



# Warmtekaart provincie Fryslân



# Inhoudsopgave

- 1 Samenvatting
- 2 Inleiding
- 3 Het doorlopen proces
- 4 Uitgangspunten en aannames
- 5 Het CEGOIA-model
- 6 De uitkomsten
- 7 De hoeken van het speelveld (scenario's)
- 8 Kansenkaart
- 9 De Regio's
- 10 Conclusies
- 11 Advies voor vervolg
- 12 Bronnen

## Bijlage(n)

- A Werking CEGOIA-model
- B Modelparameters CEGOIA



# 1 Samenvatting

## Aanleiding

De provincie Fryslân heeft de ambitie om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Op dat moment zal er in de provincie geen CO<sub>2</sub> meer uitgestoten mogen worden voor de verwarming van woningen en gebouwen. Aardgas zal dus vervangen moeten worden door een klimaatneutraal alternatief. Om deze doelstelling te bereiken dienen gemeenten warmteplannen te maken waarin staat welke buurten voor 2030 van het aardgas af gaan. De provincie Fryslân wil als eerste stap in de energietransitie voor de gebouwde omgeving de Friese gemeenten helpen om het kennisniveau omhoog te krijgen en heeft CE Delft gevraagd om een analyse te maken van de mogelijkheden die er zijn om de warmtevraag klimaatneutraal in te vullen.

De centrale vraag voor dit onderzoek is: *“Op welke wijze kan de provincie Fryslân in de warmte- en koudevraag voorzien zodanig dat er in 2050 tegen zo laag mogelijke (integrale) kosten voor gebruiker én maatschappij klimaatneutraliteit wordt bereikt?”*

### Het doorlopen proces

Voor de begeleiding van dit onderzoek heeft de provincie gebruik gemaakt van bestaande overleggroepen. De provincie Fryslân heeft vijf overleggroepen (de streekagenda's) waarin gemeenten milieu-onderwerpen met elkaar bespreken. Het betreft de streekagenda's: Noordoost-Fryslân, Noordwest-Fryslân, Zuidoost-Fryslân, Zuidwest-Fryslân en Waddeneilanden. Aan de overleggroepen hebben de

gemeenten van de betreffende regio's en de provincie Fryslân deelgenomen. Voor de gemeente Leeuwarden was een werkgroep betrokken met verschillende stakeholders. Dit waren: Elkien, Alliander, Bouwgroep Dijkstra Draisma, Ennatuurlijk, Friesland Campina, Wetterskip Fryslân, provincie Fryslân en gemeente Leeuwarden. Figuur 1 geeft schematisch weer hoe het project doorlopen is. Elke overleggroep is drie keer bij elkaar geweest.

Figuur 1 - Doorlopen proces



In de eerste bijeenkomst hebben wij het onderzoek en de werking van het rekenmodel (CEGOIA) uitgelegd. Tevens hebben wij in deze bijeenkomsten uitgelegd welke informatie wij nodig hebben. Tussen de eerste en tweede bijeenkomst hebben wij de ontvangen informatie verwerkt in ons rekenmodel en hebben wij de eerste berekeningen uitgevoerd.

In de tweede bijeenkomst hebben wij de conceptresultaten van de studie gepresenteerd aan de werkgroep. Toen is geconcludeerd dat het wenselijk was om meer informatie vanuit gemeenten in het model op te nemen. Daarom is besloten dat gemeenten tot uiterlijk eind augustus 2018 nadere informatie konden aanleveren. Tussen de tweede en derde bijeenkomst is veel nieuwe informatie vanuit de gemeenten ontvangen en verwerkt door CE Delft. Dit heeft geleid tot verbeterde uitkomsten.

De uitkomsten hebben wij gepresenteerd en besproken in de derde bijeenkomst (eindbijeenkomst).

### Uitgangspunten (basisscenario)

Op basis van adviezen van de gemeenten heeft de provincie de uitgangspunten en de te beschouwen verwarmingstechnieken bepaald.

In Tabel 1 staat een samenvatting van deze uitgangspunten in het basisscenario:

**Tabel 1 - Samenvatting uitgangspunten basisscenario**

| Energiedrager                                      | Beschikbaarheid                                                                                  |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elektriciteit                                      | Ongelimiteerd                                                                                    |
| Groengas                                           | 2,8 PJ (4,1% van 68PJ)                                                                           |
| Hernieuwbaar gas (bijv. waterstof/synthetisch gas) | Ongelimiteerd, maar wel beperkt tot alleen gebruik voor bijstook (bij warmtenetten)              |
| Geothermie                                         | Ongelimiteerd bij geschikte bodem                                                                |
| Bodemenergie                                       | Ongelimiteerd tenzij bodembeperkingen                                                            |
| HT-restwarmte <sup>1</sup>                         | Beperkt tot beschikbare HT-restwarmtebronnen in de provincie en afstand van de bron tot de buurt |
| LT-restwarmte <sup>2</sup>                         | Beperkt tot beschikbare LT-restwarmtebronnen in de provincie en afstand van de bron tot de buurt |
| Vaste biomassa                                     | Maximaal 30.000 woningen                                                                         |

De te beschouwen verwarmingstechnieken in het basisscenario zijn:

| Individuele technieken                        | Collectieve technieken                   |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------|
| HR-ketel op groengas                          | Geothermie                               |
| Hybridewarmtepomp (buitenlucht) op groengas   | HT-restwarmte                            |
| Elektrische warmtepomp (bodemwarmtewisselaar) | LT-restwarmte met collectieve warmtepomp |
| Elektrische warmtepomp (buitenlucht)          | WKO                                      |
| CV-ketel op vaste biomassa (pelletkachel)     | TEO i.c.m. WKO met ~70°C warmtenet       |

<sup>1</sup> Hogetemperatuurrestwarmte (70-120°C) is rechtstreeks toepasbaar voor warmtelevering in woningen.

<sup>2</sup> Lagetemperatuurrestwarmte (circa 30°C).



## Scenario's

Naast het basisscenario (met de uitgangspunten en technieken zoals hierboven beschreven) heeft de provincie drie aanvullende scenario's/varianten geformuleerd, te weten:

1. **Een variant zonder geothermie.** Wat zijn de gevolgen als geothermie niet mogelijk is voor Fryslân?
2. **Een scenario zonder CV-ketel op vaste biomassa.** Wat betekent het als de CV-ketel op vaste biomassa niet mogelijk is voor Fryslân?
3. **Een variant waarbij alle woningen minimaal een schilisolatie op het niveau Label B hebben.** Wat zijn de gevolgen als woningen eerst tot een bepaald niveau worden geïsoleerd?

## Modelanalyse

We hebben voor elke buurt alle kostencombinaties doorgerekend wat betreft de mate van schilisolatie van de gebouwen en de wijze van invulling van de resterende warmtevraag, inclusief de daarbij horende kosten van energie-infrastructuur. Daaruit wordt voor elke buurt die combinatie gekozen die de laagste maatschappelijke kosten heeft. Deze kosten bestaan uit de som van kosten voor distributie (de energie-infrastructuur), productie (energieverbruik), installaties (warmteopwektechnieken), gebouwmaatregelen (isolatie) en belastingen.

## Uitkomsten

De berekeningen laten zien welke verwarmingsoptie de laagste 'maatschappelijke kosten' heeft. Het geeft niet de uitkomst die het beste is voor een individu, een corporatie of bedrijf, maar wel voor de hele gemeenschap van Fryslân. De uitkomsten bieden aanknopingspunten voor de discussie met stakeholders, ze laten de kansen zien en geven een indicatie van de afwegingen die gemaakt moeten worden. Dit betekent:

- de uitkomsten zijn richtinggevend, niet maatgevend;
- de uitkomsten zijn niet absoluut of zwart/wit; afwijkingen zijn altijd mogelijk;
- de uitkomsten zijn geldig met de kennis, wetten en regels van nu.

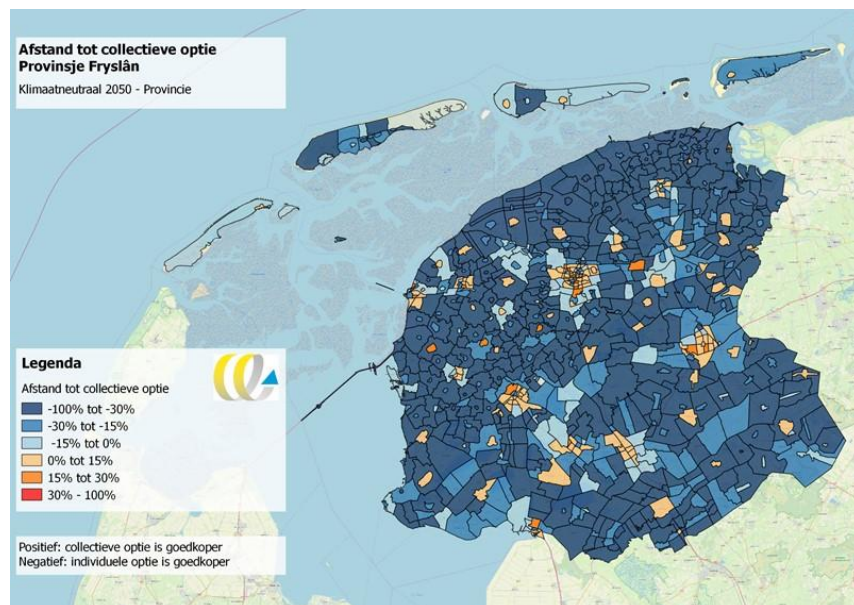
**We benadrukken dat het eindbeeld geen blauwdruk is van hoe het moet, maar wel een transparante kostendoorrekening is van elke combinatie in een buurt.**

De uitkomsten van het basisscenario staan weergegeven in Figuur 5 en Figuur 2. Hieruit blijkt dat in de steden veelal een warmtenet en de buitengebieden een individuele verwarmingstechniek de laagste maatschappelijke kosten heeft (zie Figuur 5).

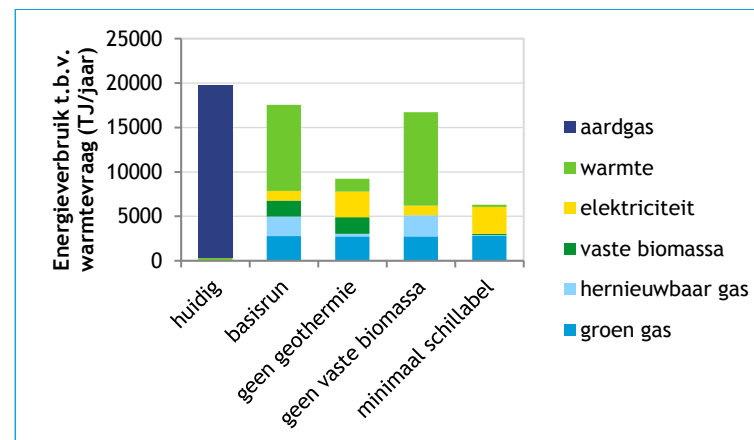
Als Figuur 2 bekeken wordt dan blijkt dat in de steden de kosten van de warmteopties veelal dichtbij elkaar liggen. Met andere woorden, er is in de steden een klein kostenverschil tussen een collectieve verwarmingstechniek en een individuele verwarmingstechniek. In de buitengebieden is het kostenverschil groter in het voordeel van individuele verwarmingstechnieken.



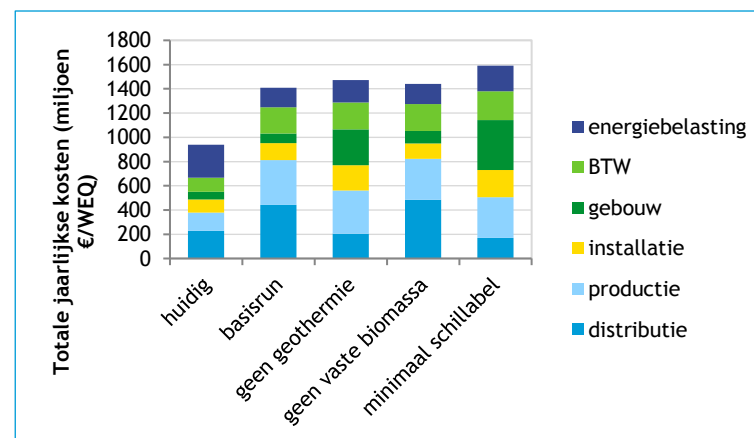
**Figuur 2 - Kostenverschil warmte vs. individuele optie (basisscenario)**



**Figuur 3 - Het energieverbruik t.b.v. warmtevoorziening (per scenario)**



**Figuur 4 - Jaarlijkse kosten per scenario**





In Figuur 3 t/m Figuur 8 worden de scenario's gepresenteerd. De scenario's geven door hun extreme aannames een beeld van de uithoeken van het speelveld. Hiermee kan de lezer een indruk krijgen van de gevoeligheid van een aantal belangrijke parameters.

De belangrijkste constatering uit de analyse van de scenario's zijn:

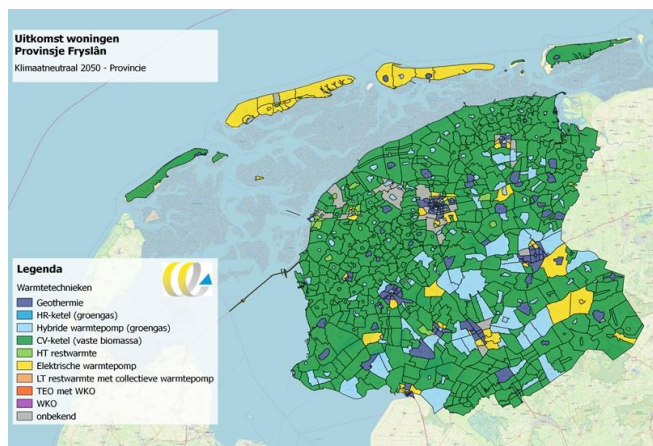
- Het energieverbruik van het basisscenario (basisrun) verschilt niet veel van het huidige energieverbruik (zie Figuur 3). In het basis-scenario (uit dit onderzoek) is het totale energieverbruik klimaat-neutraal, terwijl het huidige energieverbruik grotendeels fossiele energie (aardgas) betreft.
- Het scenario 'Geen geothermie' laat een groot verschil zien met het basisscenario. Allereerst valt op dat er in dit scenario minder warmte, inclusief hernieuwbaar gas t.b.v. piekketels overblijft en het energieverbruik t.b.v. elektrische warmtepompen is toegenomen (zie Figuur 3). Daarnaast is het energieverbruik van dit scenario aanzienlijk lager dan in het basisscenario. Dit komt omdat er in dit scenario meer elektrische warmtepompen zijn toegepast en elektrische warmtepompen een goede isolatie van de woning of het gebouw vereisen. Dit laatste resulteert in een lager energieverbruik.
- Bij het scenario 'Geen vaste biomassa' wordt de afname van de CV-ketel op vaste biomassa met name opgevangen door meer geothermie. Geothermie levert hogetemperatuurwarmte waardoor er geen noodzaak is om de woningen/gebouwen beter te isoleren. Dit resulteert in een bijna gelijk energieverbruik als het basisscenario.

- Het scenario 'Minimaal Schillabel B' resulteert in het laagste energieverbruik en bijna geen warmte meer.

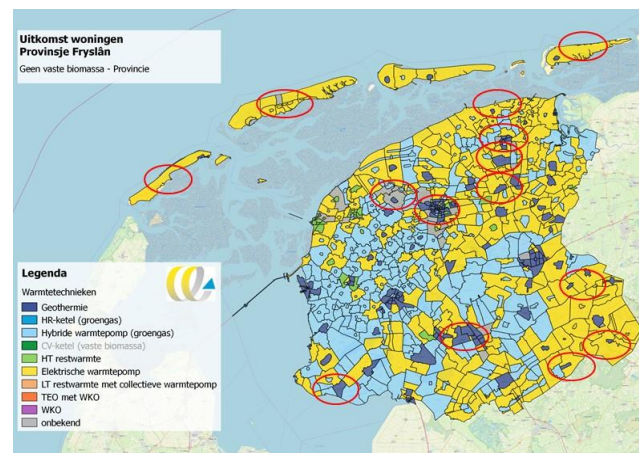
Figuur 4 laat de kostenopbouw van de onderzochte scenario's zien. Opvallend is dat het grootste kostenverschil aanwezig is tussen de huidige situatie en de klimaatneutrale scenario's. De kosten-verschillen tussen de vier klimaatneutrale scenario's zijn (relatief gezien) minder groot. Wel laat het scenario 'Minimaal Schillabel B' duidelijk hogere kosten zien.

In de volgende figuren is te zien welk effect bovenstaande scenario's hebben op de voorkeurstechiek van verschillende buurten.

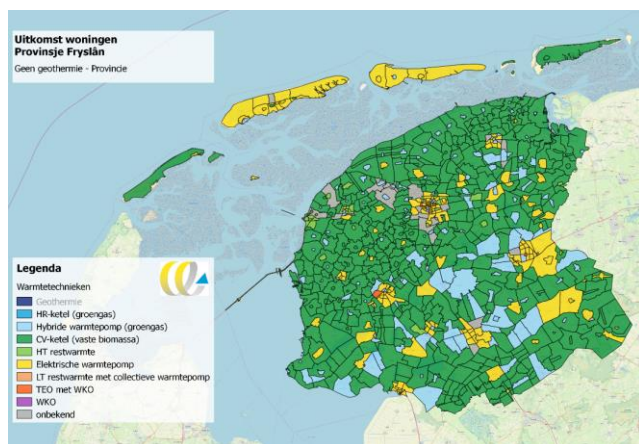
**Figuur 5 - Woningen (basisscenario)**



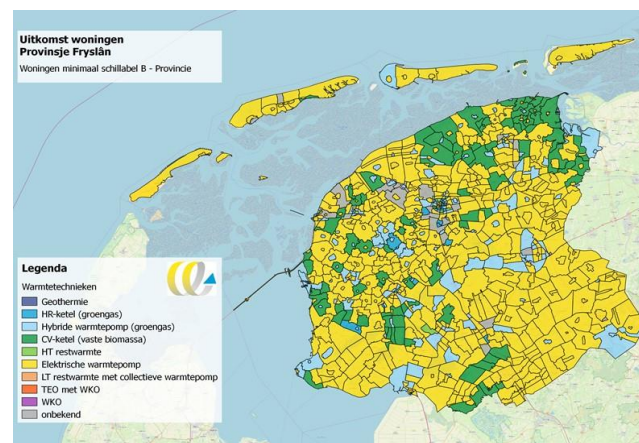
**Figuur 7 - Woningen (scenario geen vaste biomassa)**



**Figuur 6 - Woningen (scenario geen geothermie)**



**Figuur 8 - Woningen (scenario minimaal Schillabel B)**

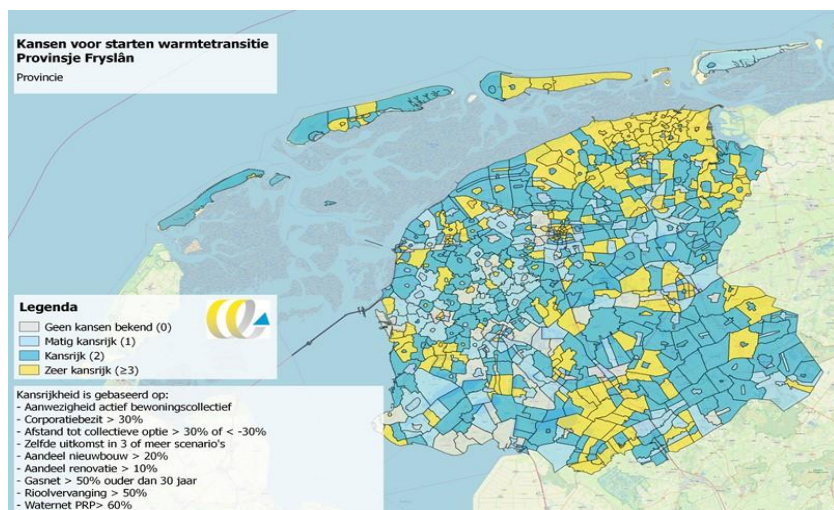




## Warmtekansenkaart

De warmtekansenkaart geeft aan waar mogelijk kansen liggen om als eerste te starten met de warmtetransitie. We hebben negen criteria voor de kanskaart gedefinieerd. Deze bestaan uit: kansen vanuit de techniek (verschillende uitkomsten van de modelberekeningen), kansen vanuit eigenaarschap en kansen vanuit meekoppelkansen. Deze kansen hebben we per buurt geïdentificeerd en weergegeven in een warmtekansenkaart. Buurten die op veel criteria scoren in de kanskaart, kunnen nader verkend worden of deze op korte termijn kunnen starten met de warmtetransitie. In Figuur 9 is te zien dat vele buurten (meerdere) kansen laten zien.

Figuur 9 - Kansenkaart provincie Fryslân



We hebben deze kansenkaart ook gecombineerd met buurten die een voorkeur voor een collectieve verwarmingstechniek hebben. In Figuur 36 - Kansenkaart voor collectieve systemen is te zien dat dan de meeste kansen liggen in: Leeuwarden, Drachten, Heerenveen, Sneek, Harlingen en een aantal losse buurten.

