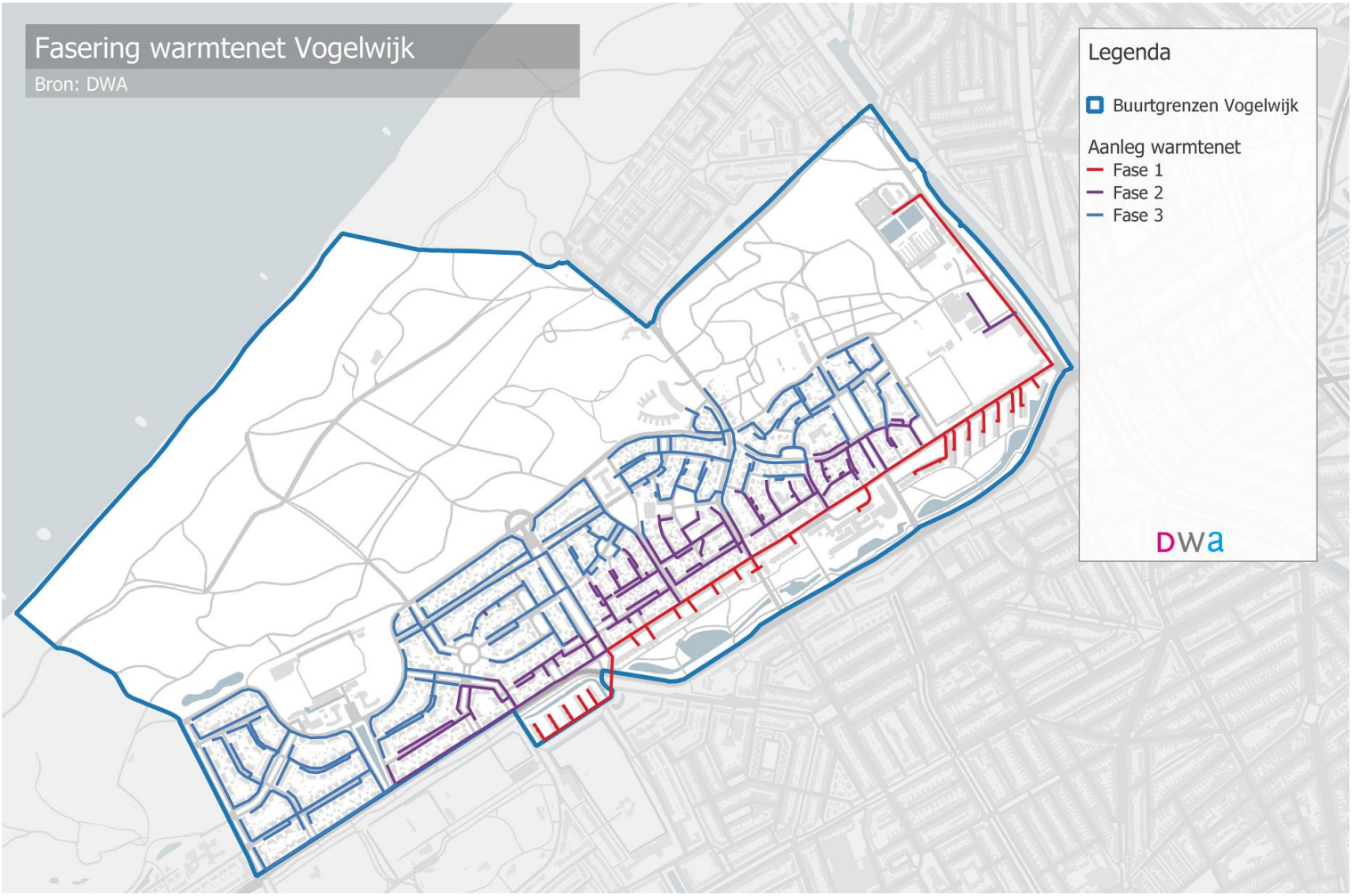




Bijlage I: Kaartmateriaal

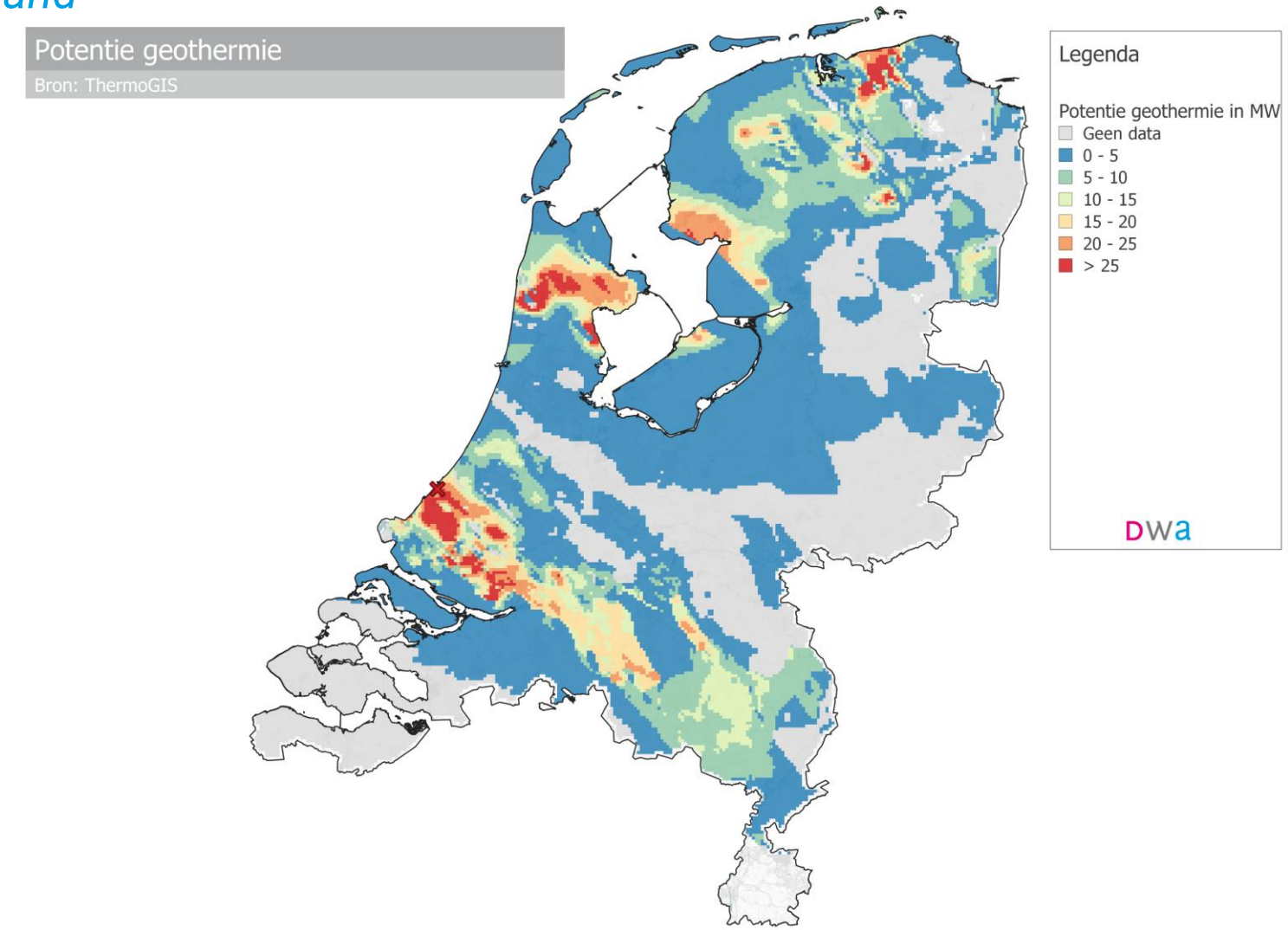
Fasering warmtenet





Bijlage I: Kaartmateriaal

Potentie geothermie Nederland



Bijlage II: Onderbouwing keuzes en uitgangspunten

Conceptkeuze

Voor het gasloos verwarmen zijn verschillende concepten te bedenken. Welk concept geschikt is voor een bepaald gebied is sterk afhankelijk van de karakteristieken van een wijk en randvoorwaarden waar rekening mee moet worden gehouden.

De Vogelwijk is een woonwijk met veel hoekwoningen, rijwoningen en portiekflats. Daarnaast zijn er ook vrijstaande woningen en gallarijflats te vinden. De wijk is ruim opgezet en heeft een groen karakter. Een groot deel van de wijk bestaat uit vooroorlogse bouw. Daarnaast is een groot deel van de gebouwen uit de periode tussen 1946 en 1964. De isolatie van deze woningen is vaak beperkt: Veel woningen hebben geen spouwmuren en weinig tot geen isolatie. Door het ontbreken van spouwmuren kan alleen aan de binnenzijde van de woning worden geisoleerd, of moet de gevel vervangen worden. Dit zijn ingrijpende maatregelen. De verwarming wordt veelal verzorgd door conventionele CV installaties met radiatoren die op hoge temperatuur van minimaal 70 ˚C werken.

Warmtenetten
De combinatie van weinig isolatie en de conventionele CV installatie van minimaal 70 ˚C maakt deze woningen ongeschikt voor lage temperatuur verwarming. Lage temperatuur warmtenetten met een aanvoertemperatuur van 50˚C, of een warmtenet van 12˚C in combinatie met een warmtepomp, zijn alleen inpasbaar na grote aanpassingen aan de woningen. Daarom is een **warmtenet op 70 ˚C** gekozen als een van de concepten om uit te werken voor de Vogelwijk.

***All electric* oplossingen**
All electric concepten zijn mogelijk na het isoleren van de woningen. Ook zijn aanpassingen aan het CV system in veel gevallen nodig. Het isoleren van het dak en de vloer zijn vrij gemakkelijk toe te passen. Bij het ontbreken van de spouwmuur moet isolatie aan de binnenzijde worden geplaatst. Ook kan het nodig zijn de kozijnen te vervangen voor het