## Conclusies

De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- In de steden liggen de kosten van de gemodelleerde warmte-opties dichtbij elkaar, met een lichte voorkeur voor collectieve verwarmingstechnieken. Dit betekent dat andere argumenten dan kosten een rol kunnen gaan spelen bij het kiezen van een warmte-techniek, zoals wensen van bewoners/gebruikers, gemeente of andere stakeholders (o.a. warmteleveranciers).
- In de buitengebieden is er een sterke voorkeur voor een individuele verwarmingstechniek.
- Uit de analyse van de scenario's blijkt dat geothermie een zeer belangrijke warmtebron/verwarmingstechniek voor de provincie Fryslân is. Geothermie heeft een groot aandeel in het basis-scenario. Hoewel geothermie veelbelovend lijkt moet deze techniek zichzelf nog bewijzen. Wij adviseren de provincie Fryslân om het potentieel van geothermie te onderzoeken.
- Op het moment dat geothermie niet toepasbaar is (scenario 'Geen geothermie'), dan neemt het aandeel warmte, inclusief hernieuwbaar gas t.b.v. pieketels sterk af en het aandeel elektrische warmtepompen toe. Elektrische warmtepompen

produceren warmte met een lage temperatuur, waardoor de woning of het gebouw goed geïsoleerd moet zijn. Hierdoor is het energieverbruik van dit scenario aanzienlijk lager.

- Het scenario 'Minimaal Schillabel B' resulteert in het laagste energieverbruik en bijna geen warmte meer. Dit scenario is ook het duurste van de onderzochte scenario's.

### Advies voor vervolg

- In dit project hebben we met elkaar geconstateerd dat de informatie nog niet volledig is en dat het zeer wenselijk is als deze informatie wel beschikbaar komt. Daarom is ons eerste advies: Zorg dat de feitenbasis volledig wordt.
- De volgende stap is het verkrijgen van consensus over de feiten en betekenis van de uitkomsten van de analyses. Dit betekent samen met de belangrijkste stakeholders afstemming zoeken over de rekenmethodiek, de aannames, de afbakening, de data, etc.
- Selecteer daarna een buurt waarbij gestart zal worden met de warmtetransitie (pilot buurt).
- Stel een communicatieplan op waarin staat hoe met stakeholders wordt gecommuniceerd. Wij adviseren om in een vroeg stadium de bewoners te informeren en te betrekken bij de uitkomsten van onderzoeken en besluiten.
- Stel vervolgens businesscases op om inzicht te krijgen in de consequenties van de voorstellen voor diverse typen stakeholders en bekijk of de lusten en lasten van de transitie eerlijk verdeeld worden over alle stakeholders.

- Wanneer alle voorbereidende stappen zijn genomen, kan begonnen worden met de realisatie van de transitie en het inrichten van de ondersteunende activiteiten zoals: het organiseren van compenserende maatregelen voor die stakeholders die onevenredig veel lasten krijgen, het oprichten van kennispunten waar stakeholders vragen kunnen stellen over te treffen maatregelen.

De overheid werkt momenteel aan een aanpak voor Regionale Energiestrategieën en Warmtetransitievisies, waarin bovenstaande activiteiten verder worden uitgewerkt (zie hiervoor <http://regionale-energiestrategie.nl/>).

Dit onderzoek heeft veel informatie opgeleverd die als basis door gemeenten gebruikt kan worden bij het opstellen van warmteplannen. Voor de leesbaarheid van dit rapport worden hier alleen de meest opvallende zaken weergegeven.



## 2 Inleiding

### Aanleiding

De energievoorziening van Nederland zal ingrijpend moeten veranderen richting een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening in 2050 om in lijn te blijven met het klimaatakkoord van Parijs en daarmee een duurzame toekomst te bewerkstelligen. De Energieagenda van de Rijksoverheid geeft aan dat hiervoor een drastische reductie nodig is in het gebruik van fossiele energie (Ministerie van Economische Zaken, 2016). Een extra urgentie om van het gas af te gaan is het verminderen van de aardbevingen in Groningen.

### Vraagstelling

De provincie Fryslân omarmt de energietransitie door aan te sluiten bij het Rijksbeleid. De centrale vraag voor dit onderzoek is: *“Op welke wijze kan de provincie Fryslân in de warmte- en koudevraag voorzien zodanig dat er in 2050 tegen zo laag mogelijke (integrale) kosten voor gebruiker én maatschappij klimaatneutraliteit wordt bereikt?”*

Dit onderzoek gaat nader in op de warmte- en koudevraag van woningen en utiliteitsgebouwen in de gebouwde omgeving. Het onderzoek geeft inzicht hoe deze warmtevraag in het jaar 2050 klimaatneutraal kan worden ingevuld tegen zo laag mogelijke kosten (voor de maatschappij en gebruiker). Daarnaast wordt er invulling gegeven aan de volgende deelvragen/aspecten:

- In welke buurten is er een duidelijke voorkeursoplossing?

- Wat zijn de randvoorwaarden voor de beste warmteoptie? (Bijvoorbeeld: Wat betekent de beste warmteoptie voor de mate waarin woningen binnen deze buurt moeten worden geïsoleerd?).

Tevens geeft het onderzoek inzicht waar (in welke buurten) het beste kan worden gestart met de warmtetransitie en welke vervolgstappen de gemeente kan nemen op basis van deze warmteanalyse.

CE Delft is gevraagd om een analyse te maken van de mogelijkheden die er zijn om de warmtevraag klimaatneutraal in te vullen.

### 2.1 Leeswijzer

In Hoofdstuk 3 geven wij met een korte uitleg van het doorlopen proces. Vervolgens behandelen we in Hoofdstuk 4 de uitgangspunten en aannames dit we voor deze studie hebben gehanteerd. In dit hoofdstuk geven wij ook een beschrijving van de verwarmings-technieken die beschouwd zijn. We beschrijven het gebruikte rekenmodel (CEGOIA) in Hoofdstuk 5. Het eindbeeld ‘klimaatneutraal verwarmen van de provincie Fryslân in 2050 met de laagste maatschappelijke kosten’ presenteren wij in Hoofdstuk 6. Naast het basis-scenario hebben we drie andere varianten gedefinieerd om de invloed van bepaalde aannames inzichtelijk te maken.

Deze uitkomsten analyseren we en vergeleken we onderling (scenarioanalyse) in Hoofdstuk 7. Daarna presenteren wij in Hoofdstuk 8 een kaart met buurten die kansen laten zien om daar de energietransitie in de gebouwde omgeving (de warmtetransitie) te



beginnen. In Hoofdstuk 9 zoomen we in op de regio's en geven daarvan de belangrijkste uitkomsten. We sluiten in Hoofdstuk 10 het onderzoek af met onze conclusies en geven adviezen voor het vervolg van dit onderzoek in Hoofdstuk 11.

De bijlagen zijn bedoeld voor inhoudelijke experts, om de uitkomsten van deze rapportage beter te kunnen doorgronden. In Bijlage A is een uitgebreide omschrijving opgenomen van de werking van het CEGOIA-model. In Bijlage B is een overzicht opgenomen van de inputwaarden die we verkregen hebben vanuit de provincie, gemeenten en andere betrokken partijen (woningcorporaties en warmteleveranciers). In Bijlage B worden de modelparameters beschreven die gebruikt zijn in dit onderzoek.

## **Woningen en utiliteit**

In de rapportage worden diverse kaarten gepresenteerd. Deze kaarten geven meestal de uitkomsten voor de woningen weer. De analyses zijn echter voor de gehele gebouwde omgeving uitgevoerd, waarbij de optimale uitkomsten zijn bepaald voor de combinatie van woningen en utiliteitsbouw (kantoren, winkels, scholen, etc.). Om praktische redenen is het niet altijd mogelijk om de uitkomsten voor deze combinatie in één kaart inzichtelijk te maken. Daarom worden zij gescheiden gepresenteerd. Voor de opdrachtgever provincie Fryslân is een presentatie gemaakt waarin meer kaarten zijn opgenomen. Tevens zijn digitale kaarten opgesteld waarin alle beschikbare informatie van de analyses beschikbaar is voor zowel woningen als utiliteitsbouw (shape files).

## ***Woningequivalenten (WEQ)***

Daar waar in dit rapport wordt gesproken over woningequivalenten (WEQ) wordt wel een gecombineerde weergave van woningen en utiliteitsbouw gemaakt. Hierbij zijn de utiliteitsgebouwen omgezet naar equivalente woningen op basis van hun gebruiksoppervlak (150 m<sup>2</sup> gebruiksoppervlak voor utiliteit komt overeen met 1 WEQ).

### 3 Het doorlopen proces

In dit hoofdstuk beschrijven wij beknopt de aanpak hoe de warmtekansenkaart tot stand is gekomen. Allereerst staan wij stil bij de verschillende fasen van het proces, waarna we iedere fase kort beschrijven.

#### 3.1 Regionale aanpak

Figuur 10 geeft schematisch weer hoe het project doorlopen is.

Voor de begeleiding van dit onderzoek heeft de provincie gebruik gemaakt van bestaande overleggroepen. De provincie Fryslân heeft zes aparte overleggroepen (de streekagenda's) waarin gemeenten milieuonderwerpen met elkaar bespreken. De provincie heeft dit onderzoek toegevoegd aan deze streekagenda's. De regio's bestaan uit:

- Noordoost-Fryslân;
- Noordwest-Fryslân;
- Zuidoost-Fryslân;
- Zuidwest-Fryslân;
- Waddeneilanden.

Aan de overleggroepen hebben de gemeenten van de betreffende regio's en de provincie Fryslân deelgenomen.

De gemeente Leeuwarden heeft voor de begeleiding van dit onderzoek een werkgroep opgericht waaraan werd deelgenomen door verschillende stakeholders.

Dit waren: Elkien, Alliander, Bouwgroep Dijkstra Draisma, Ennatuurlijk, Friesland Campina, Wetterskip Fryslân, provincie Fryslân en gemeente Leeuwarden.

Figuur 10 - Doorlopen proces





Elke overleggroep is drie keer bij elkaar geweest. In de eerste bijeenkomst hebben wij de studie en de werking van het CEGOIA-rekenmodel uitgelegd. Aan de overleggroepen is gevraagd om advies uit te brengen omtrent de technieken die beschouwt dienen te worden, de aannames en uitgangspunten van het onderzoek en de gevoeligheidsanalyses (scenario's) van het eindresultaat. Tevens hebben wij in deze bijeenkomsten uitgelegd welke informatie wij nodig hebben om de resultaten van de studie te kunnen verbeteren.

Tussen de eerste en tweede bijeenkomst hebben wij de ontvangen informatie gecontroleerd op bruikbaarheid, verwerkt in ons rekenmodel en hebben wij de eerste berekeningen uitgevoerd.

In de tweede bijeenkomst hebben wij de conceptresultaten van de studie gepresenteerd aan de werkgroep. Toen is geconcludeerd dat het wenselijk was om meer informatie vanuit gemeenten in het model op te nemen. Daarom is besloten dat gemeenten tot uiterlijk eind augustus 2018 nadere informatie konden aanleveren.

Tussen de tweede en derde bijeenkomst is veel nieuwe informatie vanuit de gemeenten verstrekt aan en verwerkt door CE Delft. Dit heeft geleid tot verbeterde uitkomsten. Tevens heeft de provincie - op basis van adviezen van de gemeenten - de uitgangspunten en de

drie scenario's bepaald. Op basis van deze keuze hebben wij de berekeningen opnieuw uitgevoerd.

De uitkomsten hebben wij gepresenteerd en besproken in de derde bijeenkomst (eindbijeenkomst).

## 4 Uitgangspunten en aannames

### 4.1 Afbakening van het onderzoeksgebied

Deze studie richt zich op de invulling van warmtevraag voor de gebouwde omgeving. Met gebouwde omgeving wordt bedoeld de woningbouw en utiliteitsbouw. De warmtevraag van industrie en landbouw valt buiten de scope van deze studie.

In deze studie zijn de buurten<sup>3</sup> binnen de provincie Fryslân onderzocht op de invulling van hun warmtevraag. De provincie Fryslân bestaat uit 808 buurten met circa 300.000 woningen en circa 11.000.000 m<sup>2</sup> aan utiliteitsgebouwen.

### 4.2 Doel: Klimaatneutraal in 2050

Voor deze studie kiest de provincie Fryslân het zichtjaar 2050. Hiermee volgt de provincie het Rijksbeleid. De Rijksoverheid wil dat Nederland in 2050 geen CO<sub>2</sub> meer uitstoot en niet meer op aardgas kookt en stookt. Dit doel noemen wij klimaatneutraal<sup>4</sup> in 2050.

<sup>3</sup> Voor de buurtindeling zijn de buurtbegrenzings van het CBS aangehouden.

<sup>4</sup> Bij klimaatneutraal is import van energie van buiten het beschouwde gebied mogelijk (bijvoorbeeld elektriciteit van Wind op Zee). Bij energieneutraal dient alle energie binnen het beschouwde gebied opgewekt te worden/aanwezig te zijn.

### 4.3 Beschikbaarheid van energiedragers voor Fryslân

Een energiedrager is een medium dat bruikbare energie bevat. De beschikbaarheid van de energiedrager is afhankelijk van de uitgangspunten die in het CEGOIA-model worden verwerkt én van de (geografische) beschikbaarheid van de energiedrager in de regio. De beschikbaarheid van de energiedragers bepaalt in belangrijke mate welke warmtetechnieken kunnen worden toegepast voor de buurten in de provincie Fryslân. In de volgende alinea's wordt aangegeven welke energiedragers beschikbaar zijn en of er beperkingen<sup>5</sup> in de beschikbaarheid van deze energiedragers zijn.

| Energiedrager              | Beschikbaarheid                                                                         |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Elektriciteit              | Ongelimiteerd.                                                                          |
| Groengas                   | 2.8 PJ. (4,1% van 68PJ).                                                                |
| Hernieuwbaar gas           | Ongelimiteerd maar wel beperkt tot alleen gebruik voor bijstook (bij warmtenetten).     |
| Geothermie                 | Ongelimiteerd bij geschikte bodem.                                                      |
| Bodemenergie               | Ongelimiteerd tenzij bodembepalingen.                                                   |
| HT-restwarmte <sup>6</sup> | Beperkt tot beschikbare HT-restwarmtebronnen in de provincie en afstand bron tot buurt. |
| LT-restwarmte <sup>7</sup> | Beperkt tot beschikbare LT-restwarmtebronnen in de provincie en afstand bron tot buurt. |
| Vaste biomassa             | Maximaal 30.000 woningen.                                                               |

<sup>5</sup> De beperkingen zijn in overleg met de opdrachtgever en stakeholders vastgesteld of/en gebaseerd op voorgaande studies.

<sup>6</sup> Hogetemperatuurrestwarmte (70-120°C) is rechtstreeks toepasbaar voor warmtelevering in woningen.

<sup>7</sup> Lagetemperatuurrestwarmte (circa 30°C).

### 4.3.1 Elektriciteit

Figuur 11 - Hoogspanningsmasten t.b.v. het transport van elektriciteit



Elektriciteit kan worden gebruikt om warmte te genereren. Een veel toegepaste warmtetechniek waarbij veel elektriciteit gebruikt wordt is de elektrische warmtepomp. De elektrische warmtepomp gebruikt energie uit de buitenlucht<sup>8</sup>, ventilatielucht of de bodem<sup>9</sup>, om deze energie met behulp van elektriciteit op te waarden naar de juiste temperatuur voor het verwarmen van het gebouw en eventueel het tapwater. Een warmtepomp kan naast verwarmen, ook koelen. Omdat we uitgaan van het doel klimaatneutraal in 2050 is import van energie van buiten de provincie mogelijk. Binnen deze studie is daarmee geen beperking op elektriciteit aangehouden. Dit betekent dat elektriciteit geïmporteerd kan worden van buiten de provinciegrenzen.

<sup>8</sup> Factsheet Luchtwarmtepomp: [www.warmtetechnieken.nl](http://www.warmtetechnieken.nl)

<sup>9</sup> Factsheet Bodemwarmtepomp: [www.warmtetechnieken.nl](http://www.warmtetechnieken.nl)

### 4.3.2 Groengas

Figuur 12 - Biogascentrale



Biogas wordt geproduceerd door biomassa te vergisten of vergassen. Groengas kan vervolgens worden geproduceerd door biogas op te waarden<sup>10</sup> naar de kwaliteit van het huidige aardgas. Dit groengas kan vervolgens worden geïnjecteerd in het gasnet. Warmtetechnieken zoals de HR-ketel of een hybridewarmtepomp zijn in staat om dit groene gas om te zetten in warmte. Bij de hybridewarmtepomp wordt groengas echter alleen gebruikt op momenten van piekvraag aan warmte. In de basislast, buiten de piekvraag, draait deze hybridewarmtepomp op elektriciteit. Hierdoor wordt circa 50% van de totale warmtevraag met een hoog rendement opgewekt met elektriciteit<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Opwaardering gebeurt door reiniging van het biogas (van chloor, zwavel, etc.) en door CO<sub>2</sub> uit het biogas te onttrekken, zodat een hoger methaangehalte resulteert.

<sup>11</sup> Factsheet hybridewarmtepomp: [www.warmtetechnieken.nl](http://www.warmtetechnieken.nl).

Voor de provincie Fryslân is uitgegaan van een beschikbaarheid van 2,8 PJ aan groengas. Gasunie heeft recentelijk in het rapport 'Verkenning 2050' een schatting gemaakt voor de beschikbaarheid van groengas (Gasunie, 2018). In totaal schatten zij dat er in Nederland 68 PJ aan groengas beschikbaar zal zijn voor de gebouwde omgeving. Naar rato van het huidige gasverbruik is er groengas toegekend aan Fryslân (4,1%).

Of groengas daadwerkelijk beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving, en in welke hoeveelheid, is nog onbekend. Dit komt omdat groengas voor de industrie een zeer wenselijk product is om warmte op hoge temperatuur ( $> 100^{\circ}\text{C}$ ) te maken. Hierdoor zal er naar verwachting concurrentie ontstaan tussen de beschikbaarheid van groengas voor de gebouwde omgeving en de industrie.

#### 4.3.3 Hernieuwbaar gas

Hernieuwbaar gas is een gas dat wordt geproduceerd uit een hernieuwbare bron (bijvoorbeeld waterstof of ammoniak). In deze studie gaan wij ervan uit dat hernieuwbaar gas wordt toegepast in de piekvoorziening van collectieve warmtenetten. Hernieuwbaar gas kent geen fysieke beperking, omdat hernieuwbaar gas gemaakt wordt m.b.v. elektriciteit (welke geen beperking kent in deze studie). De beperking van hernieuwbaar gas is economisch van aard.

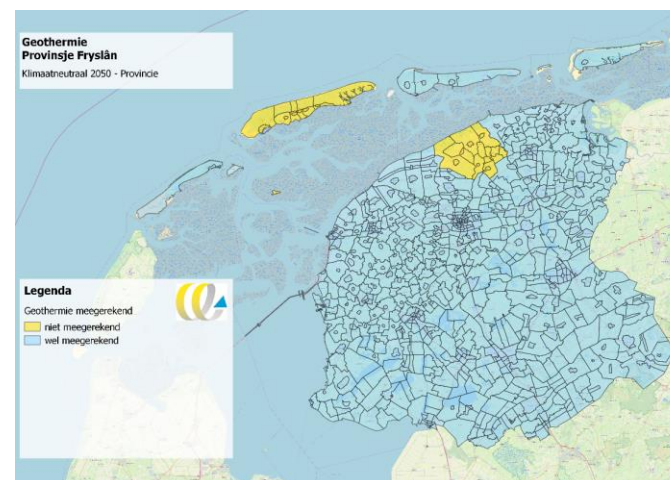
#### 4.3.4 Geothermie

Geothermie (warmte vanuit een diepte  $> 1.500\text{ m}$ ) heeft een groot potentieel in Fryslân. Wij gaan ervan uit dat een warmtenet op basis

van geothermiewarmte met een temperatuur van  $70^{\circ}\text{C}$  kan leveren, waardoor het geschikt is voor alle type woningen.

Volgende kaart is gebaseerd op de studie 'Potentieel geothermie' (Royal HaskoningDHV, 2018) en geeft weer waar er potentie is voor geothermie. Op basis van deze studie en de opgave van Terschelling is besloten om geothermie niet mee te nemen in de gele gebieden.

Figuur 13 - Geothermie meegerekend?



In deze studie kijken wij of de ondergrond geschikt is voor geothermie (en niet of er al geothermieputten zijn of ontwikkeld worden). Daarbij wordt er geen ondergrens gesteld aan het aantal aansluitingen voor het toepassen van geothermie in een buurt.

Dit komt omdat wij in deze studie willen laten zien welke buurten geschikt zijn voor geothermie.

In de praktijk is er wel een rendabele ondergrens voor een geothermieproject. Een geothermieput levert warmte voor circa 5.500 woningen per bron<sup>12</sup>. Vaak zal een enkele buurt onvoldoende warmtevraag hebben om deze ondergrens te bereiken. De rendabele ondergrens voor geothermie kan mogelijk wel bereikt worden door het aan elkaar schakelen van buurten die geschikt zijn voor warmte (geothermie en restwarmte) en/of het benutten van een warmtevraag in nabijgelegen buurten. Denk hierbij aan een warmtevraag vanuit de (klein)industrie en/of glastuinbouw.

Als de rendabele ondergrens niet bereikt kan worden, dan zijn er diverse (innovatieve) geothermieopties die nader onderzocht kunnen worden:

- enkel gats (IF Technology, 2017);
- een klein doublet met een 'slim hole';
- ondiepe geothermie (KEMA ; IF Technology ; DLV , 2012).

Uit het IF-Rapport 'Single hole geothermische systemen' (IF Technology, 2017) blijkt dat een enkel gatsproject warmte levert die duurder is dan warmte uit een 'gewoon' geothermie doublet.

<sup>12</sup> Een standaard geothermiebron levert circa 200 TJ per jaar (11 MW bij 5.000 vollasturen, bron: platform geothermie). De aansluitwaarde van een woning ligt tussen de 7,5 kW (gestapeld) en 9 kW (grondgebonden) per woning. We gaan uit van een gemiddelde aansluitwaarde van circa 8

Maar een 'gewoon' doublet kan weer alleen uit bij een relatief grote warmtevraag. Indien de warmtevraag gefaseerd beschikbaar komt (bijvoorbeeld bij de aanleg van een woonwijk) of indien de warmtevraag nooit boven de 1,5 tot 2 MW komt, dan is een monobron een goede mogelijkheid. De belangrijkste toepassingsgebieden zijn woningbouw (300-500 woningen) en kleinschalige glastuinbouw.

#### 4.3.5 Bodemenergie (elektrische warmtepomp met bodemwarmtewisselaar en WKO)

Figuur 14 - Bodemlagen (Bridge, 2010)



kW/woning, een gelijktijdigheid van 50% en 50% van het vermogen wordt ingevuld met de piekvoorziening (hernieuwbaar gas). Dit resulteert in een rekenwaarde van 2 kW/woning. De bron heeft een vermogen van 11 MW/rekenwaarde 2 kW = rendabele ondergrens van 5.500 woningen per geothermie bron.

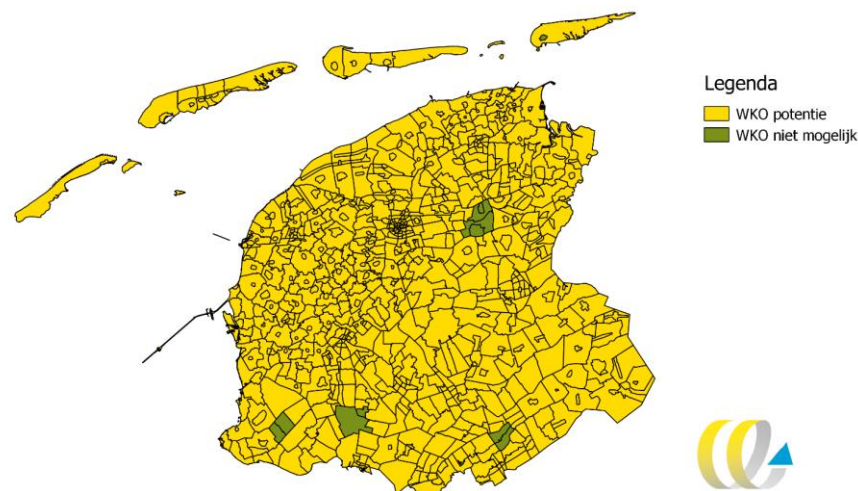


Zoals hierboven vermeld, kan een elektrische warmtepomp energie uit de bodem halen (met een gesloten bodemenergiesysteem), die wordt opgewaardeerd voor het verwarmen of koelen van een gebouw. Veelal wordt een bodemwarmtepomp ingezet als individuele warmtetechniek, dus voor een enkele woning of gebouw.

Een warmtetechniek die zich meer richt op collectieve toepassingen is een WKO-installatie (warmte- en koudeopslag met een open bodemenergiesysteem). Deze warmtetechniek verwarmt of koelt meerdere gebouwen met één systeem. In tegenstelling tot de bodemwarmtepomp wordt er bij de WKO gebruik gemaakt van open putten waaraan grondwater wordt onttrokken. Na gebruik wordt dit water weer geïnjecteerd in de bodem. Deze techniek vereist daarom een evenwichtige balans in de warmte- en koudevraag en wordt toegepast bij utiliteitsbouw en nieuwbouw appartementencomplexen. WKO kan ook worden toegepast in combinatie met een andere lagetemperatuurbron, zoals oppervlaktewater (TEO-thermische energie uit oppervlaktewater). Het oppervlaktewater verwarmt in de zomermaanden de WKO-bron (bodem).

WKO is voor geheel Fryslân beschikbaar met uitzondering van de gebieden waar drinkwater wordt gewonnen (zie Figuur 15).

Figuur 15 - Mogelijkheden voor WKO



#### 4.3.6 Hogetemperatuurwarmte

Figuur 16 - Restwarmte industrie



Restwarmte (70-120°C) uit de lokale industrie is een kansrijke bron van warmte. Meerdere industrieën in de provincie Fryslân zijn momenteel potentiële leveranciers van restwarmte. Er wordt voor restwarmte enkel gerekend met reeds bestaande warmtebronnen binnen de provinciegrens. Deze zijn in Tabel 2 aangegeven.

Niet alle buurten komen echter in aanmerking voor restwarmte in verband met de afstand van de buurt tot de industrie<sup>13</sup>.

Tabel 2 - Overzicht meegenomen hogetemperatuurbronnen

| Industrie                                 | Vermogen (MW <sub>th</sub> ) |
|-------------------------------------------|------------------------------|
| Reststoffen Energie Centrale (REC)        | 65                           |
| FrieslandCampina (Leeuwarden)             | 11                           |
| Sonac Burgum BV                           | 8                            |
| FrieslandCampina Workum                   | 5                            |
| Phoenix BV                                | 4                            |
| FrieslandCampina Cheese (Gerkesklooster)  | 3                            |
| Lamb Weston / Meyer VOF (Klooster Lidlum) | 3                            |
| Huhtamaki Nederland BV                    | 3                            |
| Hochwald Nederland BV                     | 2                            |
| FrieslandCampina (Dronrijp)               | 1                            |
| Gasunie Compressorstation (Oldeboorn Fr)  | 2                            |
| BASF Nederland BV (Nijehaske)             | 1                            |
| Van Gansewinkel (Drachten)                | 0,4                          |
| Onttinningsfabriek (Leeuwarden)           | 0,6                          |
| Friesland Campina (Wolvega)               | 0,3                          |

<sup>13</sup> Hoe groter de restwarmtebron, hoe groter de afstand tussen bron en afnemer kan zijn. Er wordt aangenomen dat deze afstand maximaal 10 km is.

### 4.3.7 Lagetemperatuurwarmte

Figuur 17 - Datacentrum (een bron van lagetemperatuurwarmte)



De toepasbaarheid van lagetemperatuurwarmte is sterk afhankelijk van het aanbod van (voldoende) lagetemperatuurbronnen. Zie een overzicht van belangrijke lagetemperatuurbronnen in Tabel 2. De lagetemperatuurwarmte kan in combinatie met een warmtepomp gebruikt worden voor de warmtevoorziening van een goed geïsoleerde woning/gebouw. Er is echter wel een warmtenet benodigd om de lagetemperatuurwarmte te transporteren van de bron naar afnemer.

Om een warmtenet rendabel toe te passen is een redelijk dicht bebouwd gebied en een minimale warmteafzet nodig. CE Delft veronderstelt in de analyse een stedelijkheidsgraad van drie of lager volgens de categorisatie van het CBS<sup>14</sup>. Dit zijn dichtbebouwde gebieden in dorpen en steden (matig tot zeer stedelijke gebieden). De minimale warmteafzet is projectafhankelijk. Daarom nemen wij dit criterium niet mee voor de beoordeling of een buurt geschikt is voor lagetemperatuurrestwarmte. In een vervolgfase dient dit onderzocht te worden. De minimaal benodigde warmteafzet kan bereikt worden door meerdere buurten en/of andere warmtevragers aan elkaar te koppelen.

In de analyse veronderstellen we dat geschikte buurten beschikken over een aantal van de in Tabel 3 genoemde thermische bronnen, binnen een afstand van 750 meter van de buurt. Het aantal bronnen dat nodig is hangt af van de huidige warmtevraag van de buurt. Hierbij is aangenomen dat er gemiddeld 20 TJ warmte beschikbaar is per bron.

<sup>14</sup> Het CBS kent op grond van de omgevingsadressendichtheid aan iedere buurt een stedelijkheidsklasse toe. De volgende klassenindeling wordt hierbij gehanteerd: 1) zeer sterk stedelijk  $\geq 2\,500$

adressen per km<sup>2</sup>; 2) sterk stedelijk 1 500-2 500 adressen per km<sup>2</sup>; 3) matig stedelijk 1 000-1 500 adressen per km<sup>2</sup>; 4) weinig stedelijk 500-1 000 adressen per km<sup>2</sup>; 5) niet stedelijk < 500 adressen per km<sup>2</sup>.

**Tabel 3 - Lagetemperatuurbronnen**

| Bron                          | Type                    | Aanname                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Middelgrote industrie         | Warmte/koud             | Bedrijventerrein met een maximale milieucategorie van drie of hoger <sup>15</sup> . Daarnaast/waaronder bedrijven met lozingen van koelwater, proceswater of afvalwater opgegeven door het Wetterskip Fryslân. |
| Rioolwaterzuiveringen         | Warmte                  | Bij alle zuiveringen in Nederland is potentieel voor onttrekking van warmte uit effluent.                                                                                                                      |
| Koel-, vries- en slachthuizen | Warmteaanbod Koudevraag | Koel- en vrieshuizen aangesloten bij Nekovri en slachthuizen uit de RVO-WarmteAtlas.                                                                                                                           |
| Datacenters                   | Warmteaanbod Koudevraag | Locaties in Nederland uit datacentrumgids en van NLIX.                                                                                                                                                         |
| Kunstijsbanen                 | Warmteaanbod Koudevraag | Locaties in Nederland.                                                                                                                                                                                         |
| Supermarkten                  | Warmteaanbod Koudevraag | Buurtten met grote supermarkten (>250 m <sup>2</sup> ) volgens het CBS (binnen 1 km), wij kennen warmteonttrekking toe als er tenminste twee grote supermarkten in een straal van 1 km aanwezig zijn.          |
| Glastuinbouwbedrijven         | Warmte                  | Glastuinbouwbedrijven uit de RVO-WarmteAtlas.                                                                                                                                                                  |

<sup>15</sup> Over het algemeen zijn het de grotere bedrijven met een grotere milieucategorie; bedrijven waarbij veel restwarmte beschikbaar is vallen veelal ook in een hoge milieucategorie.

#### 4.3.8 CV-ketel op vaste biomassa

**Figuur 18 - Vaste biomassa** (Böhringer, 2009)



Vaste biomassa kan verbrand worden in CV-ketels (pelletkachels) en in een Wijk-WKK<sup>16</sup>. De provincie heeft gekozen om de CV-ketel op vaste biomassa mee te nemen in de modelberekeningen. Dit ondanks de negatieve effecten op luchtkwaliteit en andere nadelen zoals duurzaamheid van de houtvoorziening en demineralisatie van de bosgronden. De reden hiervoor is dat deze techniek nu al wordt aangeschaft door bewoners. De provincie vindt het echter niet wenselijk om CV-ketels op vaste biomassa in stedelijke gebieden toe te passen. Dit is vanwege de luchtverontreiniging (met name fijnstof, roet en andere schadelijke stoffen) die deze met zich meebrengen wanneer ze worden toegepast in een hoog stedelijke omgeving.

<sup>16</sup> De Wijk-WKK wordt in dit onderzoek niet onderzocht.

Daarnaast is door de provincie besloten om een maximum van 30.000 WEQ op vaste biomassa CV-ketels aan te houden. Het maximum van 30.000 WEQ is gebaseerd op een potentieel-schatting van de omvang van vaste biomassa (snoeiafval van gemeenten en resthout van de houtverwerkende industrie) in de provincie Fryslân<sup>17</sup>.

Om de uitkomsten van de berekeningen tot deze 30.000 WEQ op vaste biomassa CV-ketels te beperken, hanteren wij in ons reken-model dat CV-ketels op vaste biomassa alleen in buurten met een stedelijkheidsklasse vijf (= niet stedelijk < 500 adressen per km<sup>2</sup>) en lagere buurtomvang dan 250 huishoudens toegepast mag worden.

#### 4.4 Beschikbaarheid van energiedragers voor de Waddeneilanden

Op Waddeneilanden verschilt de beschikbaarheid van energiedragers van het vaste land en van elkaar. Omdat de uitwisselbaarheid van energiedragers tussen de eilanden en het vaste land (zeer) beperkt mogelijk is, is besloten tot een aparte behandeling van de eilanden. De Waddeneilanden zijn dan ook afzonderlijk van de rest van de provincie Fryslân berekend. Daarbij konden de Waddeneilanden zelf hun uitgangspunten meegeven. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd.

**Figuur 19 - Uitgangspunten Waddeneilanden**

|                 | Groengas                                                 | Vaste biomassa                    | Restwarmte        | Geothermie |
|-----------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------|
| Ameland         | naar ratio huidig<br>0,6 miljoen m <sup>3</sup> verbruik | 1,4 TJ 100 ton GFT, 80 ton takken | ja Buurt<br>Buren | ja         |
| Schiermonnikoog | naar ratio huidig<br>0,2 miljoen m <sup>3</sup> verbruik | 8 TJ 1000 ton gft                 | nee               | ja         |
| Terschelling    | 0                                                        | 10 TJ 1000 ton afval en 60 ha bos | nee               | nee        |
| Vlieland        | 0                                                        | geen beperking                    | nee               | ja         |

#### 4.5 Beschouwde verwarmingstechnieken

Voorafgaand aan de presentatie van de conceptresultaten is een diverse set van warmtetechnieken onderzocht op toepasbaarheid. De toepasbaarheid van warmtetechnieken in de provincie is afhankelijk van de beschikbaarheid aan energiedragers. Veel warmtetechnieken bleken naar afronding van deze analyse toepasbaar in de provincie.

Omdat het CEGOIA-model maximaal tien warmtetechnieken kan doorrekenen is vervolgens in overleg met de provincie en belangrijke stakeholders gekozen welke warmtetechnieken er wel en niet meegenomen worden in de studie.

<sup>17</sup> Bron: onderzoek van de Provincie (dhr. S. v.d. Lubbe) t.b.v. de kansen voor een Friese pelleteerfabriek.



Gekozen is om de volgende warmtetechnieken door te rekenen met het CEGOIA-model:

#### **Individuele technieken**

- HR-ketel op groengas;
- hybridewarmtepomp (buitenlucht) op groengas;
- elektrische warmtepomp (bodemwarmtewisselaar);
- elektrische warmtepomp (buitenlucht);
- CV-ketel op vaste biomassa (pelletkachel).

#### **Collectieve technieken**

- *Geothermie*. Dit betreft een warmtenet die gevoed wordt door een geothermieput.
- *HT-restwarmte*. Dit betreft een hogetemperatuurwarmtenet.
- *LT-restwarmte met collectieve warmtepomp*. Dit betreft een warmtenet die gevoed wordt door een lagetemperatuurbron van circa 30°C. De temperatuur in het warmtenet wordt met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd naar circa 70°C. Hierdoor zijn er geen zware isolatiemaatregelen in de woning vereist en is geen additionele voorziening voor warmtapwaterbereiding nodig.
- *WKO*. Dit betreft een warmte- en koudeopslag (zie vorig hoofdstuk).
- *TEO i.c.m. WKO met ~70°C warmtenet*. In dit systeem wordt de bron van de WKO-installatie in de zomermaanden opgewarmd met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO).

Voor een uitgebreide toelichting op de werking van het CEGOIA-model verwijzen wij u graag naar Bijlage A. De gebruikte parameters staan beschreven in Bijlage B en voor een goede samenvatting van bovengenoemde technieken verwijzen wij graag naar de website van [www.warmtetechnieken.nl](http://www.warmtetechnieken.nl).



## 5 Het CEGOIA-model

### 5.1 Inleiding

Voor het bepalen met welke duurzame verwarmingstechnieken de gebouwde omgeving verwarmd kan worden tegen de laagste maatschappelijke kosten maken wij gebruik van het CEGOIA-model (zie hieronder). Voor inhoudelijk experts is in de bijlage een uitgebreidere toelichting op de werkwijze van het CEGOIA-model, en de in deze modelberekening gehanteerde aannames en inputwaarden opgenomen.

### 5.2 CEGOIA-model

CEGOIA is een model aan de hand waarvan op basis van diverse parameters kan worden berekend welke energievoorziening van de gebouwde omgeving (woningen, utiliteitsbouw en eventueel glastuinbouw) de laagste maatschappelijke kosten (jaarlijkse CAPEX en OPEX<sup>18</sup>) over de gehele keten heeft: productie - transport - consumptie - besparing. Hierbij wordt gekeken naar de warmte- en elektriciteitsvraag en kunnen zon-PV en zonneboilers worden meegenomen.

Het model is door CE Delft ontwikkeld om een uitspraak te doen over het eindbeeld en de mogelijke ontwikkeling van het energievraagstuk in de gebouwde omgeving en de gevolgen die dat heeft voor de fysieke (infra)structuren. Het model is onder meer gebruikt in

projecten voor GasTerra, Gasunie, Eneco, Enexis, Alliander, Stedin, de gemeenten Amsterdam, Apeldoorn, Arnhem Culemborg, Den Haag, Eindhoven, Gouda, Helmond, Maastricht, Nijmegen, Parkstad, Limburg, Tiel en Zaanstad en provincies Drenthe, Limburg, Noord-Holland, Overijssel en Zeeland.

Op buurniveau (CBS-indeling) worden alle ketenaspecten berekend. Meerdere besparingsniveaus, diverse technieken en verschillende energiebronnen worden toegepast. Het model is hierbij transparant en flexibel. In overleg met de opdrachtgever(s) worden de parameters vastgesteld. Daarnaast kan gekozen worden uit een grote variatie van technieken voor de warmtevraag, van individuele warmtepompen tot grootschalige geothermie of industriële restwarmte.

Het model resulteert in een overzicht van de totale jaarlijkse kosten (woningaanpassing, netinfrastructuur, kosten voor warmtelevering en -opwek) van alle opties voor de onderzochte buurttypen, gegeven de aangenomen parameters.

Het model rekent met werkelijke energieverbruiken op buurniveau en neemt de specifieke eigenschappen van alle 12.000 buurten in Nederland mee. Zo kan zowel voor héél Nederland als voor één enkele gemeente - of cluster van gemeenten - worden berekend wat

<sup>18</sup> CAPEX (Capital Expenditure) zijn de investeringen in een verwarmingssysteem en OPEX (Operational of Operating Expenditures) zijn de terugkerende kosten voor een verwarmingssysteem.

Om verwarmingssystemen onderling te kunnen vergelijken rekenen wij deze CAPEX en OPEX om naar jaarlijkse kosten.

de kosten zijn van verschillende oplossingen voor een klimaatneutrale warmtevoorziening.

### 5.3 Informatie in het model

Het model is gevuld met data uit openbare bronnen, zoals:

- BAG (Basisregistraties Adressen en Gebouwen, Kadaster): bouwjaar, functie, oppervlak, aantal gebouwen.
- Statline (CBS): energiegebruik huishoudens op buurtniveau (is gebaseerd op Energie in Beeld), eigendomsverhouding, type bouw (gestapeld/grondgebonden).
- Informatie van Netbeheerders: leidinglengte, indicatie van vervangingsmomenten, aanwezigheid brosse leidingen, kosten.
- EP-online: energielabels gebouwen.
- Verbetering referentiebeeld utiliteitssector (ECN, 2014): besparingspotentieel utiliteitsbouw.
- Vesta (PBL/CE Delft): investeringskosten, rendementen en levensduren technieken en besparingsmaatregelen.

Deze informatie is aangevuld met informatie opgedaan in eerdere projecten: diverse gegevens/aannames gebaseerd op eerdere projecten.

Daarnaast is aan betrokken partijen (zoals gemeenten, woningcorporaties, etc.) gevraagd om locatie specifieke informatie aan te leveren.

### 5.4 Globale werking van het model

Op basis van diverse parameters wordt berekend welk type energievoorziening van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteitsbouw) de laagste kosten over de gehele keten heeft. Om tot deze uitkomst te komen volgt het model een aantal stappen.

#### **Stap 1: Bepalen van de gemiddelde woning in een CBS-buurt**

Het model bepaalt per buurt de gemiddelde woning voor die buurt en de kenmerken van die gemiddelde woning<sup>19</sup>.

#### **Stap 2: Bepalen van het energieverbruik van de gemiddelde woning bij verschillende isolatieniveaus (schillabels)**

Vanuit Stap 1 is het energieverbruik van de gemiddelde woning bekend. In Stap 2 wordt het energieverbruik van de gemiddelde woning bepaald bij verschillende labelstappen van de schilisolatie.