plaatsen van HR++ glas. Dit zijn ingrijpende maatregelen, en zullen daarom plaatsvinden tijdens renovatie van de hele woning. Waneer de woning goed geisoleerd is kan de woning verwarmd worden met elektrische opties. De opties van elektrisch verwarmen bestaan uit infraroodpanelen of warmtepompen die warmte uit de lucht of de bodem kunnen onttrekken. In het geval van warmtepompen moet het afgiftesysteem geschikt gemaakt worden voor afgifte op lage termperatuur. Dit kan door middle van vloerverwarming of het plaatsen van convectoren. Bij infraroodpanelen kunnen panelen aan de muur of het plafond geplaatst worden. Hieronder wordt kort besproken welke *all electric* variant meegenomen wordt in de analyse:

- **Infrarood panelen** hebben een 3 tot 6 keer lagere efficientie vergeleken met warmtepompen. De elektriciteitskosten van infrarood panelen zijn dan ook erg hoog. Deze optie wordt daarom niet meegenomen in de analyse.

- **Bodemwarmtepompen** gebruiken de bodem als buffer, waardoor warmtepompen met een hogere efficientie kunnen werken. Het ‘s zomers koelen van de woningen is wel een vereiste om warmte terug te brengen in de bodem. Dit geeft een comfortvoordeel, echter het aanbrengen van een koude-afgiftesysteem in een bestaande woning is erg duur (zoals vloerkoeling). De investeringen van de bodemlussen is ook hoog (zelf als een 500 m diepe bodemlus met meerdere woningen wordt gedeeld). De plaatsing van bodemlussen is ingrijpend. Gezien de ruime opzet van de wijk hoeft dit laatste niet als probleem gezien te worden.

Bijlage II: Onderbouwing keuzes en uitgangspunten

Conceptkeuze

- **De luchtwarmtepomp** is individueel te plaatsen. Een luchtwarmtepomp haalt warmte uit de lucht en brengt deze naar de binnenzijde van de woning. Omdat de lucht in de winter koud is werken ze minder efficient dan warmtepompen met een bodemlus. De investeringen zijn echter kleiner. Door de ruime opzet van de wijk zijn aandachtspunten als de geluidsproductie van luchtwarmtepompen minder bezwaarlijk. Om deze redenen is de luchtwarmtepomp gekozen om verder te bekijken in het onderzoek.