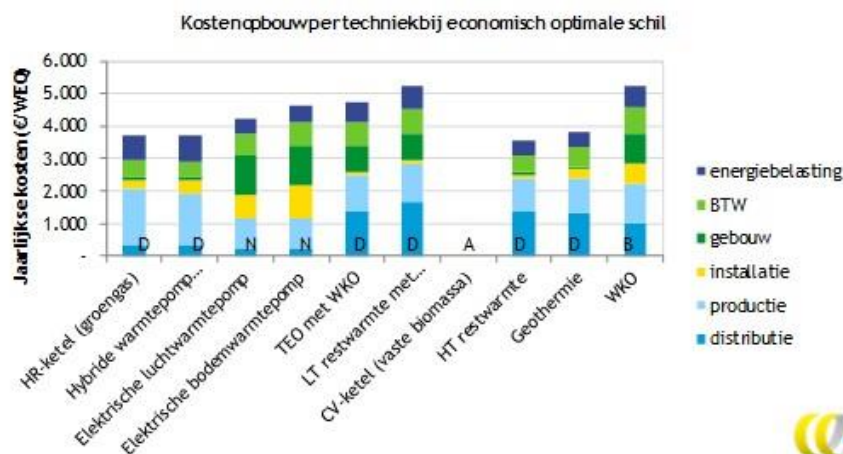
<sup>19</sup> Voor woningen: Bouwjaar, Energiegebruik, Huidige energievoorziening, Grondgebonden/gestapeld, Oppervlak, Bebouwingsdichtheid en Eigendom. Voor utiliteit: Bouwjaar, Energiegebruik, Functie (kantoor, school, zorg...) en Oppervlak.



### Stap 3: Bepalen van de totale kosten van de beschouwde verwarmingstechnieken

Per techniek worden de totale kosten bepaald gegeven het energieverbruik van de gemiddelde woning en de energieverbruiken van dezelfde gemiddelde woning met verbeterde schillabels.

Dit resulteert in maximaal tien technieken \* 7 schillabels = 70 uitkomsten. Per techniek wordt bepaald bij welk schillabel de techniek de laagste kosten heeft. De uitkomst per buurt ziet er dan zo uit:



In de figuur is te zien:

- de jaarlijkse kosten<sup>20</sup> behorend bij een verwarmingstechniek met een economisch optimale schil;
- per techniek het schillabel (F-A en N, Nul-op-de-Meter) waarbij de jaarlijkse kosten het laagst zijn ('bij economisch optimale schil').

Toelichting grafiek kostenopbouw per techniek bij economische optimale schil:

- Per buurt zijn de jaarlijkse kosten voor alle doorgerekende technieken weergegeven in €/WEQ/jaar<sup>21</sup>.
- De kosten worden per woningequivalent (WEQ) weergegeven, omdat dit de kosten zijn van een combinatie van alle woningen en alle utiliteitsgebouwen in een buurt.
- Per techniek is steeds het schillabel (isolatieniveau) aangehouden dat leidt tot de laagste totale jaarlijkse kosten (laagste maatschappelijke kosten). Dit kan van buurt tot buurt verschillen.
- De kosten zijn onderverdeeld naar distributie, productie, installatie, gebouw, BTW en energiebelasting:
  - Onder *distributie* vallen de kosten voor de energie-infrastructuur: het (verzwaarde) elektriciteitsnet en indien van toepassing het gasnet of warmtenet. Het betreft de kosten voor de regionale netten (De kosten van het landelijke gas- en elektriciteitsnet zijn hierin niet opgenomen).

<sup>20</sup> Alle kosten (ook investering) worden teruggerekend naar jaarlijkse kosten.

<sup>21</sup> Met €/WEQ/ jaar wordt bedoeld de jaarlijkse kosten uitgedrukt in Euro per Woningequivalent (zie Hoofdstuk 2) per jaar.

- Onder *productie* vallen de kosten voor de geleverde energie (geleverde warmte, groengas, hernieuwbaar gas, elektriciteit of vaste biomassa).
- Met *installatie* worden alle kosten van de installaties in de woning of de uitkoppelingskosten aan de bron bedoeld. Denk hierbij aan verwarmingstechnieken in de woning, maar ook de aanleg van geothermiedoubletten.
- Onder *gebouw* vallen de isolatiemaatregelen en het afgiftesysteem (bijvoorbeeld de radiatoren of vloerverwarming) in de woning.
- BTW betreft de belasting op toegevoegde waarde van 21% over alle voorgaande kostenonderdelen.
- Met *energiebelasting* wordt de totale som van energiebelasting, opslag duurzame energie en heffingskorting aangeduid, inclusief de BTW over deze belastingen.

Opmerking: In deze studie wordt met name ingegaan op de **kosten** van verwarmingssystemen (en niet de prijzen die een gebruiker betaalt). Dit doen wij omdat met kosten een betere vergelijking tussen de systemen mogelijk is.

Prijzen bevatten vaak een beleidsmatige toerekening van de kosten aan een gebruikersgroep of techniek. Zo worden de kosten van elektriciteits- en gasnetten bijvoorbeeld gesocialiseerd, hetgeen betekent dat deze kosten over alle aangesloten worden

omgeslagen ook als maar een beperkt deel van die aangesloten de feitelijke veroorzaker van de kosten is.

Een overzicht van de (relevante) kosten kan gebruikt worden als input voor een proces om gezamenlijk te bepalen hoe de gewenste eindsituatie eruitziet. Hiermee kan ook de toedeling van bepaalde kosten aan gebruikersgroepen/technieken bepaald worden.

Om te bepalen wat een woningeigenaar/huurder in een bepaalde buurt gaat betalen voor deze klimaatneutrale verwarmings-technieken is (nog) een toedeling van bepaalde kosten aan deze gebruikers nodig.

## 5.5 Toerekenen van beperkte energiedragers

In het hoofdstuk uitgangspunten hebben we gelezen dat sommige energiedragers beperkt beschikbaar zijn. Dit geldt voor groengas, lokale restwarmte en vaste biomassa. Omdat er niet voldoende groengas, lokale restwarmte en vaste biomassa beschikbaar is om ALLE wijken die dit zouden willen van deze opties te voorzien moet deze worden gealloceerd worden. Omdat het model optimaliseert naar de laagste maatschappelijke kosten krijgen de wijken die het meest baat hebben bij een schaarse energiedrager deze optie het eerst (mits deze techniek toegepast kan worden in de buurt<sup>22</sup>). Het 'meest baat hebben' wordt door het model ingevuld als het grootste kostenverschil tussen de goedkoopste optie en de een-na-

<sup>22</sup> Voor lokale restwarmte dient er een warmtebron in de buurt te zijn en voor vaste biomassa mag de buurt niet te stedelijk en te groot zijn. Zie hiervoor het hoofdstuk met de uitgangspunten.



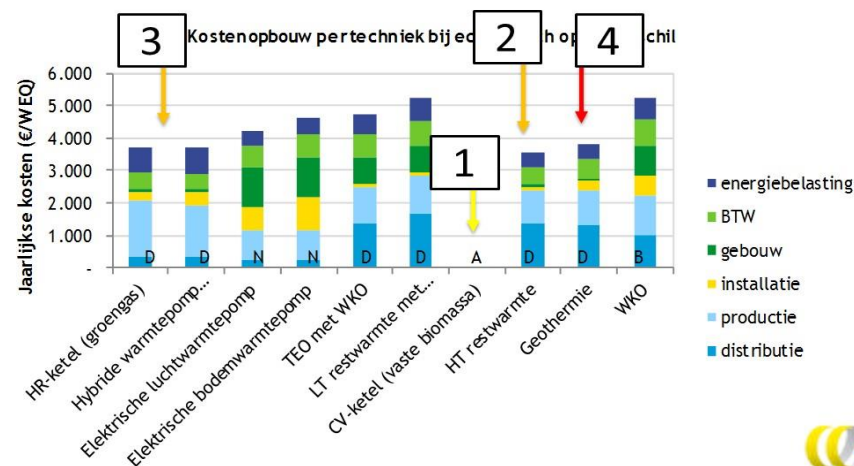
goedkoopste optie. Dit wordt voor alle buurten gedaan totdat de (beperkt aanwezige) energiedrager is verdeeld aan de buurten die 'het meest baat hebben'. De overige wijken gaan over op een-na-goedkoopste optie.

Opmerking: CEGOIA optimaliseert op laagste maatschappelijke kosten. Het staat gemeenten natuurlijk vrij om andere criteria voor de toedeling van schaarse energiedragers te hanteren. Dit mede gezien het feit dat groengas en lokale restwarmte vaak één van de goedkopere technieken zijn.

## 5.6 Voorbeeld uitkomst per buurt

Met behulp van Figuur 20 wordt de optimale keuze voor een verwarmingstechniek toegelicht.

Figuur 20 - Voorbeeld uitkomst per buurt



1. Allereerst valt op dat er geen kosten opgenomen zijn voor de CV-ketel (vaste biomassa). Dit komt omdat deze buurt te stedelijk is voor deze techniek, waardoor deze techniek niet mogelijk is in deze buurt<sup>23</sup>.
2. De techniek met de laagste kosten is HT-restwarmte. Echter, in dit voorbeeld gaan we ervan uit dat deze techniek reeds is toebedeeld aan een andere buurt (zie Paragraaf 5.5 Toerekenen van beperkte energiedragers).
3. De een-na-goedkoopste optie is dan een verwarmingstechniek op groengas. In dit voorbeeld gaan we er ook van uit dat deze energiedragers reeds is toebedeeld aan een andere buurt.

<sup>23</sup> Zie het hoofdstuk Uitgangspunten.

4. De verwarmingstechniek die daarna de laagste kosten heeft is een warmtenet o.b.v. geothermie. Dit wordt voor die buurt dan de optimale invulling.

Opmerking: Het CEGOIA-model is geen ruimtelijk model. Er heeft dan ook geen ruimtelijke optimalisatie plaatsgevonden. Het kan daarmee zijn dat een buurt als enige in een gebied uitkomt op het gebruik van restwarmte, omdat dit voor deze buurt de laagste totale kosten heeft. Warmte is daar - enkel kijkend naar totale kosten voor die buurt - wenselijk. In een nader onderzoek zal ruimtelijk gekeken moeten worden of het ook daadwerkelijk mogelijk is om hier een warmtenet naartoe aan te leggen (zie Paragraaf 4.3).

### 5.7 Nieuwe energievoorziening voor 2050

Het rekenmodel bepaalt de kostenoptimale invulling van de warmte- en koudevraag voor het zichtjaar 2050. We gaan er daarbij van uit dat voor het zichtjaar 2050 er een nieuwe of verzwaaarde energie-infrastructuur moet komen, die voldoet aan de meegegeven uitgangspunten. Het model houdt hierbij beperkt rekening met huidige infrastructuur, omdat we ervan uitgaan dat de huidige infrastructuur is afgeschreven in het jaar 2050.

Voorbeeld 1: Als er nu in een buurt een warmtenet ligt, dan wordt een korting toegepast op de aanlegkosten van een nieuw warmtenet. Immers het ontwerp van het warmtenet is al bekend.

Het kan voorkomen dat een buurt op een andere techniekeuze voor het zichtjaar 2050 uitkomt. Dit hangt van vele parameters af.

Voorbeeld 2: Als een buurt reeds blokverwarming heeft, dan wordt met lagere aansluitkosten gerekend voor het aanleggen van een nieuw warmtenet.

### 5.8 Buurten op 'uitkomst onbekend'

Van sommige buurten kan het rekenmodel geen betrouwbare uitkomst geven. De buurt wordt in dat geval op 'uitkomst onbekend' gezet (grijze kleur in de kaarten). Dit gebeurt, als een buurt zeer weinig woningen kent of een buurt waarbij de warmtevraag gedomineerd wordt door een categorie, waarvan warmteoptie niet met zekerheid weer te geven is. Denk aan industrie, maar grote recreatiecomplexen kunnen de uitkomst ook vertekenen.

## 6 De uitkomsten

### 6.1 Inleiding

De modelberekeningen resulteren in een overzicht van de verwarmingstechnieken met de laagste totale jaarlijkse maatschappelijke kosten (som van woningaanpassing, netinfrastructuur, kosten voor warmtelevering en -opwek) per buurt, gegeven de aangenomen parameters. Op basis van deze gegevens wordt antwoord gegeven op de vraag wat per buurt het alternatief voor aardgas is met de laagste totale kosten en welke energie-infrastructuur er in dat geval aanwezig zal zijn. De uitkomsten van de modelberekeningen zijn vertaald in GIS-kaarten, waarop de uitkomsten zichtbaar zijn gemaakt.

### 6.2 Laagste kosten voor de gebruiker

In dit onderzoek bepalen we de laagste maatschappelijke kosten. Wij gaan ervan uit dat alle kosten uiteindelijk betaald moeten worden door de gebruikers. De laagste maatschappelijke kostenbenadering leidt dan tot de laagste kosten voor alle gebruikers tezamen. Echter, er zijn wel verschillen per buurt. Het is momenteel (nog) niet duidelijk hoe de toerekening van de kosten aan de gebruiker zal zijn (in 2050). De toedeling van de kosten aan gebruikers kan op beleidsmatige gronden afwijken van de hier gepresenteerde kosten.

Voorbeeld 1: Momenteel worden de kosten van een aansluiting op het elektriciteitsnet en het gasnet gesocialiseerd. Dat wil zeggen dat

alle gebruikers dezelfde tarieven betalen, ongeacht de verschillen in de kosten voor de netbeheerder.

Voorbeeld 2: De overheid subsidieert bepaalde technieken waardoor de jaarlijkse lasten voor de gebruiker lager zijn.

### 6.3 Wat zeggen de uitkomsten?

De berekeningen laten zien welke verwarmingsoptie de laagste 'maatschappelijke kosten' heeft. Het geeft niet de uitkomst die het beste is voor een individu, een corporatie of bedrijf, maar wel voor de hele gemeenschap van Fryslân.

De uitkomsten bieden aanknopingspunten voor de discussie met stakeholders, ze laten de kansen zien en geven een indicatie van de afwegingen die gemaakt moeten worden.

Dit betekent:

- de uitkomsten zijn richtinggevend, niet maatgevend;
- de uitkomsten zijn niet absoluut of zwart/wit; afwijkingen zijn altijd mogelijk;
- de uitkomsten zijn geldig met de kennis, wetten en regels van nu.

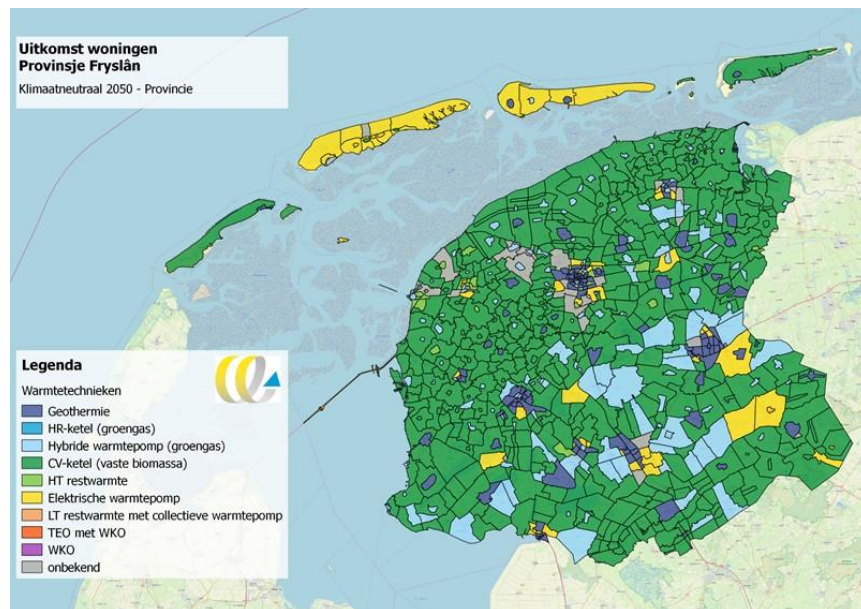
**We benadrukken dat het eindbeeld geen blauwdruk is van hoe het moet, maar wel een transparante kostendoorrekening is van elke combinatie in een buurt.**

### 6.4 Uitkomst basisscenario

We hebben de modelberekening gedaan met de uitgangspunten zoals beschreven in Hoofdstuk 4, Uitgangspunten en aannames.

Naast dit rapport is een uitgebreide presentatie beschikbaar waarmee de verschillen tussen de kaarten beter zichtbaar zijn.

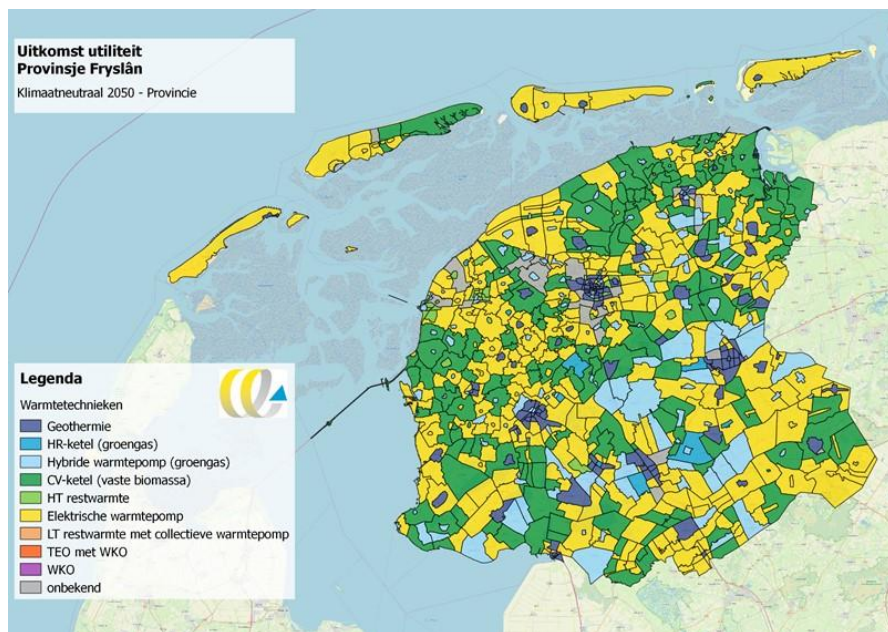
**Figuur 21 - Woningen (basisscenario)**



In Figuur 21 is het volgende te zien:

- Meerdere buurten in Leeuwarden, Drachten, Sneek en Heerenveen komen uit op een warmteoplossing (geothermie). Daarnaast hebben diverse losstaande buurten een voorkeur voor een warmteoplossing.
- De CV-ketel op vaste biomassa is voor veel buitengebieden een kosteneffectieve oplossing. Hoewel de kaart veel groene gebieden kent, is het aantal WEQ dat op deze techniek uitkomt beperkt tot 30.000. Zie ook Figuur 23.
- Er zijn circa 81.000 WEQ die voorzien kunnen worden met groen-gas.
- Voor de rest van de buurten is de elektrische warmtepomp een goede optie.

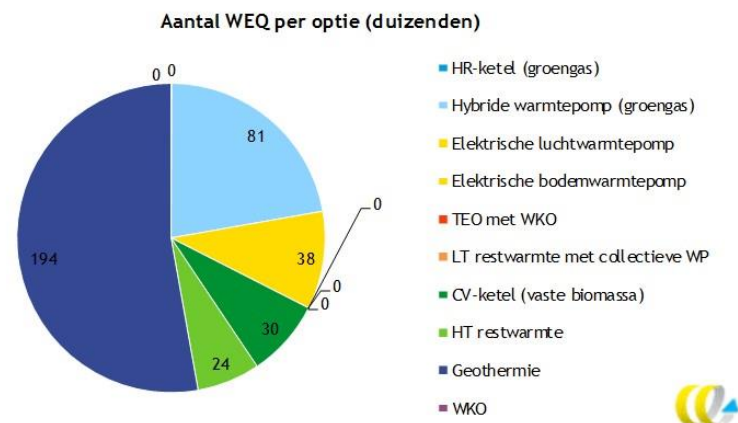
**Figuur 22 - Utiliteit (basisscenario)**



In Figuur 22 wordt de keuze voor de utiliteit getoond. De keuze voor een energie-infrastructuur wordt per buurt bepaald o.b.v. de totale kosten voor die buurt (woningen en utiliteit). In het geval er in de betreffende buurt ook utiliteitsgebouwen aanwezig zijn, dan wordt daarvoor een optimale keuze getoond. Als uit de keuze voor een energie-infrastructuur een gasnet of warmtenet volgt, dan dient de utiliteit deze keuze te volgen. Het model streeft naar maximale benutting van een gasnet of warmtenet. Als de buurt uitkomt op

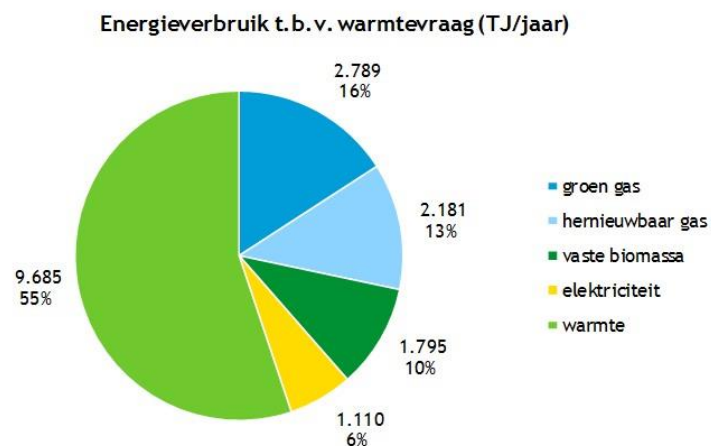
elektrische warmtepompen of CV-ketel op vaste biomassa, dan kan de utiliteit kiezen voor een techniek die beter bij deze sector past.