Waterstof
Ook waterstof wordt vaak genoemd als vervanging van aardgas. Men verwacht het aardgasnet met kleine aanpassingen geschikt te kunnen maken voor het transport van waterstof. Belangrijk aandachtspunt is dat voor de productie van waterstof veel energie nodig is in de vorm van elektriciteit. Om waterstof duurzaam te produceren is daarom veel duurzaam opgewekte elektriciteit nodig.
Daarnaast is waterstof een hoogwaardig product, en zal het eerst toegepast worden in de industrie, als balans in de energieinfrastructuur en voor transport. Het verwarmen van woningen heeft in vergelijking met andere toepassingen een lage prioriteit.
Doordat we niet weten hoe waterstof in de toekomst wordt geproduceert, en niet weten voor welke andere toepassingen waterstof gebruikt wordt, is de prijsontwikkeling van waterstof zeer onzeker. Verwachting is dat waterstof voor het verwarmen van woningen te duur zal zijn. Het gebruik van waterstof als vervanger van aardgas wordt daarom niet meegenomen in deze studie.
Een techniek die misschien kans maakt is een hybride oplossing waarbij een warmptepomp samen met een waterstofketel wordt geplaatst.

De warmtepomp verzorgt de basisverwarming. De waterstofketel wordt gebruikt om extra bij te verwarmen op de koudste dagen en voor het verwarmen van tapwater. Op deze manier wordt er veel minder waterstof gebruikt en kan toch verwarming op hoge temperatuur worden geleverd op de koudste dagen.

Uit de startanalyse van het PBL komt waterstof als techniek met de laagste kosten naar voren. Ook dit een reden om de hybride waterstof oplossing mee te nemen.

Biomassa
Tot slot beschouwen we nog de **houtpelletkachel**. Deze techniek is individueel te plaatsen en is geschikt voor hoge temperatuur verwarming. Deze optie is minder geschikt in dicht bebouwd gebied in verband met geur en fijnstof. Daarnaast is de duurzaamheid van biomassa nog steeds een punt van discussie. Daarom wordt deze techniek niet verder uitgewerkt in de analyse.

Samenvattend worden de volgende drie concepten meegenomen:
- Warmtenet op 70°C
- Hybride warmtepomp met waterstof
- *All electric* lucht warmtepomp

Terug naar conceptkeuze

Bijlage II: Onderbouwing keuzes en uitgangspunten

Warmtenet op 50, 60 of 70°C?

Er kunnen verschillende temperatuurniveau's gekozen worden als aanvoertemperatuur voor het warmtenet. De keuze voor de temperatuur heeft invloed op veel aspecten, zoals aangegeven in de figuur hiernaast.

Een netwerk met een aanvoertemperatuur van 70°C heeft eigen voor- en nadelen. De centrale warmtepomp verbruikt extra energie. Er zijn echter weinig aanpassingen nodig in de woning. In de meeste gevallen zijn de radiatoren geschikt om de woning te verwarmen met water van 70 °C. Ook kan er direct warm tapwater worden geproduceerd zonder elektrische na-verwarming.

Een netwerk op lage aanvoertemperatuur (<50°C) kan een goede optie zijn, zeker als er geen warmtebron van hoge temperatuur in de buurt aanwezig is en de temperatuur verhoogd moet worden met een centrale warmtepomp. Het grote voordeel van een lagere temperatuur in het netwerk is het lagere elektriciteitsgebruik van de centrale warmtepomp en de daarmee samenhangende lagere CO_2 emissie. Er is echter een grotere investering in het warmtenet en meer aanpassingen in de woning nodig.

- Bij een warmtenet met bijvoorbeeld 50°C als aanvoertemperatuur kan de woning direct worden verwarmd. Om comfortklachten te voorkomen moet de woning dan wel goed geïsoleerd zijn en het warmte-afgiftessysteem moet geschikt worden gemaakt.
- Voor tapwaterverwarming is extra elektrische na-verwarming nodig. Dit kan via een boosterwarmtepomp of een warmteafleverset met elektrische na-verwarming.

Deze ingrepen aan de woning maken de drempel voor bewoners om aan te sluiten op het warmtenet hoger.

Ons advies is om bij een warmtenet een laag instapniveau te kiezen en te beginnen met 70°C als aanvoertemperatuur. En vervolgens de bewoners stimuleren om de woningen beter te isoleren, radiatoren te vergroten etc. zodat op termijn in eerste instantie de retourtemperatuur en later ook mogelijk ook de aanvoertemperatuur omlaag kan.

	Warmtenet 70°C	Warmtenet 50°C
Investeringen		
Warmtenet	Lager	Hoger (grotere leidingdiameter)
Warmte-afgifte in woning	Bestaande radiatoren volstaan meestal	Radiatoren vervangen/ vergroten
Tapwaterverwarming	100% vanuit warmtenet (afleverset)	Gedeeltelijke elektrische naverwarming nodig
Exploitatiekosten		
Collectieve warmtepomp	Hoger elektraverbruik	Lager elektraverbruik
Elektrische na-verwarming tapwater in woningen	n.v.t.	Hoger
Rentabiliteit van de gehele warmteketen	Beter	Slechter
CO_2 emissie per GJ opgewekte warmte	Hoger	Lager