**Figuur 23 - Verdeling WEQ per optie**



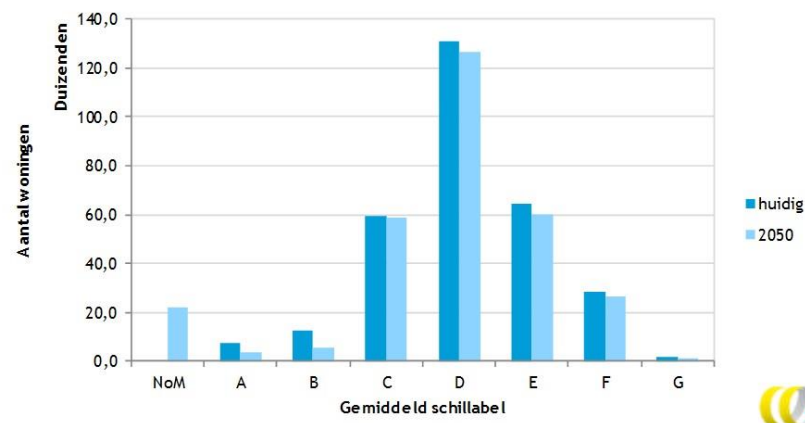
Figuur 23 laat zien welke techniek wordt gebruikt om woningen te verwarmen in het basisscenario.

Figuur 24 - Verdeling Energieverbruik per optie



Figuur 24 toont de verdeling van het energieverbruik per energie-drager. Te zien valt dat warmtenetten (warmte: kleur groen & hernieuwbaar gas voor de piekketels: kleur licht blauw) tweederde van het energieverbruik bepalen (55%+13%=68%). Elektrische warmtepompen kennen een relatief laag energieverbruik (verschil tussen figuur verdeling o.b.v. WEQ en o.b.v. energieverbruik).

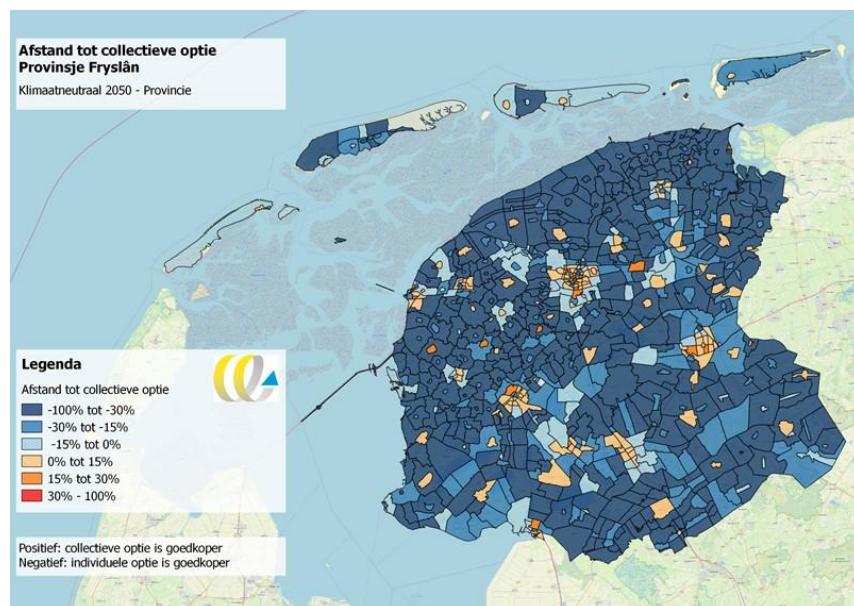
Figuur 25 - Verdeling schillabels woningen (basisscenario)



Figuur 25 laat de verdeling van de gemiddelde schillabels zien. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de huidige situatie en het zichtjaar 2050. Te zien is dat er in het basisscenario een beperkte verbetering van schillabels is. Dit komt omdat voor de provincie Fryslân er veel hogetemperatuurtechnieken in het basisscenario zitten. Deze technieken (geothermie, HT-restwarmte, groengas, CV-ketel op vaste biomassa) vereisen geen grote verbetering van de schilisolatie. Vaak hebben deze technieken bij hogere schillabels (lager niveau van isolatie) een kostenoptimaal punt (zie Paragraaf 5.4, Globale werking van het model).



**Figuur 26 - Kostenverschil warmte vs. individuele optie (basisscenario)**



In Figuur 26 wordt per buurt de kostenafstand van een collectieve optie (warmte) ten opzichte van een individuele verwarmings-techniek getoond. Deze figuur geeft aan voor welke buurten een collectieve optie duidelijk goedkoper is (kleur rood en oranje) en waar juist een individuele verwarmingstechniek te prefereren is (kleur donkerblauw). Buurten die een kostenafstand van -15% tot +15% kennen, hebben een minder duidelijke voorkeur voor een collectieve of individuele optie.

## 7 De hoeken van het speelveld (scenario's)

### 7.1 Drie alternatieve scenario's

Om de gevoeligheid van de uitkomsten voor bepaalde aannames te bepalen, hebben we naast het basisscenario drie alternatieve scenario's bekeken, te weten:

1. **Geen geothermie.** In dit scenario wordt geothermie niet in de berekeningen meegenomen. Dit scenario weerspiegelt de situatie dat geothermie niet mogelijk is. Geothermie is onderdeel van warmte en warmte is licht groen in de grafieken.
2. **Geen vaste biomassa.** Dit scenario gaat ervan uit dat de CV-ketel op vaste biomassa niet toegepast mag worden in de gebouwde omgeving. De CV-ketel op vaste biomassa is donkergroen in de grafieken.
3. **Minimaal Schillabel B.** Dit scenario gaat ervan uit dat er (bijvoorbeeld door de overheid) een minimale eis aan de isolatiegraad van een woning wordt gesteld. In dit scenario wordt de minimale isolatiegraad op Schillabel B gesteld.

Deze scenario's vergelijken we met de huidige situatie en het basisscenario. Met name verschillen tussen de scenario's zijn interessant<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Door de verschillen te analyseren kan inzicht verkregen worden in de relaties tussen parameters en uitkomsten (richting en omvang).

### 7.2 Toelichting op scenario minimaal Schillabel B

De provincie heeft gekozen voor minimaal Schillabel B. De redenen hiervoor zijn:

- Als de trias energetica gehanteerd wordt, dan dient eerst de energievraag gereduceerd te worden. Dit gebeurt door de woning te isoleren.
- Met minimaal Schillabel B wordt de woning geschikt voor lagetemperatuurverwarming.

In dit rapport spreken wij over **schillabel**. Er is een wezenlijk verschil tussen schillabel en energielabel. In de berekeningen van het **energielabel** worden ook technieken als warmtepompen en zonnepanelen meegenomen. Het **schillabel** geeft een weergave van het isolatieniveau dat behoort bij de een standaardwoning met een energielabel van deze waarde, zonder waardering van deze installatietechnieken.

Opmerking: Schillabel B betreft alleen de isolatiegraad van de woning en is daarmee een zwaardere eis dan Energielabel B.

In dit scenario wordt een **minimumeis** geformuleerd en niet een gemiddelde prestatie-eis, zoals gehanteerd wordt bij de afspraken met de woningbouwcorporaties.

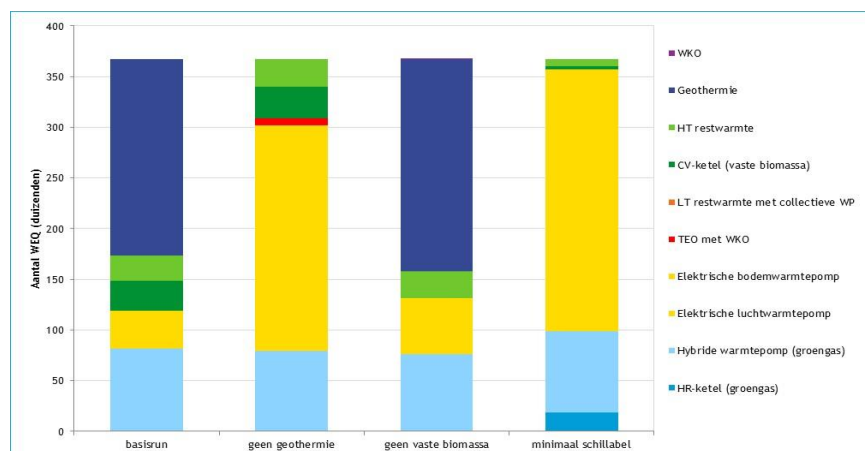
Omdat wij rekenen met buurten (en niet met individuele woningen) vertalen wij deze eis als volgt: Een buurt dient gemiddeld minimaal Label B als niveau van schilisolatie te hebben.

### 7.3 Uitkomsten van de scenario's

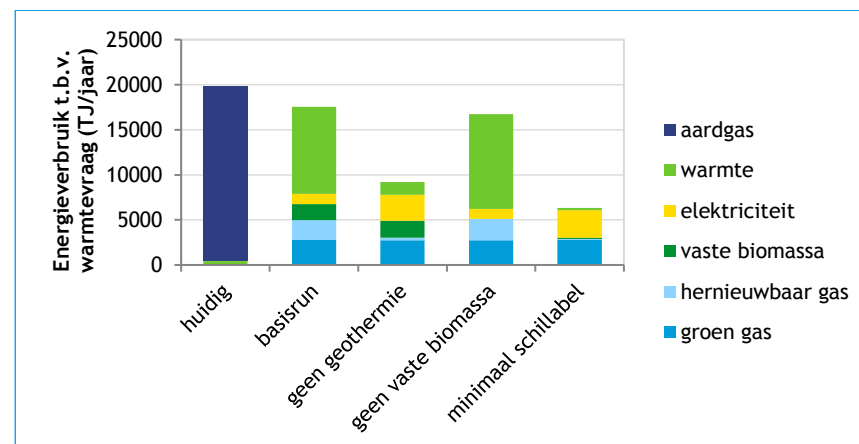
De scenario's geven door hun extreme aannames een beeld van de uithoeken van het speelveld. Hiermee kan de lezer een beeld krijgen van de gevoeligheid van een aantal belangrijke parameters.

De uitkomsten zijn vervat in Figuur 27 en Figuur 28.

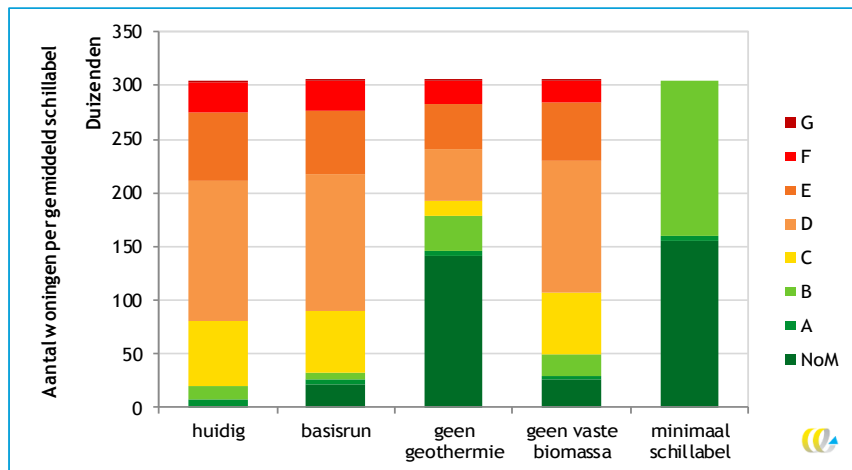
Figuur 27 - Onderverdeling technieken per scenario



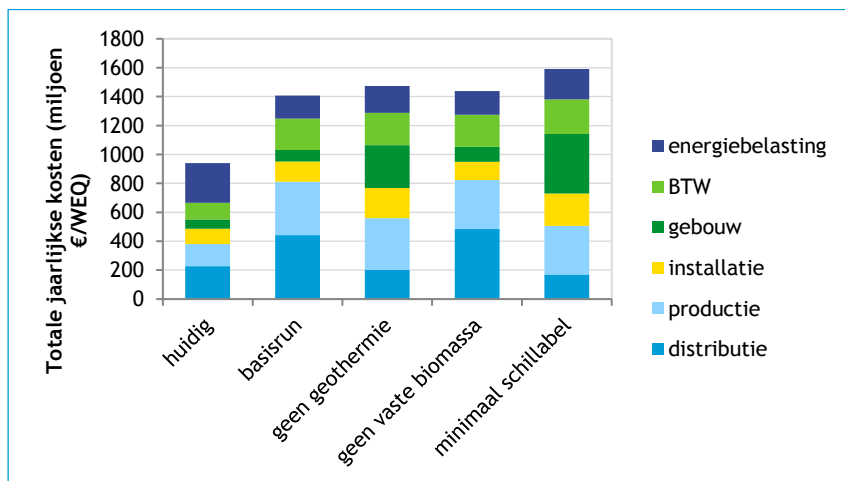
Figuur 28 - Het energieverbruik t.b.v. warmtevoorziening (per scenario)



**Figuur 29 - Verdeling schillabels woningen (per scenario)**



**Figuur 30 - Jaarlijkse kosten per scenario**



Uit Figuur 29 en Figuur 30 valt het volgende op te maken:

- Het energieverbruik van het basisscenario (basisrun) verschilt niet veel van het huidige energieverbruik. Het basisscenario is natuurlijk wel klimaatneutraal (en de huidige situatie niet).
- Het scenario 'Geen geothermie' laat een groot verschil zien met het basisscenario. Allereerst valt op dat er minder warmte, incl. hernieuwbaar gas t.b.v. piekketels overblijft en het aandeel elektrische warmtepompen is toegenomen. Daarnaast is het energieverbruik van dit scenario aanzienlijk lager en zijn de schillabels verbeterd. Dit komt omdat meer elektrische warmtepompen zijn toegepast en elektrische warmtepompen een goede isolatie van de woning of het gebouw vereisen (lager energieverbruik).
- Bij het scenario 'Geen vaste biomassa' (donkergroen in de grafieken/kaarten) wordt de afname van de CV-ketel op vaste biomassa met name opgevangen door meer geothermie. Geothermie levert hogetemperatuurwarmte waardoor er geen noodzaak is om de woningen/gebouwen beter te isoleren. Uit Figuur 29 blijkt dat de verdeling van de schillabel stappen grotendeels gelijk is aan het basisscenario.
- Het scenario 'Minimaal Schillabel B' resulteert in het laagste energieverbruik en bijna geen warmte meer! Vanzelfsprekend zijn er geen hogere schillabels meer dan Label B.
- Groengas is vaak de goedkoopste oplossing en wordt in alle scenario's maximaal ingevuld.

- Sommigen denken dat de kosten van waterstof in de buurt zullen komen van de kosten van groengas<sup>25</sup>. Als waterstof toegepast kan worden in de gebouwde omgeving, dan kan dit de uitkomsten danig veranderen. Dit effect is verder niet onderzocht in deze berekeningen, vanwege de grote mate van onzekerheid rond de toepasbaarheid van waterstof in de gebouwde omgeving.
- Figuur 30 laat de kostenopbouw van de onderzochte scenario's zien. Opvallend is dat het grootste kostenverschil aanwezig is tussen de huidige situatie en de klimaatneutrale scenario's. De kostenverschillen tussen de vier klimaatneutrale scenario's zijn (relatief gezien) minder groot. Wel laat het scenario 'Minimaal Schillabel B' duidelijk hogere kosten zien.

Uit Figuur 31 - Energieverbruik en opwek valt te lezen dat het aantal windmolens benodigd voor de opwek van elektriciteit en hernieuwbaar gas varieert van 125 windmolens bij scenario 'Minimaal Schillabel B' tot 163 windmolens bij het scenario 'Geen CV-ketels op vaste biomassa' (uitgaande van windmolens met een vermogen van 3 MW en 2.500 vollasturen).

**Figuur 31 - Energieverbruik en opwek**

| Basis scenario   |               |                           |                        |                      |
|------------------|---------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| Energiedrager    | Verbruik (TJ) | Energie-inhoud van drager | Verbruik energiedrager | Eenheid              |
| Groen gas        | 2.789         | 35 MJ/m <sup>3</sup>      | 79.678.565             | m <sup>3</sup> /jaar |
| Hernieuwbaar gas | 2.181         | 142 MJ/kg                 | 15.357.171             | Kg/jaar              |
|                  |               | 25 TJ per windmolen       | 109                    | Windmolens           |
| Vaste biomassa   | 1.795         | 18 MJ/kg                  | 99.733.370             | Kg/jaar              |
| Elektriciteit    | 1.110         | 25 TJ per windmolen       | 44                     | Windmolens           |
| Goethermie       | 8.603         | 200 TJ per put            | 43                     | geothermieputten     |
| Restwarmte       | 1.082         |                           |                        |                      |
| <b>Totaal</b>    | <b>17.560</b> |                           |                        |                      |

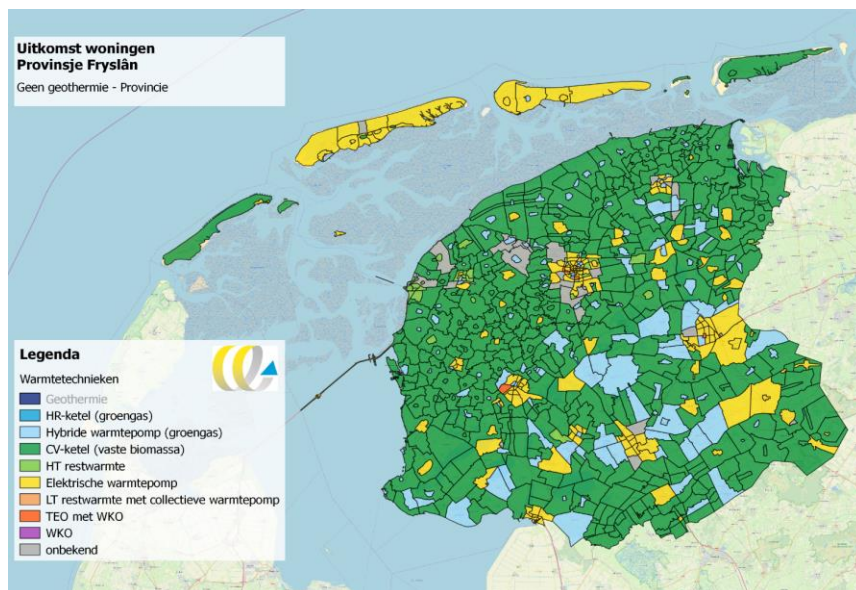
| Energiedrager            | Eenheid              | huidig        | basisrun      | geen geothermie | geen vaste biomassa | minimaal schillabel |
|--------------------------|----------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| Aardgas                  | TJ/jaar              | 19.349        |               |                 |                     |                     |
|                          | m <sup>3</sup> /jaar | 552.832.065   |               |                 |                     |                     |
| Groengas                 | TJ/jaar              | -             | 2.789         | 2.726           | 2.735               | 2.809               |
|                          | m <sup>3</sup> /jaar | -             | 79.678.565    | 77.884.574      | 78.143.772          | 80.247.711          |
| Hernieuwbaar gas         | TJ/jaar              | -             | 2.181         | 309             | 2.373               | 68                  |
|                          | kg/jaar              | -             | 15.357.171    | 2.176.244       | 16.713.777          | 475.837             |
|                          | Windmolens           | -             | 109           | 15              | 119                 | 3                   |
| Vaste biomassa           | TJ/jaar              | -             | 1.795         | 1.877           | -                   | 145                 |
|                          | kg/jaar              | -             | 99.733.370    | 104.278.056     | -                   | 8.037.729           |
| Elektriciteit            | TJ/jaar              | -             | 1.110         | 2.863           | 1.102               | 3.048               |
|                          | Windmolens           | -             | 44            | 115             | 44                  | 122                 |
| Geothermie               | TJ/jaar              | -             | 8.603         | -               | 9.295               | -                   |
|                          | Geothermieputten     | -             | 43            | -               | 46                  | -                   |
| Restwarmte               | TJ/jaar              | 419           | 1.082         | 1.436           | 1.224               | 250                 |
| <b>Totale energie</b>    | <b>TJ/jaar</b>       | <b>19.768</b> | <b>17.560</b> | <b>9.211</b>    | <b>16.730</b>       | <b>6.319</b>        |
|                          |                      |               |               |                 |                     |                     |
| <b>Totaal windmolens</b> |                      | -             | <b>153</b>    | <b>130</b>      | <b>163</b>          | <b>125</b>          |
| <b>Geothermieputten</b>  |                      | -             | <b>43</b>     | -               | <b>46</b>           | -                   |

<sup>25</sup> In eerdere studies hebben wij de kosten van waterstof als volgt ingeschat: Verbruikskosten waterstof 22,6 €/GJ (ten opzichte van 21 €/GJ groengas), de infrastructuur is 50% duurder en de ombouw-kosten naar een hybridewarmtepomp en HR-ketel zijn € 1.500.