Bijlage III: Resultaten conceptvergelijking

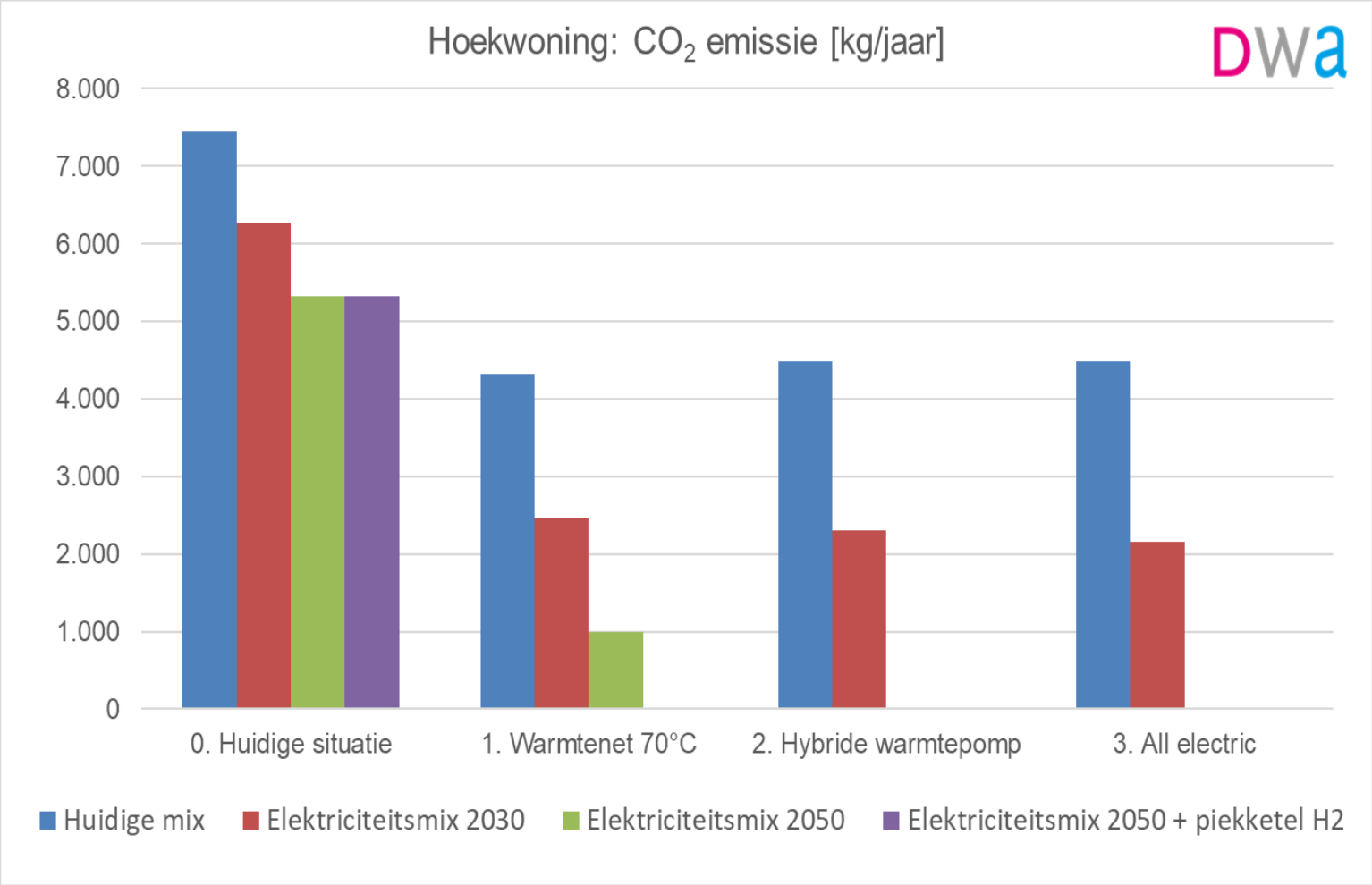
Integrale conceptenvergelijking per woning

Basisscenario

	0. Huidige situatie	1. Warmtenet 70°C	2. Hybride warmtepomp	3. All electric
Hoekwoning				
Investeringen in de woning	€ 2.000	€ 29.630	€ 17.850	€ 56.560
warmtevoorziening	€ 2.000	€ 20.810	€ 10.600	€ 12.870
woningaanpassing	€ 0	€ 11.550	€ 12.280	€ 51.630
subsidies	€ 0	-€ 2.730	-€ 5.030	-€ 7.940
Jaarlijkse kosten per woning	€ 3.160	€ 3.360	€ 4.370	€ 2.330
TCO over periode van 30 jaar	€ 89.600	€ 116.800	€ 122.300	€ 122.300
CO_2 emissie	6.540	3.860	3.920	4.480
Tussenwoning				
Investeringen in de woning	€ 2.000	€ 29.270	€ 17.490	€ 37.730
warmtevoorziening	€ 2.000	€ 20.810	€ 10.600	€ 11.550
woningaanpassing	€ 0	€ 10.950	€ 11.680	€ 32.120
subsidies	€ 0	-€ 2.490	-€ 4.790	-€ 5.940
Jaarlijkse kosten per woning	€ 2.790	€ 2.980	€ 3.660	€ 2.130
TCO over periode van 30 jaar	€ 79.300	€ 106.400	€ 107.300	€ 98.200
CO_2 emissie	5.700	3.530	3.670	4.070
Portiekwoning				
Investeringen in de woning	€ 2.000	€ 11.550	€ 11.960	€ 29.540
warmtevoorziening	€ 2.000	€ 6.790	€ 9.500	€ 13.240
woningaanpassing	€ 0	€ 4.760	€ 4.760	€ 19.850
subsidies	€ 0	€ 0	-€ 2.300	-€ 3.550
Jaarlijkse kosten per woning	€ 1.830	€ 2.140	€ 2.630	€ 1.360
TCO over periode van 30 jaar	€ 53.500	€ 66.800	€ 77.500	€ 70.200
CO_2 emissie	3.660	2.250	2.340	2.510