## 7.4 Kaart scenario geen geothermie

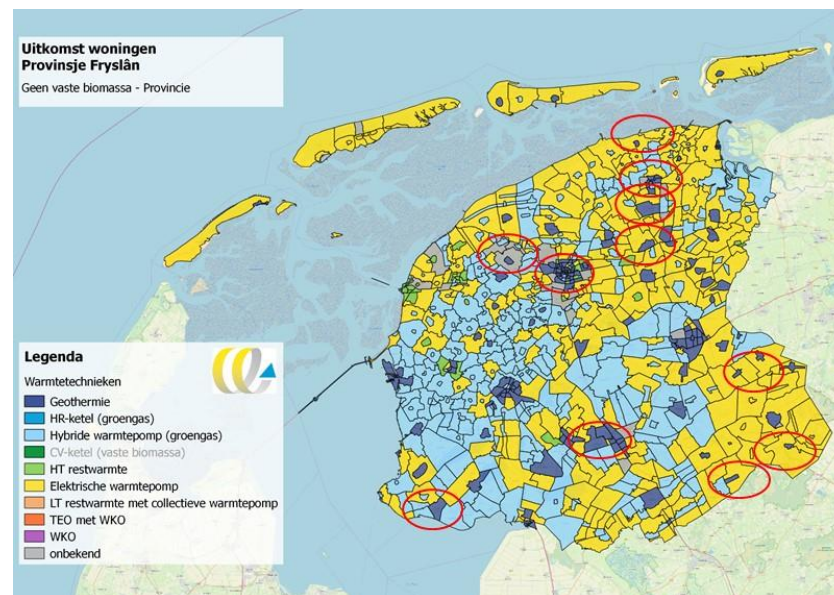
Figuur 32 - Woningen (scenario geen geothermie)



Als de kaart met het scenario ‘geen geothermie’ vergeleken wordt met het basisscenario dan valt goed te zien dat de meeste buurten (van geothermie) overgaan op elektrische warmtepompen. Opvallend is dat één buurt in Harlingen overgaat op restwarmte (van groengas). Tevens gaat een aantal buurten over op duurdere warmtetechnieken, zoals TEO i.c.m. WKO met 70 gradenwarmtenet (2x Leeuwarden, 1x Sneek en 1x Drachten.) Dit geeft aan dat bij uitsluiting van (goedkopere) technieken op enig moment de duurdere technieken aan bod komen.

## 7.5 Kaart scenario geen vaste biomassa

Figuur 33 - Woningen (scenario geen vaste biomassa)

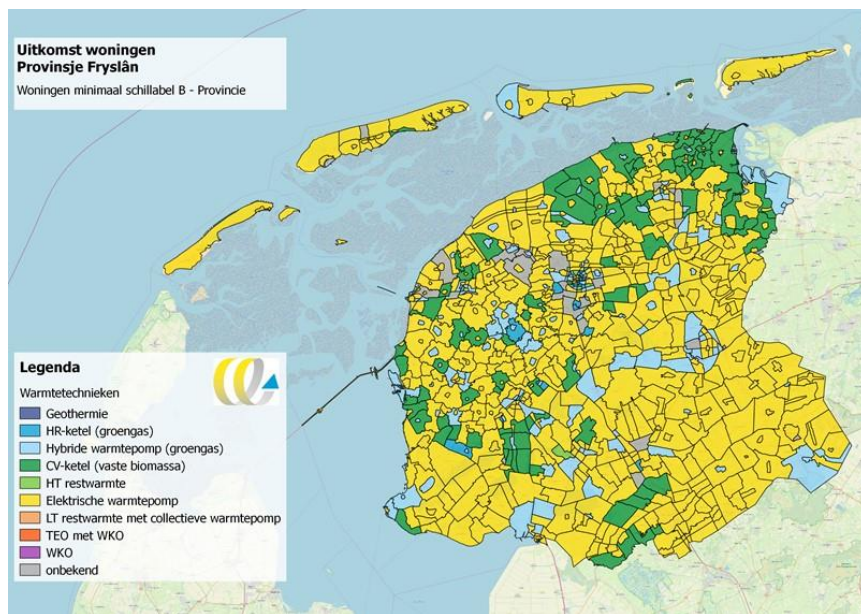


We hebben hiervoor al geconstateerd dat het scenario ‘Geen vaste biomassa’ leidt tot meer geothermie. In deze kaart is te zien dat geothermie opkomt in een aantal buurten (gemarkeerd). Tevens is te zien dat de toedeling van groengas aan buurten verschuift (door het rekenmodel). Dit komt omdat in een aantal kernen waar groengas werd toegepast, in dit scenario geothermie wordt toegepast, waardoor er weer groengas beschikbaar komt om toe te delen aan andere buurten.



## 7.6 Kaart scenario minimaal Schillabel B

Figuur 34 - Woningen (scenario minimaal Schillabel B)



Eerder is geconstateerd dat het scenario 'minimaal Schillabel B' resulteert in het laagste energieverbruik en bijna geen warmte-technieken meer. Opvallend is dat er nog steeds buurten zijn die (ondanks de toepassing van Schillabel B) op warmte en een CV-ketel op vaste biomassa uitkomen.

## 8 Kansenkaart

### 8.1 Inleiding warmtekansenkaart

De warmtekansenkaart geeft aan waar mogelijk kansen liggen om als eerste te starten met de warmtetransitie. Hierbij spelen zowel kwalitatieve voorwaarden (mate van complexiteit om de warmtetransitie op gang te brengen) als kwantitatieve (zekerheid van de uitkomsten uit het CEGOIA-model, wordt er op korte termijn het aardgasnet vervangen, etc.) een rol. Om aan te geven waar mogelijk kansen liggen om als eerste te starten met de warmtetransitie hebben we een warmtekansenkaart opgesteld.

### 8.2 Criteria voor kansenkaart

Kansen om te starten met de warmtetransitie kunnen zich voordoen om verschillende redenen. In deze analyse worden kansen vanuit de techniek (CEGOIA-uitkomsten), vanuit eigenaarschap en vanuit meekoppelkansen benoemd.

- Vanuit de techniek:
  - hoge zekerheid van een warmteoptie in het basisscenario ten opzichte van de 2e optie (dat wil zeggen meer dan 30% kostenverschil tussen de eerste en tweede uitkomst);
  - robuuste buurten (buurten die in drie of meer scenario's dezelfde uitkomst laten zien).

- Vanuit eigenaarschap:
  - groot aandeel corporatiebezit (meer dan 30%);
  - actieve bewonerscollectieven (ja/nee).
- Vanuit werkzaamheden (meekoppelkansen):
  - grootschalige nieuwbouw (meer dan 20%);
  - renovatieplannen woningcorporaties (>10% buurt);
  - vervangingsopgave van het gasnet (Alliander: >50% in buurt ouder dan 30 jaar, Stedin: opgave);
  - vervangingsopgave van de riolering (>50% in een buurt);
  - vervangingsopgave van het waternet (>60% PRP).

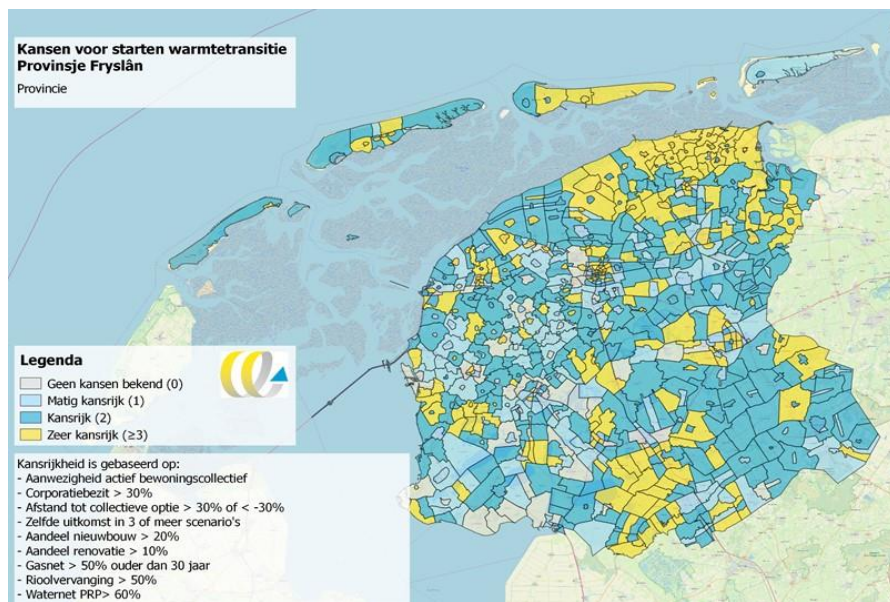
Deze kansen hebben wij geïdentificeerd op basis van de informatie die is aangeleverd door de deelnemers aan deze studie (met name provincie Fryslân, de gemeente, netbeheerders, woningcorporaties, etc.).

### 8.3 Warmtekansenkaart

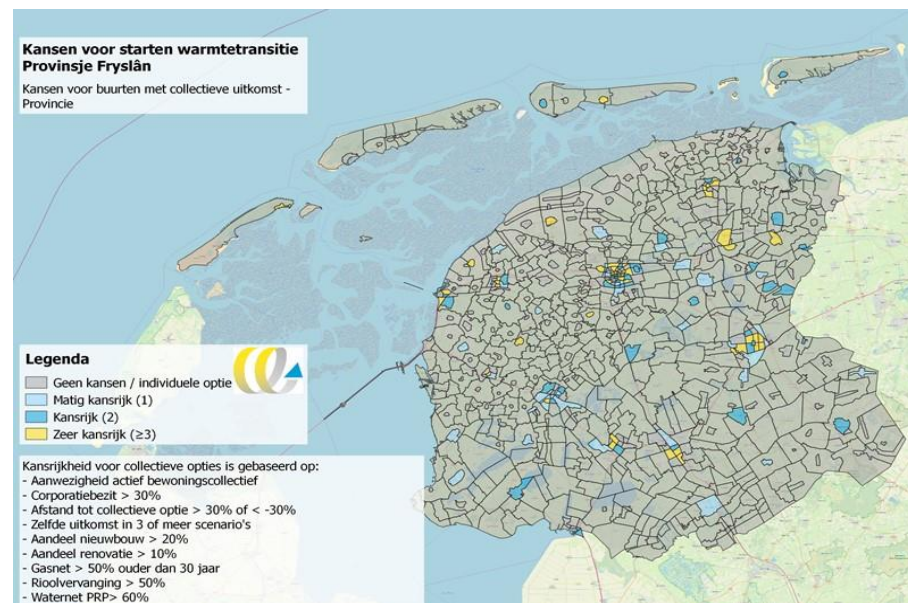
In Figuur 35 is de warmtekansenkaart voor de provincie Fryslân te zien. In elke buurt kunnen meerdere kansen zich voordoen. Buurten die aan meerdere criteria voldoen, hebben een blauwe of gele kleur op de kaart. Te zien is dat in Noordoost-Fryslân de meeste kansen zijn<sup>26</sup>. Dit is een gebied dat in het basisscenario op CV-ketel op vaste biomassa uitkomt.

<sup>26</sup> Waarschijnlijk hebben wij van dit gebied relatief meer informatie ontvangen en verwerkt, waardoor dit gebied meer kansen zijn geïdentificeerd.

Figuur 35 - Kansenkaart provincie Fryslân



Figuur 36 - Kansenkaart voor collectieve systemen



Om te kunnen vaststellen waar gestart kan worden met collectieve verwarmingstechnieken is Figuur 36 gemaakt. Deze figuur laat alleen de kansen - uit de kansenkaart voor de provincie Fryslân - zien voor buurten met een voorkeur voor een collectieve optie. Te zien is dat dan de meeste kansen liggen in achtereenvolgens: Leeuwarden, Drachten, Heerenveen, Sneek, Harlingen en een aantal losse buurten.

## 9 De Regio's

### 9.1 De Regio's

Voor onderzoek hebben wij kaarten gemaakt voor de volgende regio's:

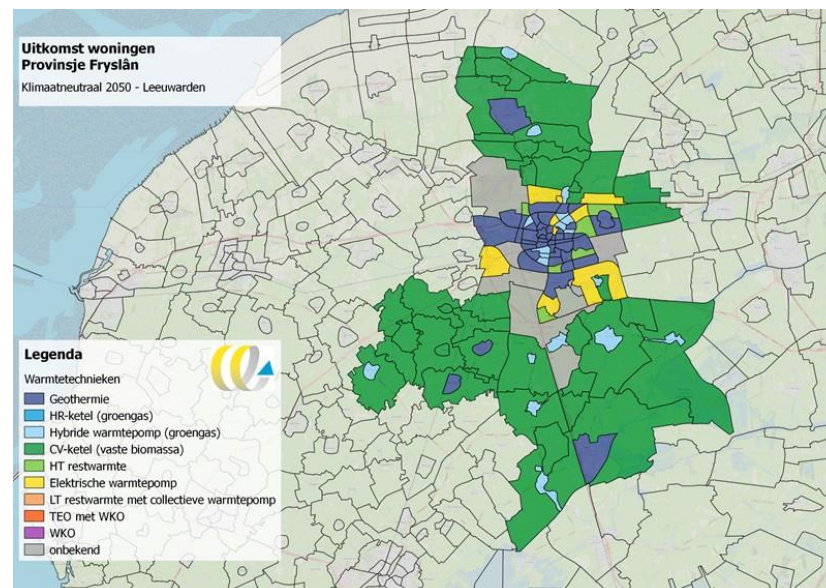
- Leeuwarden;
- Noordwest (Harlingen en Waadhoeke);
- Noordoost (Achtkarspelen, Dantumadeel, Dongeradeel, Ferwerderadiel, Kollumerland en Tytsjerksteradiel);
- Zuidwest (Súdwest Fryslân en De Fryske Marren);
- Zuidoost (Heerenveen, Ooststellingwerf, Opsterland, Smallingerland en Weststellingwerf);
- Waddeneilanden.

In volgende paragrafen vermelden wij de kaart 'Woningen van het basisscenario', de kaart 'Kostenafstand tot een collectieve optie' en de bijzondere aspecten van deze regio's.

Voor de kaart 'Utiliteit (basisscenario)', de kaarten van de scenario's en de kanskaart van de regio's verwijzen we naar de presentatie die voor die regio's is gegeven<sup>27</sup>.

### 9.2 Leeuwarden

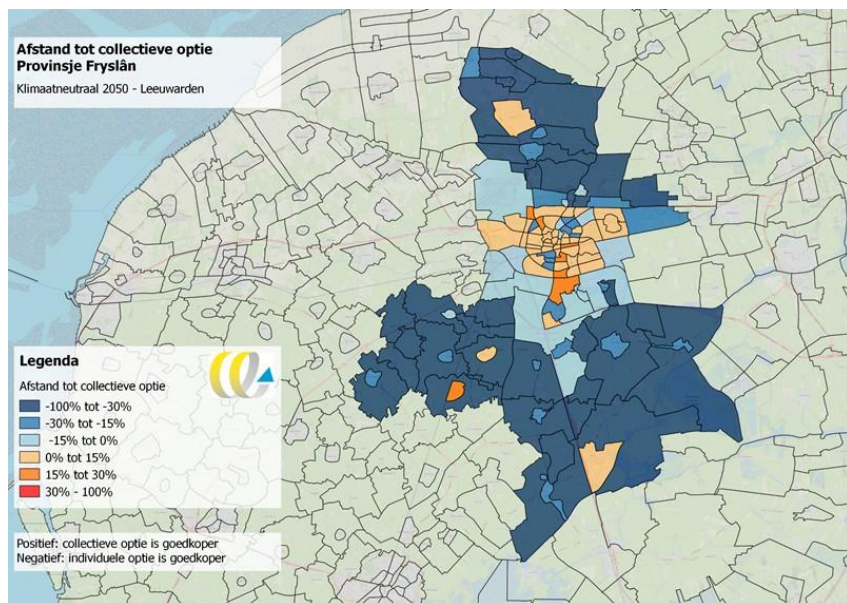
Figuur 37 - Leeuwarden Woningen (basisscenario)



<sup>27</sup> De kaarten in de presentatie geven een betere indruk van de resultaten en de verschillen tussen de kaarten zijn beter zichtbaar, omdat snel tussen twee kaarten gewisseld kan worden.



**Figuur 38 - Leeuwarden Kostenafstand (basisscenario)**



In het centrum van de stad Leeuwarden:

- Veel buurten zijn geschikt voor warmtelevering (restwarmte of geothermie).
- De kostenafstand tussen een collectieve en individuele techniek is voor veel buurten beperkt. Dat wil zeggen, vele buurten hebben geen duidelijke voorkeur (zie Figuur 38). Enkele buurten hebben wel een voorkeur voor een collectieve oplossing (meer dan 15% kostenverschil met een individuele oplossing).

Dit zijn: Magere Weide, Bonifatius, Oranjewijk, Huizum-Bornia, Rapenburg en Goutum.

- Uit de analyse van de scenario's (zie Hoofdstuk 7) blijkt dat wanneer geothermie niet mogelijk is, het aandeel elektrische warmtepompen toeneemt. Eveneens blijkt uit deze analyses dat wanneer alle woningen minimaal Schillabel B hebben er geen geothermie meer is. Groengas, restwarmte en elektrische warmtepompen zijn dan de goedkoopste opties. Deze constatering zien we in Leeuwarden ook.

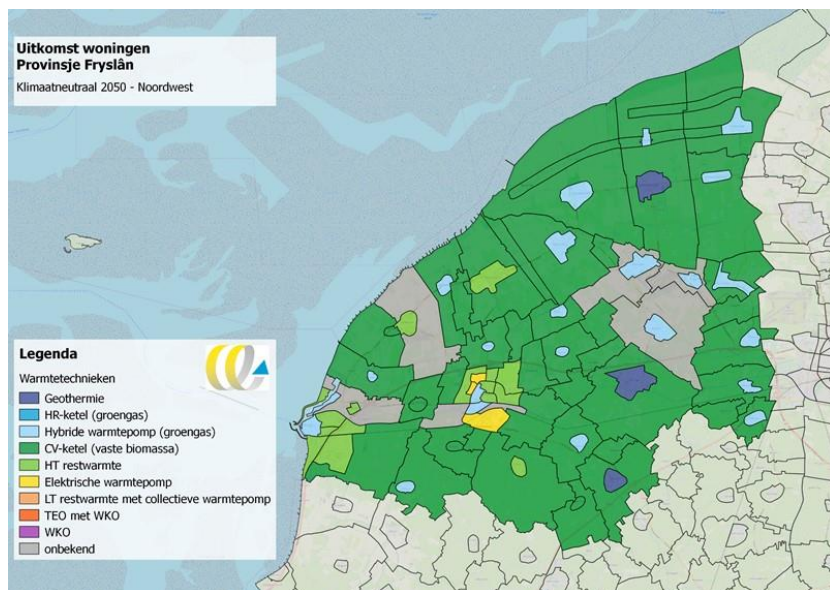
In het buitengebied van Leeuwarden:

- De buurten hebben een grote kostenafstand (meer dan 30%) tot een collectieve optie. Hier heeft (doorgaans) een individuele verwarmingstechniek de laagste kosten (met name groengas en CV-ketel op vaste biomassa).
- De buurt Mantgum (de dorpskern) laat een duidelijke voorkeur voor een collectieve oplossing zien.
- Uit de analyse van de scenario's blijkt dat deze buurten bij verschillende scenario's veelal op dezelfde techniek uitkomen.
- Bij het scenario minimaal Schillabel B gaan veel buurten over op de elektrische warmtepompen.

In de gemeente Leeuwarden (en met name in het centrum) liggen kansen om de energietransitie in de gebouwde omgeving (de warmtetransitie) te starten. Het verdient aanbeveling om deze kansen nader te onderzoeken.

### 9.3 Noordwest (Harlingen en Waadhoeke)

Figuur 39 - Noordwest, Woningen (basisscenario)



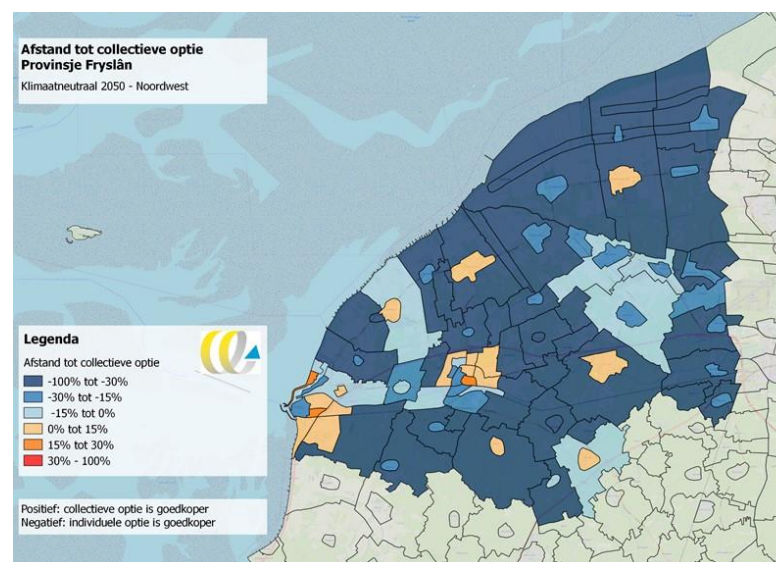
Uit Figuur 39 blijkt dat de woningen in de kernen veelal een voorkeur voor groengas of een warmteoplossing hebben. In het buitengebied is dit veelal een CV-ketel op vaste biomassa.