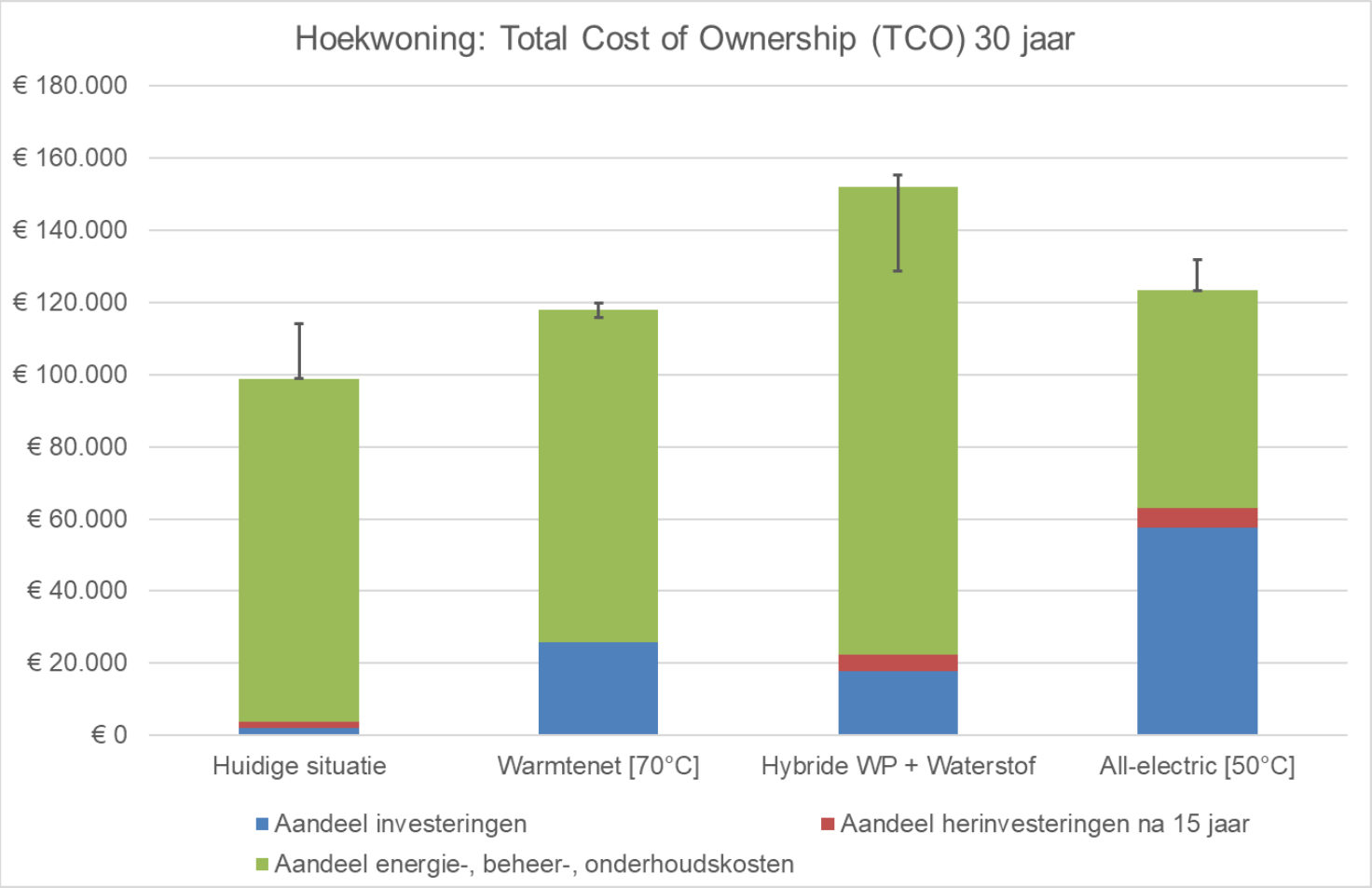
Bijlage III: Resultaten conceptvergelijking

Hoekwoning CO_2-uitstoot



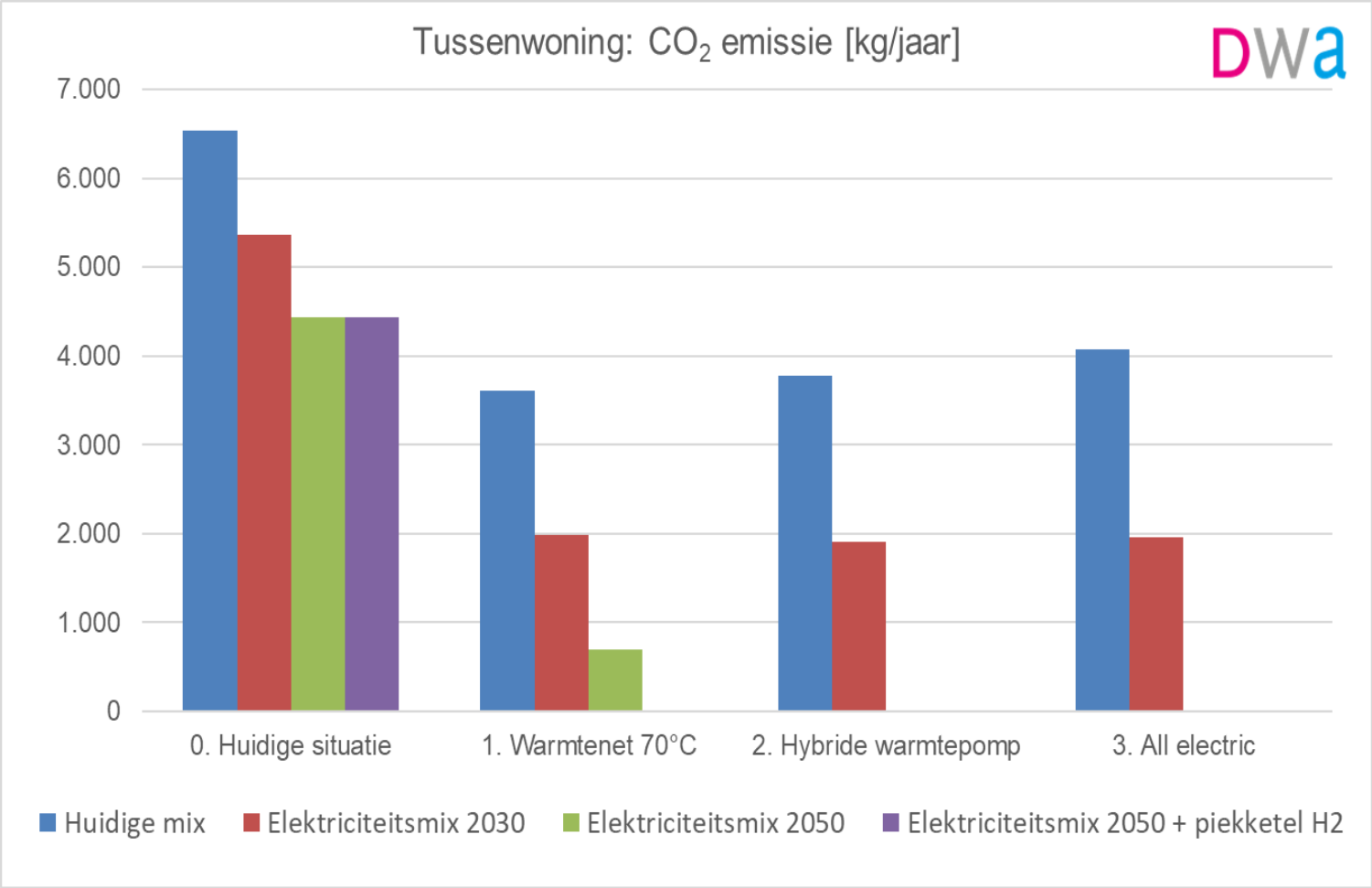
Bijlage III: Resultaten conceptvergelijking

Hoekwoning Total Cost of Ownership



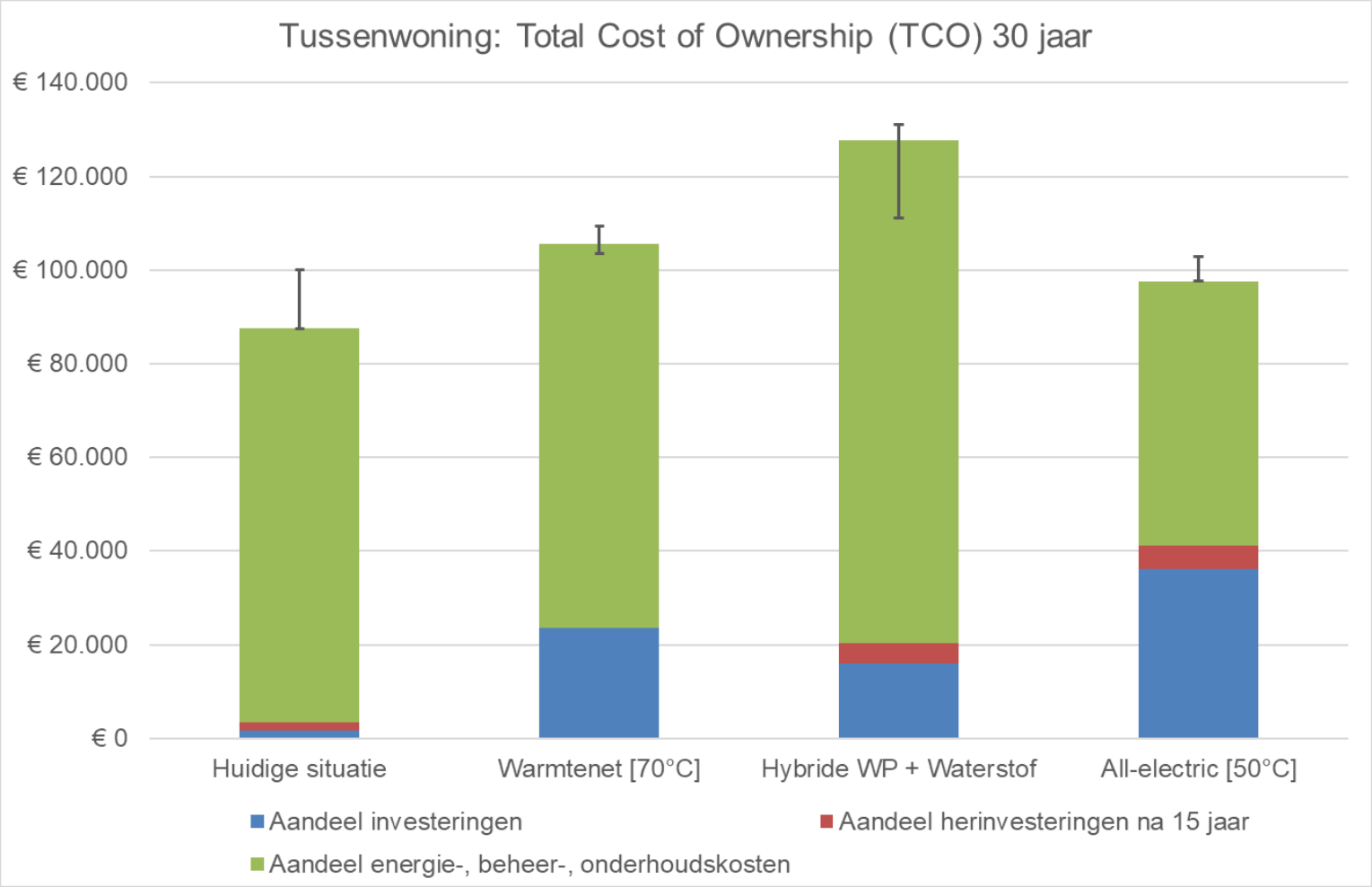
Bijlage III: Resultaten conceptvergelijking