Uit de analyse van de scenario's blijkt:

- Als in Noordwest-Fryslân geen CV-ketel op vaste biomassa of geothermie mogelijk is, dan zijn de elektrische warmtepompen en groengas de belangrijkste vervangers.

- Als woningen minimaal Schillabel B moeten hebben dan is voor veel buurten de elektrische warmtepomp de goedkoopste oplossing geworden.
- Diverse buurten hebben dezelfde uitkomst bij verschillende scenario's (robuuste voorkeur voor een verwarmingstechniek). Dit zijn veelal de buurten die een voorkeur voor de CV-ketel op vaste biomassa hebben.
- In deze regio liggen kansen, ook voor collectieve opties (Harlingen en Franeker).

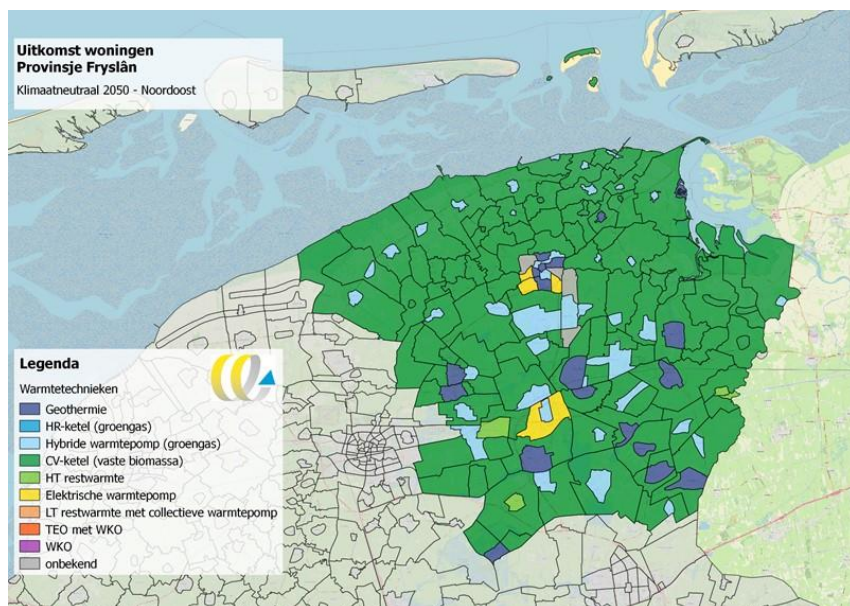
Figuur 40 - Noordwest, Kostenafstand (basisscenario)





#### 9.4 Noordoost (Achtkarspelen, Dantumadeel, Dongeradeel, Ferwerderadiel, Kollumerland en Tytsjerksteradiel)

Figuur 41 - Noordoost, Woningen (basisscenario)



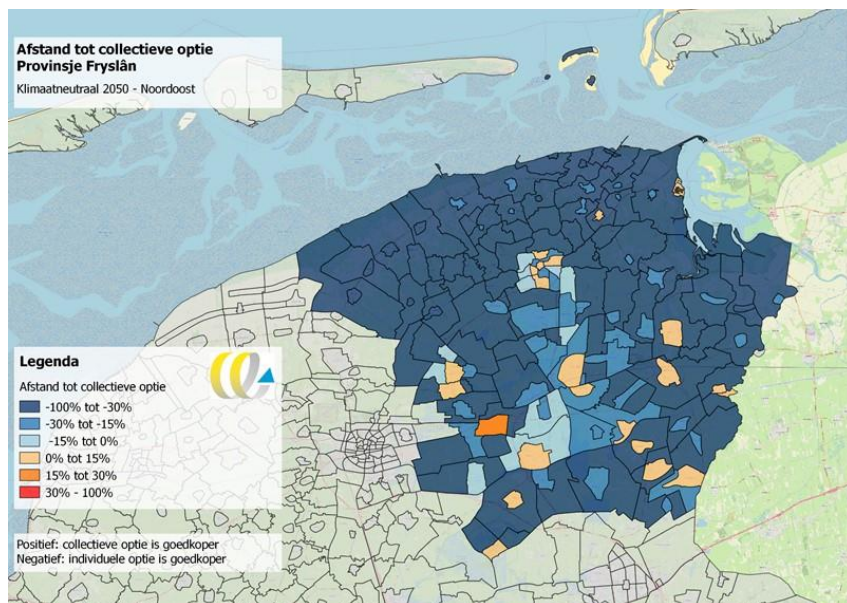
In Noordoost-Fryslân komen de kernen veelal uit op groengas of een warmteoplossing. In het buitengebied hebben CV-ketels op vaste biomassa de voorkeur.

Uit de analyse van de scenario's blijkt het volgende:

- Indien er geen geothermie mogelijk is, gaan de buurten over op elektrische warmtepompen.
- Als geen CV-ketels met vaste biomassa mogelijk zijn, dan zijn de elektrische warmtepompen en groengas de belangrijkste vervangers.
- Als minimaal Schillabel B vereist wordt, dan is voor veel buurten de elektrische warmtepomp de goedkoopste oplossing geworden.
- De robuuste buurten (buurten die in alle scenario's dezelfde voorkeur voor een verwarmingstechniek hebben) zijn voornamelijk de buurten die in het basisscenario op CV-ketel op vaste biomassa uitkomen.

De kansenkaart laat voor deze regio relatief veel kansen zien, maar met name voor individuele technieken en minder voor collectieve opties, zie Figuur 35 en Figuur 36.

**Figuur 42 - Noordoost, Kostenafstand (basisscenario)**



### **Toelichting toewijzing restwarmte aan Hurdegaryp en Garyp**

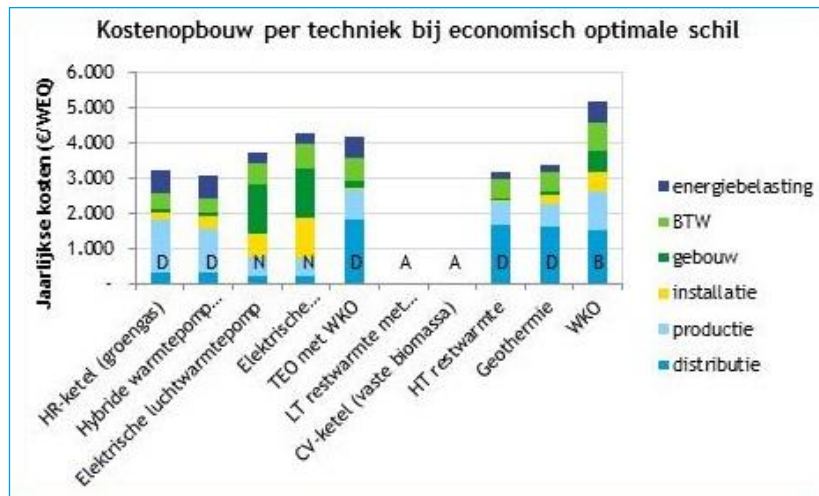
Op de warmtekaart van Noordoost-Fryslân (Figuur 41) is te zien dat de buurten Hurdegaryp en Garyp (gemeente Tytsjerksteradiel) op restwarmte uitkomen. De HT-restwarmte is afkomstig van Sonac Burgum. Deze warmtebron heeft een vermogen van 8 MW. Hoewel de buurt Burgum geschikt is voor een warmtenet (zie Figuur 43<sup>28</sup>) en

dichter bij Sonac ligt dan de buurten Hurdegaryp en Garyp, heeft het rekenmodel de restwarmte toch toegewezen aan de buurten Hurdegaryp en Garyp. Dit komt omdat de warmtevraag van de **gehele buurt** Burgum te groot is voor de warmtebron van Sonac. Daarom wordt deze restwarmte in het model niet toegekend aan Burgum en wel aan omliggende buurten die wel toekunnen met deze hoeveelheid restwarmte. In praktijk zal de toewijzing anders (kunnen) verlopen<sup>29</sup>. Het meest aannemelijk is dat een **gedeelte** van Burgum wordt verwarmd met de HT-restwarmte van Sonac. De buurten Hurdegaryp, Garyp en verspreide huizen Noord-Burgum zullen dan een andere techniek kiezen.

<sup>28</sup> Voorkeur Burgum: 1) HT-restwarmte, 2) Hybridewarmtepomp/HR-ketel (groengas), 3) Geothermie en 4) Elektrische luchtwarmtepomp)

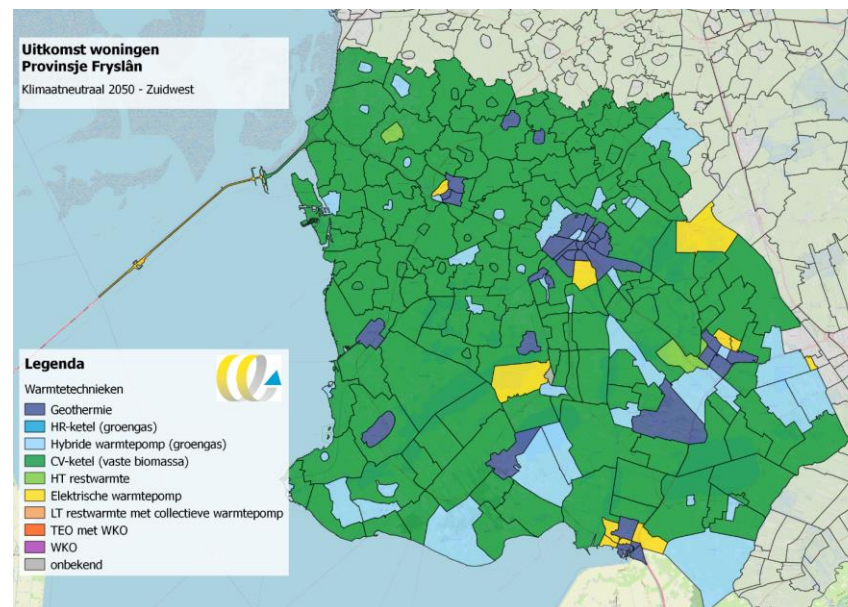
<sup>29</sup> Dit is een beperking van een modelmatige analyse. Het verdient aanbeveling om typische uitkomsten altijd nader te bekijken.

Figuur 43 - Kostenopbouw Burgum



## 9.5 Zuidwest (Súdwest Fryslân en De Fryske Marren)

Figuur 44 - Zuidwest, Wonen (basisscenario)



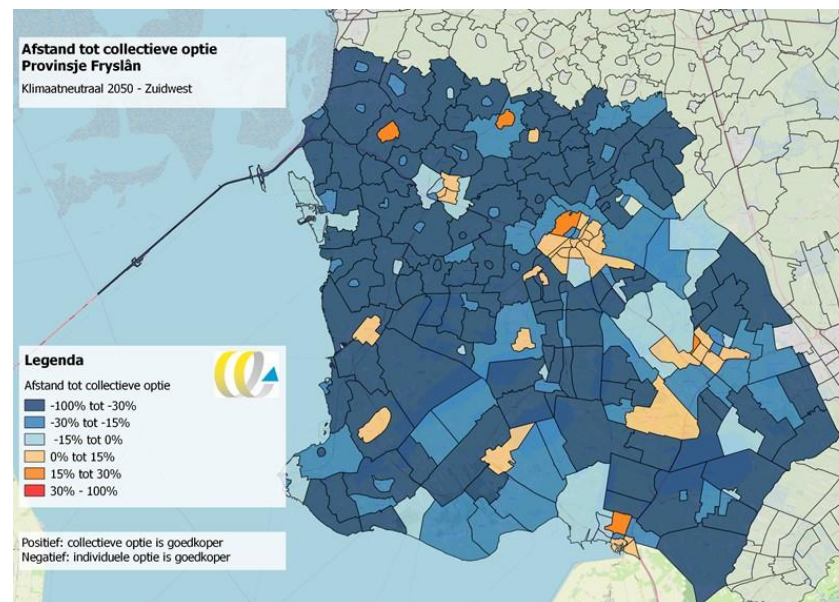
Voor Zuidwest-Fryslân constateren wij het volgende:

- De kernen komen veelal uit op een warmteoplossing (geothermie of restwarmte) of groengas. Het buitengebied heeft meestal een voorkeur voor CV-ketel op vaste biomassa.
- Uit de analyse van de scenario's blijkt:
  - Als er geen geothermie mogelijk is, dan gaan die buurten over op elektrische warmtepompen.



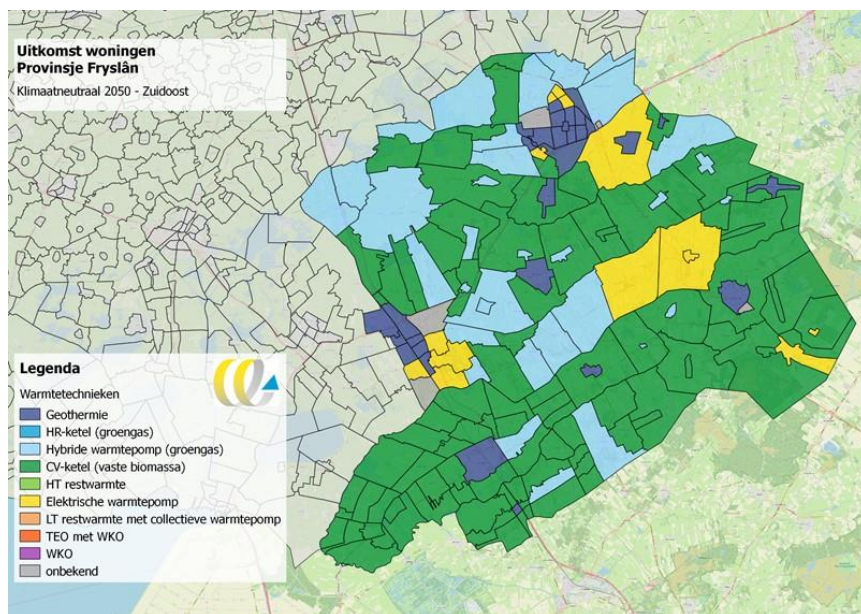
- Als geen vaste biomassa mogelijk is, dan verschijnen er meer buurten op geothermie en kunnen meer buitengebieden groengas toebedeeld krijgen (door het rekenmodel). Voor enkele buurten (rond Bolsward) wordt restwarmte interessant.
  - Als woningen minimaal Schillabel B moeten hebben, dan is voor veel buurten de elektrische warmtepomp de goedkoopste oplossing geworden. Toch blijven enkele buurten de voorkeur houden voor de CV-ketel op vaste biomassa.
  - De buurten die in elk scenario dezelfde uitkomst laten zien, zijn voornamelijk de buurten met een CV-ketel op vaste biomassa.
- Uit de kaart met de kostenafstand tussen individuele en collectieve opties (Figuur 45) blijkt dat de buurten: Witmarsum (Súdwest-Fryslân), Wommels (Littenseradiel), Noorderhoek II (Súdwest-Fryslân), Joure, Jonkersland en Lemmer-Noord een grote kostenafstand tot een individuele optie hebben. Van deze buurten zijn er met name in Wommels (Littenseradiel) ook kansen.

**Figuur 45 - Zuidwest, Kostenafstand (basisscenario)**

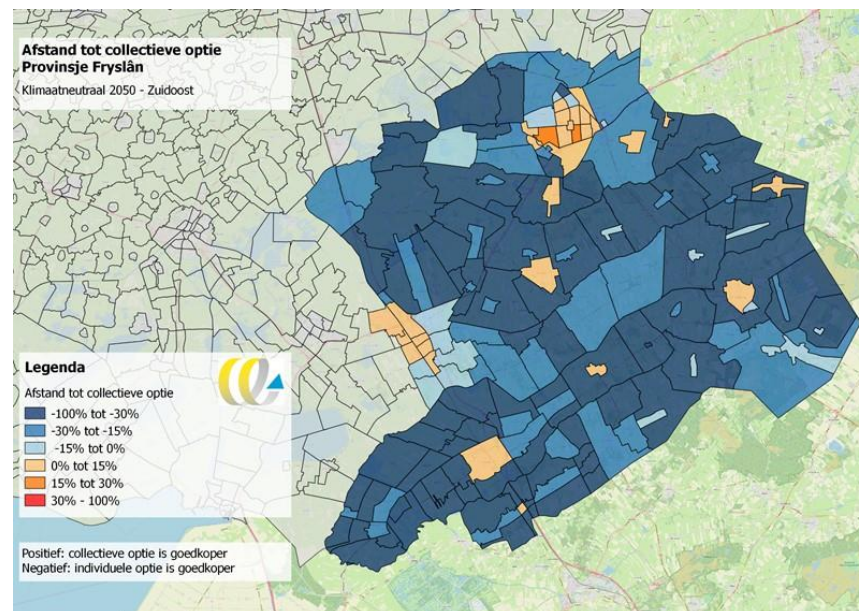


## 9.6 Zuidoost (Heerenveen, Ooststellingwerf, Opsterland, Smallerland en Weststellingwerf)

Figuur 46 - Zuidoost, Wonen (basisscenario)



Figuur 47 - Zuidoost, Kostenafstand (basisscenario)



- De regio Zuidoost laat een gemêleerd beeld zien met een paar stevige kernen op geothermie (Heerenveen en Drachten).
- De buitengebieden komen uit op een CV-ketel op vaste biomassa en groengas, maar ook aantal buurten hebben de voorkeur voor warmtepompen (zie Figuur 46).
- Uit de analyse van de scenario's blijkt:
  - Als geen geothermie mogelijk is, dan gaan die buurten over op elektrische warmtepompen.

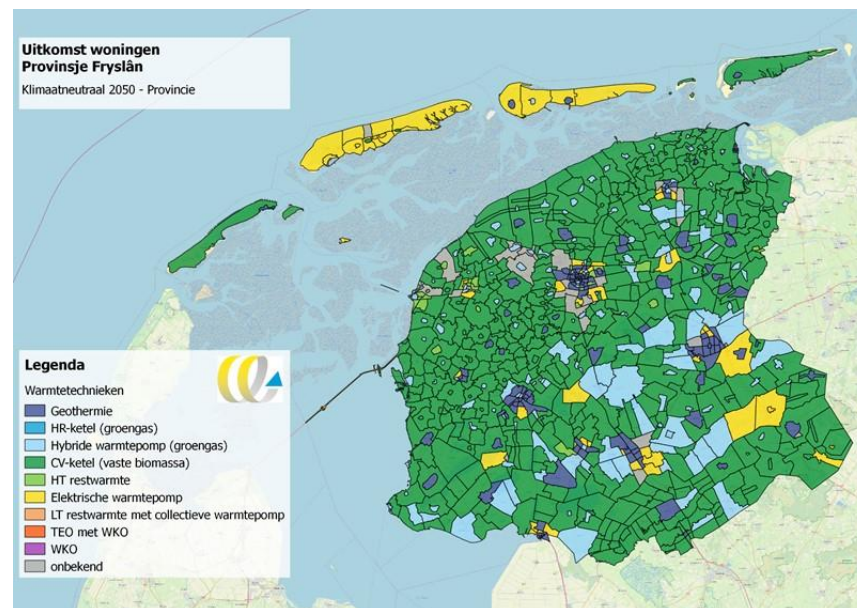


- Als geen vaste biomassa mogelijk is, dan gaan vele buurten over op elektrische warmtepompen of krijgen buurten groengas toebedeeld door het rekenmodel.
- Als minimaal Schillabel B vereist wordt, dan is voor veel buurten de elektrische warmtepomp de goedkoopste oplossing geworden.
- Buurten die in meerdere scenario's dezelfde uitkomst hebben zijn buurten met een individuele techniek (met name CV-ketel vaste biomassa).
- In Drachten (gemeente Smallingerland en met name rond de buurten De Drait en De Bouwen) liggen er kansen voor een collectieve oplossing.

## 9.7 Waddeneilanden

De Waddeneilanden zijn apart van de rest van Fryslân berekend met eigen uitgangspunten.