Tussenwoning CO_2-uitstoot



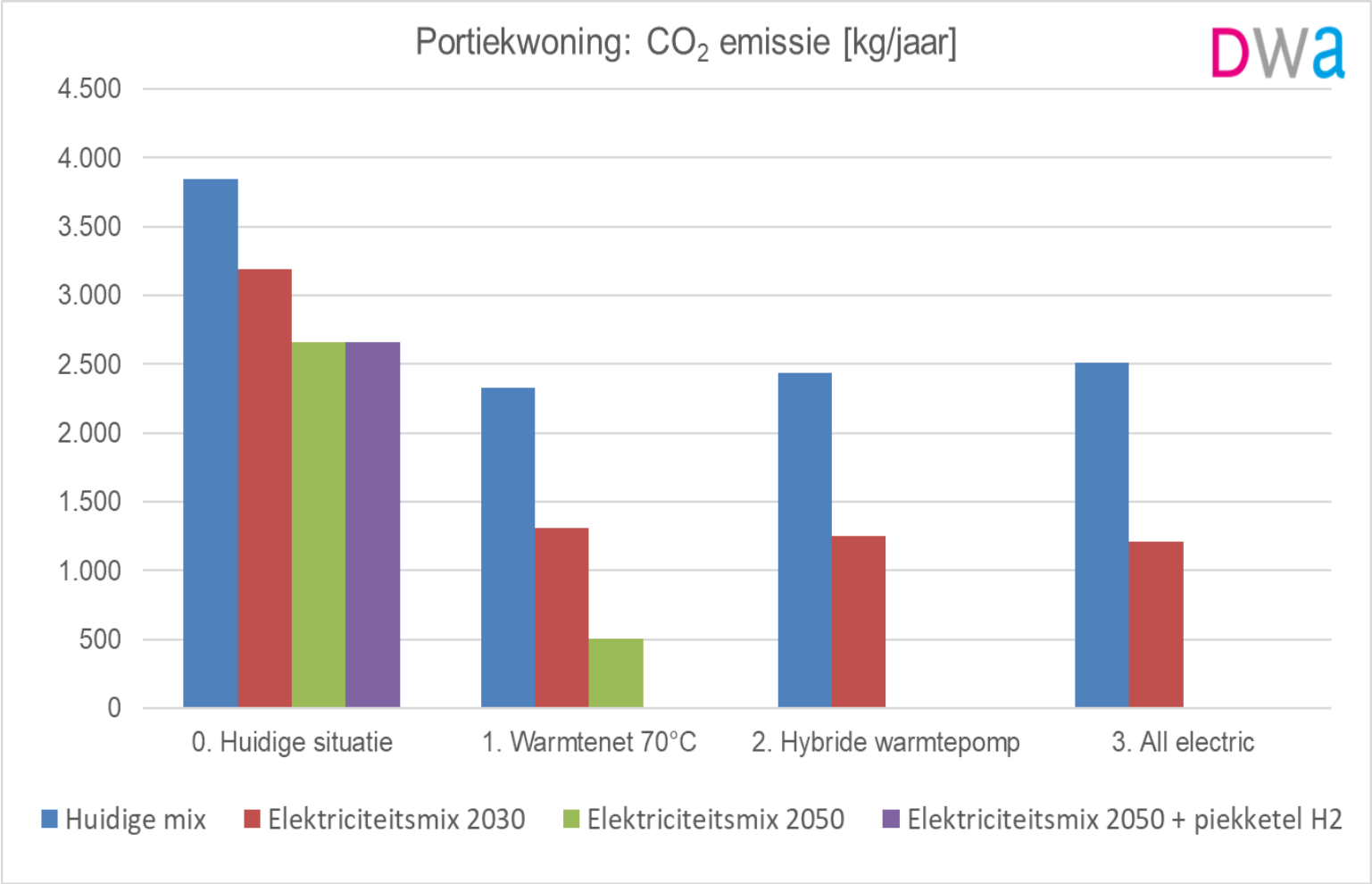
Bijlage III: Resultaten conceptvergelijking

Tussenwoning Total Cost of Ownership



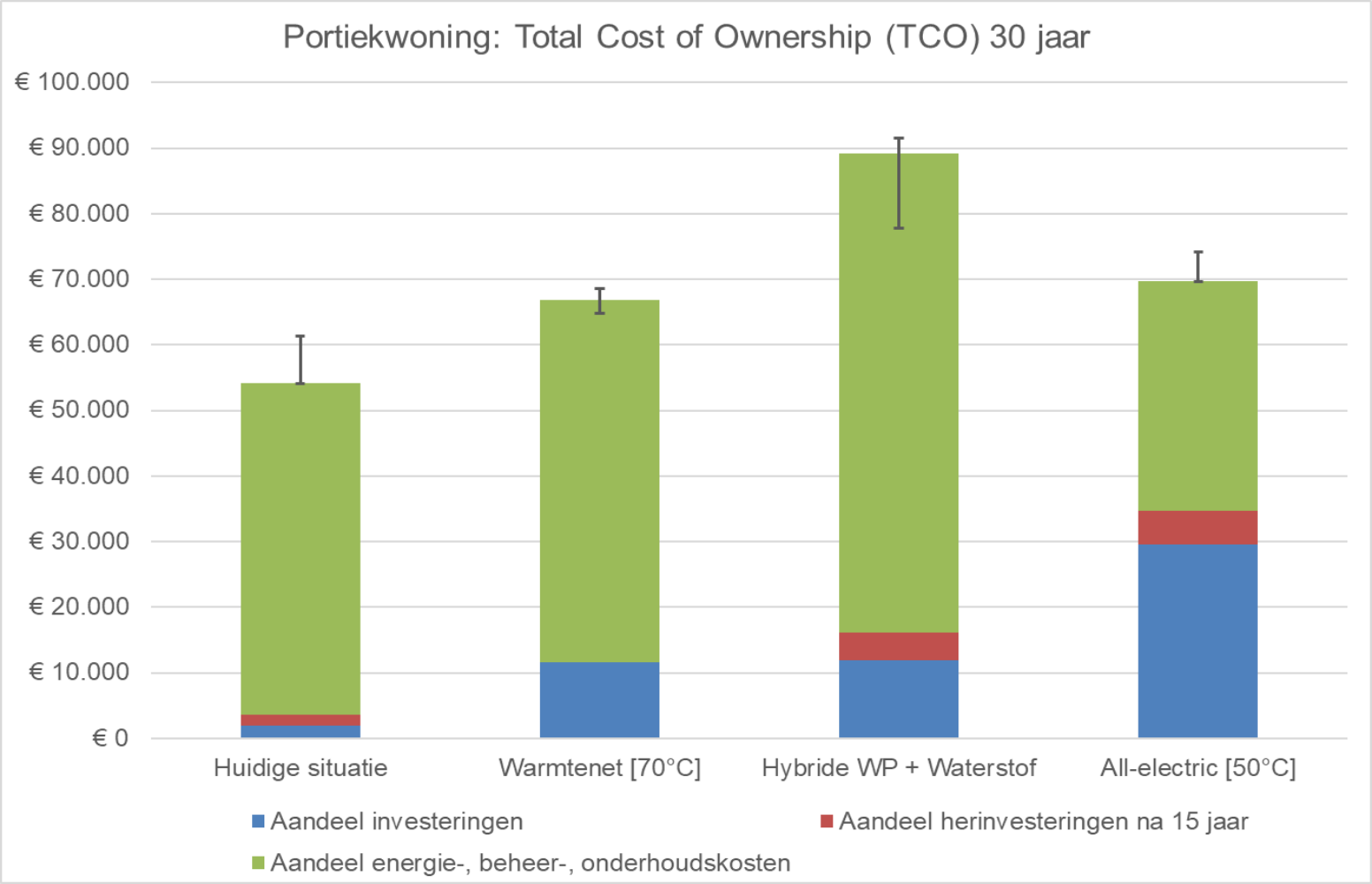
Bijlage III: Resultaten conceptvergelijking

Portiekwoning CO_2-uitstoot



Bijlage III: Resultaten conceptvergelijking

Portiekwoning Total Cost of Ownership



Bijlage IV: Prijsbepaling waterstof

Opbouw waterstofprijs DWA

Bij de hybride oplossing wordt waterstof gezien als vervanger van aardgas. Waterstof is een energiedrager, geen energiebron. De energie moet dus ergens vandaan komen. Dit kan uit wind- en zonne-energie (groene waterstof) of uit aardgas met opslag van de vrijgekomen CO_2 (blauwe waterstof). Voor het analyseren van de kosten van de hybride oplossing is in deze studie uitgegaan van twee scenario's voor de kosten van waterstof.

Scenario A is de huidige prijs van waterstof. Er wordt aangenomen dat deze prijs 2% per jaar daalt. (0% prijsdaling en 2% inflatie). De totale kosten voor de gebruiker inclusief belastingen zijn 9,49 €/kg in dit scenario.
Voor scenario B is uitgegaan van groene waterstof met lagere productiekosten in de toekomst en een prijsdaling van 2% per jaar. De totale kosten voor de gebruiker inclusief belastingen zijn 6,66 €/kg in dit scenario.

Omdat de productie van duurzame waterstof nog in de kinderschoenen staat, en we niet weten hoe de productie zich gaat ontwikkelen, is het lastig een precieze prijs vast te stellen.
In de tabel zijn de waterstofprijzen van verschillende onderzoeken samengevat. Zoals te komen andere onderzoeken op lagere prijzen uit dan in deze studie zijn gebruikt.
De prijzen in deze onderzoeken zijn wat DWA betreft niet dekkend. Het gaat vaak om alleen de productiekosten (integrale ketenkosten) zoals bij het onderzoek van CE Delft of TNO. De kosten in de Startanalyse van het PBL worden transportkosten wel mee genomen, maar wordt geen rekening gehouden met winsttoeslag en BTW. (Het PBL gaat uit van 'blauwe' waterstof: Waterstof geproduceerd uit aardgas waarbij de vrijgekomen CO_2 wordt opgevangen en opgeslagen in de ondergrond. Het opslaan van CO_2 is nog niet bewezen effectief.)

Kosten €/kg	CE Delft (marrokaanse zonnenergie)	TNO (IEA)	Scenario A DWA Hudige prijs	Scenario B DWA H2 uit duurzame ~~elektriciteit~~	Startanalyse PBL
Integrale ketenkosten	2,24	1,7-2,2	5,24	2,92	2,56
Opslag- en transportkosten	0,00	0,00	1,55*1	1,55*1	0,95
Kosten restemissie CO_2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
Winsttoeslag	0,00	0,00	1,05	1,05	0,00
BTW (21%)	0,00	0,00	1,65	1,15	0,00
Energiebelasting	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	2,24	1,7-2,2	9,49	6,67	3,61

*1 Zelfde als huidig aardgas transport

Bijlage IV: Prijsbepaling waterstof

De 'waterstofladder'

Bij het bepalen van de prijs van waterstof zal naast de productiekosten ook integraal naar de markt van waterstof gekeken moeten worden. Waterstof kan voor verschillende toepassingen gebruikt worden. Het kan als grondstof dienen in de industrie en zeer hoge temperatuur leveren voor industriële processen. Daarnaast is het toe te passen als brandstof voor transport.

Naast de bovengenoemde toepassingen is het verbranden van waterstof voor de verwarming van woningen een laagwaardige toepassing. Dit is weergegeven in de waterstofladder van Natuur en Milieu. Bij het opstellen van deze ladder staan drie vragen centraal:

1. Is er een andere duurzame oplossing?
2. Is er een oplossing die efficiënter is qua energie.
3. Is er een maatschappelijk goedkopere oplossing.

Bij het verwarmen van woningen geld dat er andere duurzame oplossingen zijn die effectiever zijn. Voor transport en hoge temperatuur industrie zijn deze er geen andere duurzame oplossingen, waardoor waterstof hier de voorkeur verdient.

Dit zal ook invloed hebben op de prijs van waterstof, omdat het verwarmen van woningen moet concurreren met andere sectoren. Bij een beperkt aanbod van waterstof zal de vraag in de industrie en het transport de prijs van waterstof verhogen.

ESSENTIEEL	BELANGRIJK	MOGELIJK	BEPERKT	GERING
Dit zijn de meest prioritaire toepassingen van waterstof, waar op termijn geen duurzame alternatieven voor zijn.	De alternatieven, die op termijn beschikbaar komen, zijn in de meeste gevallen niet meer geschikt dan waterstof.	De alternatieven die op termijn beschik-baar komen, kunnen in gevallen meer geschikt zijn dan waterstof, in andere gevallen zal waterstof de meest geschikte toepassing zijn.	De alternatieven die op termijn beschik-baar komen, zijn in de meeste gevallen meer geschikt dan waterstof.	Voor deze toepassingen bestaan al geschikte duurzame alternatieven.
Toepassing	**Toepassing**	**Toepassing**	**Toepassing**	**Toepassing**
1 Grondstof productie kunstmest 2 Zeer hoge temperatuur industriële proceswarmte	1 Grondstof in plastic- en staalindustrie ter vervanging van fossiele grondstof 2 Balansfunctie energie-infrastructuur (bufferfunctie) 3 Intercontinentaal vliegen en varen	1 Niches gebouwde omgeving 2 Binnenvaart 3 Continentaal vliegen	1 Hoge temperatuur industriële proceswarmte 2 Internationaal wegvervoer	1 Lage temperatuur industriële proceswarmte 2 Verwarmen, douchen, koken 3 Regionaal en nationaal wegvervoer 4 Treinen, regionale bussen, personenvervoer
Mogelijke alternatieven	**Mogelijke alternatieven**	**Mogelijke alternatieven**	**Mogelijke alternatieven**	**Mogelijke alternatieven**
1 Geen alternatief 2 Geen reële grootschalige alternatieven	1 Recycling 2 Batterijopslag; Netverzwaringen; Afschakelen hernieuwbare productie 3 Geen grootschalige alternatieven	1 Elektrisch verwarmen, warmtenetten 2 Elektrische scheepvaart 3 Elektrisch vliegen, trein	1 Hoge temperatuur warmtepompen 2 Elektrisch vervoer	1 Elektrisch verwarmen 2 Elektrisch verwarmen 3 Elektrisch vervoer 4 Elektrisch vervoer

Bijlage V: Factsheet concepten per woningtype

Factsheet per woningtype (separaat bijgevoegd)