**Figuur 48 - Waddeneilanden, Wonen (basisscenario)**

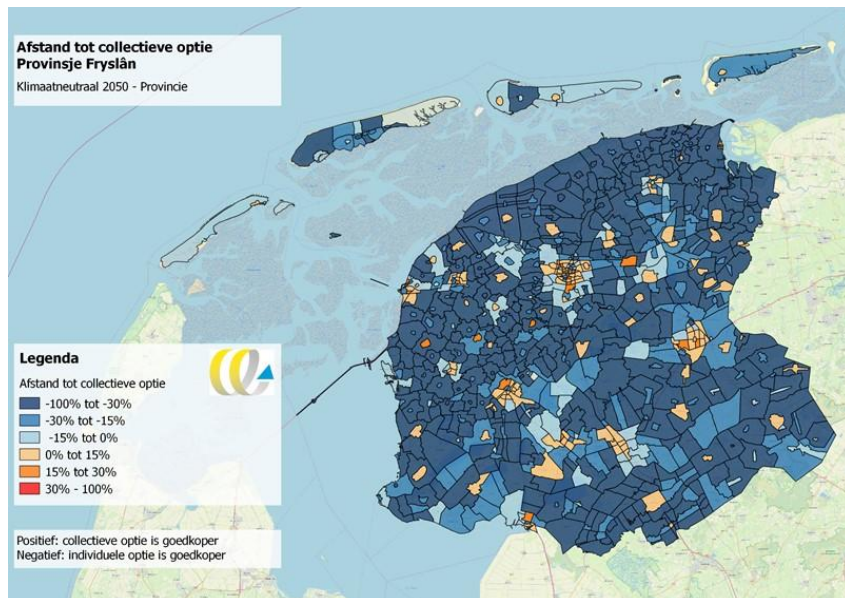


## Vlieland

- Vlieland heeft eigen groengas en wenst geen import van groengas vanaf het vaste land. Veder stelt Vlieland geen beperking aan CV-ketels met vaste biomassa, heeft geen restwarmte en geothermie is niet uitgesloten.
- De buurt Oost-Vlieland komt met de uitgangspunten uit op geothermie en de tweede keuze is een elektrische warmtepomp.
- Conclusie: Oost-Vlieland leent zich voor geothermie, maar de warmtevraag is waarschijnlijk te klein voor geothermie. Het verdient aanbeveling om de mogelijkheid van een kleine

(innovatieve) geothermieoplossing te onderzoeken en anders te kiezen voor de tweede keuze (elektrische warmtepomp).

**Figuur 49 - Waddeneiland, Kostenafstand (basisscenario)**



## Terschelling

- Terschelling heeft zelf geen groengas en wil geen groengas importeren, er is beperkt vaste biomassa aanwezig, er is geen restwarmte aanwezig en er is geen geothermie mogelijk.

- Twee kleine buurten (Formerum en Oosterendkomen) komen uit op een CV-ketel op vaste biomassa en de rest van Terschelling heeft de voorkeur voor een elektrische warmtepomp.
- Conclusie: Terschelling heeft een voorkeur voor een individuele oplossing (elektrische warmtepomp of CV-ketel op vaste biomassa).

## Ameland

- Ameland wil naar rato van het huidig gasverbruik groengas toebedeeld krijgen, heeft beperkt eigen vaste biomassa, er is restwarmte in de nabijheid van Buren en geothermie is mogelijk.
- Twee buurten op Ameland lenen zich voor geothermie, hoewel er geen grote kostenafstand met een individuele optie is.
- Waarschijnlijk is de warmtevraag in die buurten te klein voor een geothermiedoublet. Wij adviseren om te bezien of buurten gekoppeld kunnen worden met een grootschalig recreatiepark waardoor een grotere warmtevraag ontstaat. Een ander spoor is het onderzoeken of kleine (innovatieve) geothermieoplossingen een uitkomst biedt? Anders dient gekozen te worden voor de tweede optie: de elektrische warmtepomp.

## Schiermonnikoog

- Schiermonnikoog wil naar rato van het huidig gasverbruik groengas toebedeeld krijgen, heeft eigen vaste biomassa en stelt geen beperking aan de toepassing van een CV-ketel op vaste biomassa, heeft geen restwarmte en geothermie is mogelijk.

- Voor de buurt Schiermonnikoog is geothermie de goedkoopste invulling (met lichte voorkeur). De tweede keuze is de CV-ketel op vaste biomassa en de derde keuze is de elektrische warmtepomp.
- Het buitengebied kiest - met duidelijke voorkeur voor een - individuele invulling.
- Conclusie: Wij verwachten dat Schiermonnikoog een te kleine warmtevraag heeft voor een geothermieput, waardoor de CV-ketel op vaste biomassa of de elektrische warmtepomp (derde keuze) in beeld komt.

### **Kansen voor de Waddeneilanden**

Vanuit de aangeleverde informatie zien wij met name op de eilanden Ameland en Terschelling kansen om daar de warmtetransitie te starten (Figuur 35).

## 10 Conclusies

Met het CEGOIA-model hebben wij voor een viertal varianten doorgerekend welke warmtevoorziening de laagste totale maatschappelijke kosten heeft wanneer de provincie Fryslân in het jaar 2050 klimaatneutraal wil zijn. In Hoofdstuk 4 zijn de uitgangspunten voor deze berekeningen beschreven. In dit hoofdstuk herhalen we de belangrijkste conclusies uit de modelanalyse.

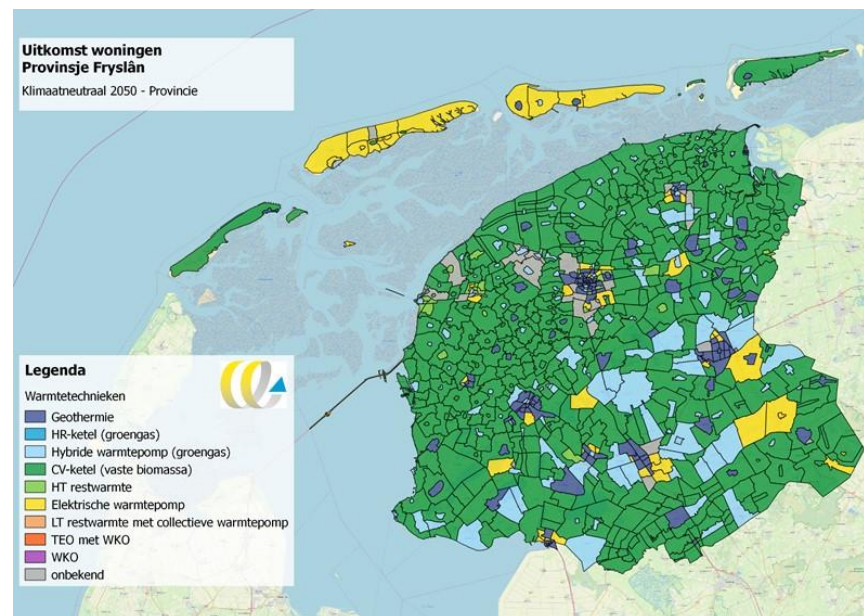
De uitkomsten bieden aanknopingspunten voor de discussie met stakeholders, ze laten de kansen zien en geven een indicatie van de afwegingen die gemaakt moeten worden. De uitkomsten zijn richtinggevend (en niet maatgevend) en geldig met de kennis, wetten en regels van nu.

### 10.1 Basisscenario

In Figuur 50 is te zien dat:

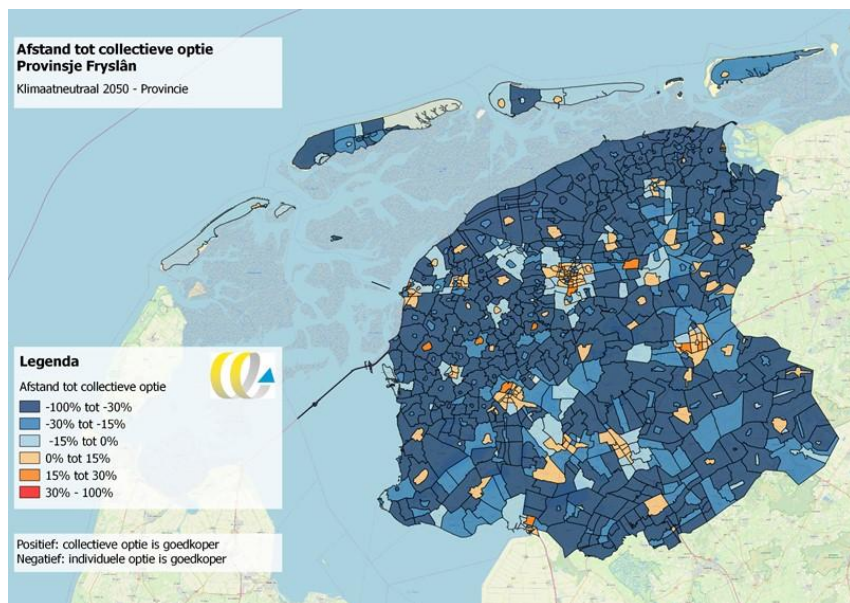
- De kernen van Leeuwarden, Drachten, Sneek en Heerenveen uitkomen op een warmteoplossing (geothermie).
- De CV-ketel op vaste biomassa is voor veel buitengebieden een kosteneffectieve oplossing. Hoewel de kaart veel groene gebieden laat zien, is het aantal WEQ dat op deze techniek uitkomt beperkt tot 30.000.
- Er zijn circa 81.000 WEQ die voorzien kunnen worden met groengas.
- Voor de rest van de buurten in de elektrische warmtepomp een goede optie (38.000 WEQ).

Figuur 50 - Woningen (basisscenario)





**Figuur 51 - Kostenverschil warmte vs. individuele optie**



Figuur 51 laat per buurt de kostenafstand van een collectieve optie (warmte) t.o.v. een individuele optie zien.

Deze figuur geeft aan:

- voor welke buurten een collectieve optie duidelijk goedkoper is (kleur rood en oranje);
- waar een individuele verwarmingstechniek te prefereren is (kleur donkerblauw);

- welke buurten een minder duidelijke voorkeur voor een collectieve of individuele optie hebben (kleur lichtblauw of lichtoranje).

Een belangrijke conclusie is dat in een steden de kosten van de gemodelleerde warmteopties erg dichtbij elkaar liggen met een lichte voorkeur voor een collectieve verwarmingstechniek.

Dit betekent dat andere argumenten dan kosten een rol kunnen gaan spelen bij het kiezen van een warmtetechniek (zoals wensen van bewoners/gebruikers, gemeente of andere stakeholders (o.a. warmteleveranciers).

In de buitengebieden is er een sterke voorkeur voor een individuele verwarmingstechniek.

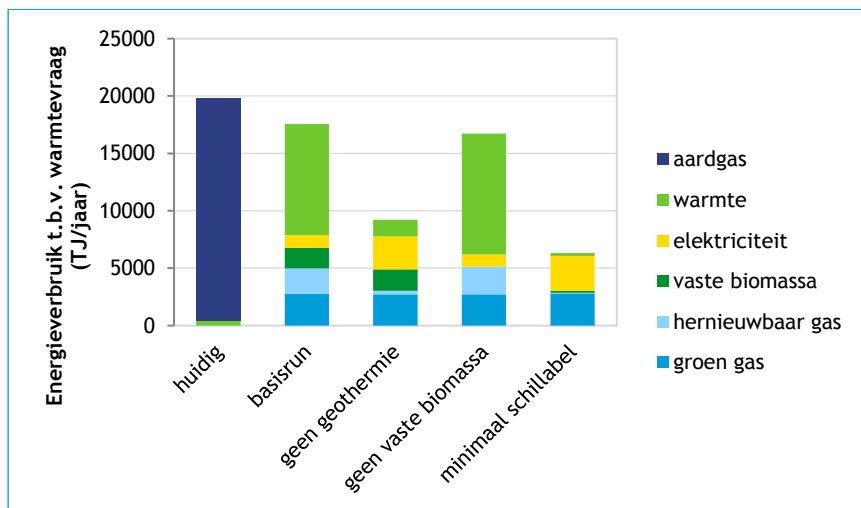
## 10.2 De hoeken van het speelveld

Naast het basisscenario hebben we drie alternatieve scenario's bekeken, te weten:

1. Geen geothermie: In dit scenario wordt geothermie niet in de berekeningen meegenomen.
2. Geen vaste biomassa: In dit scenario wordt de CV-ketel op vaste biomassa niet meegenomen.
3. Minimaal Schillabel B: In dit scenario is aangenomen dat alle woningen minimaal Schillabel B hebben.



Figuur 52 - Het energieverbruik t.b.v. warmtevoorziening (per scenario)



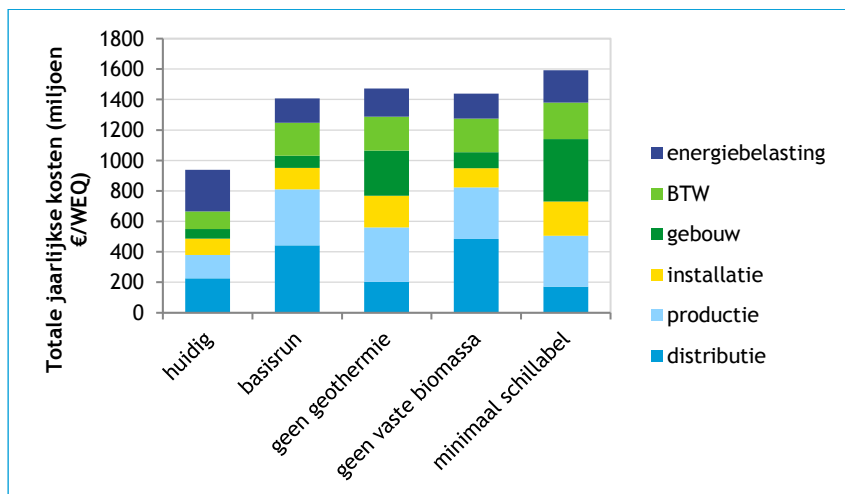
Uit de scenario's blijkt dat geothermie een zeer belangrijke warmtebron/verwarmingstechniek voor de provincie Fryslân is. Geothermie heeft een groot aandeel in het basisscenario. Op het moment dat geothermie niet toepasbaar is (scenario 'Geen geothermie'), dan neemt het aandeel warmte, incl. hernieuwbaar gas t.b.v. pieketels sterk af en het aandeel elektrische warmtepompen toe. Elektrische warmtepompen produceren warmte met een lage temperatuur, waardoor de woning of het gebouw goed geïsoleerd moet zijn. Hierdoor is het energieverbruik van dit scenario aanzienlijk lager.

Als geen CV-ketels op vaste biomassa toegepast worden, dan wordt meer geothermie toegepast. Geothermie levert hoge-temperatuurwarmte waardoor er geen noodzaak is om de woningen/gebouwen beter te isoleren. Hierdoor is het energieverbruik bijna gelijk aan het energieverbruik in het basisscenario.

Het scenario 'Minimaal Schillabel B' resulteert in het laagste energieverbruik en bijna geen warmte meer!

Groengas is vaak de goedkoopste oplossing en wordt in alle scenario's maximaal ingevuld.

Figuur 53 - Jaarlijkse kosten per scenario

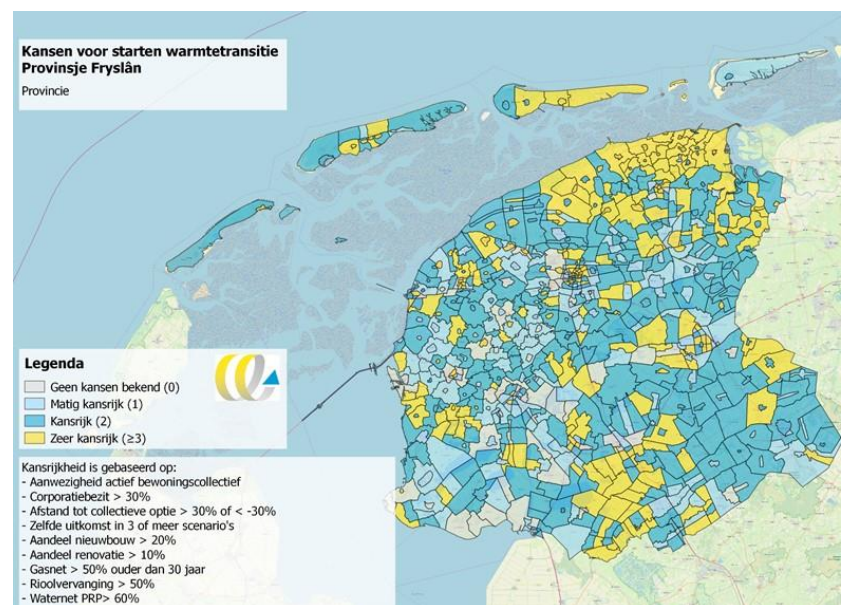


Figuur 53 laat de jaarlijkse kosten per scenario zien. Het grootste kostenverschil is aanwezig tussen de huidige situatie en de klimaatneutrale scenario's. De kostenverschillen tussen de vier klimaatneutrale scenario's zijn (relatief gezien) minder groot. Wel laat het scenario 'Minimaal Schillabel B' duidelijk de hoogste kosten zien.

### 10.3 Warmtekansenkaart

Buurtten die op veel criteria scoren in de kansenkaart, kunnen samen met de stakeholders serieus worden verkend of deze buurten in aanmerking komen om op korte termijn te starten met de warmtetransitie.

Figuur 54 - Kansenkaart provincie Fryslân



Naast dit rapport is een uitgebreide presentatie beschikbaar waarmee de verschillen tussen de kaarten beter zichtbaar is.

# 11 Advies voor vervolg

## 11.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven wij de provincie Fryslân advies hoe ze met de resultaten van deze studie verder kunnen. Bedacht moet worden dat de overheid momenteel werkt aan een nationale aanpak voor Regionale Energiestrategieën en Warmtetransitievisies, waarin onderstaande activiteiten verder worden uitgewerkt (zie hiervoor <http://regionale-energiestrategie.nl/>).

## 11.2 Zorg dat de feitenbasis volledig is

In dit project hebben we met elkaar geconstateerd dat nog niet alle informatie volledig is en dat het zeer wenselijk is als die informatie wel beschikbaar komt. De reden dat er informatie ontbreekt is, omdat: a) de vereiste informatie niet voorhanden was; b) de aangeleverde informatie niet verwerkt kon worden (niet voldeed aan de vereisten) of c) partijen geen informatie wilden aanleveren. Het is gebleken dat de aangeleverde informatie de uitkomsten verbeteren. Daarom is ons eerste advies: zorg dat de feitenbasis volledig wordt.

Activiteiten in de fase zijn:

- Completeer de buurtinformatie.

## 11.3 Consensus over de feiten en de uitkomsten

De volgende stap is het verkrijgen van consensus over de feiten en betekenis van de uitkomsten van de analyses. Dit betekent samen met de belangrijkste stakeholders<sup>30</sup> afstemming zoeken over de rekenmethodiek, de aannames, de afbakening, de data, etc. Dit is nodig om niet gedurende het traject een terugkerende discussie hierover te krijgen.

Daarnaast is consensus over de uitkomst van de analyses en de betekenis daarvan nodig. Vaak worden uitkomsten verschillend geïnterpreteerd, wat leidt tot vertragende discussies. Door gezamenlijk de uitkomsten te interpreteren en te bespreken, wordt niet alleen consensus bereikt, maar leidt er ook toe dat in het vervolgtraject een gelijke boodschap gecommuniceerd wordt. Dit verkleint de kans op onduidelijkheden en onzekerheden voor de stakeholders die niet direct betrokken zijn geweest bij het proces.

De resultaten van deze studie (rapport, presentaties en shape files) geven de basis voor het voeren van deze gesprekken.

Activiteiten in de fase zijn:

- Bespreek met elkaar het 'gewenste' eindbeeld.
- Bepaal de beschikbaarheid van warmtebronnen (bijvoorbeeld: is een restwarmtebron op termijn nog beschikbaar?).

<sup>30</sup> De belangrijkste stakeholders in de fase zijn o.a. de netbeheerders van gas en elektriciteit, aanbieders van warmte, woningcorporaties en andere gebouwingeigenaren.



- Bepaal de rendabele ondergrens voor diverse warmteprojecten en onderzoek waar het mogelijk is om buurten en/of andere sectoren (bijvoorbeeld industrie of glastuinbouw) te koppelen zodat de rendabele ondergrens wordt bereikt.
- Herijk de uitgangspunten (bespreek welke technieken (on)gewenst zijn, bepaal de omvang van de energiebronnen, ...).
- Bespreek de toedeling van schaarse en goedkopere energiebronnen/energiedragers. Het rekenmodel heeft dit nu gedaan op basis van het criterium laagste maatschappelijke kosten. Echter, wellicht zijn er andere overwegingen.
- Reken de nieuwe plannen door en maak een aangepaste warmtekaart.
- Bespreek waar concrete kansen liggen.

#### **11.4 Het organiseren van de warmtetransitie in kansrijke buurten**

Ga aan de slag met de eerste pilots en zet ze vooral in als leertraject en een avontuur dat je met elkaar aangaat. Doe dit stap voor stap, zodat het beheersbaar en behapbaar blijft voor de betrokkenen en met name de bewoners.

##### **Selecteer een buurt**

Buurt voor buurt moet de warmtetransitie vorm krijgen en één buurt moet de eerste zijn. Besluit samen met de stakeholders waar te starten met organiseren van de warmtetransitie. De selectie van deze buurt(en) kan plaatsvinden op verschillende gronden, zoals:

- logische vervangmomenten van infrastructuur (energie, verkeer, water en/of riool);
- de sterkte van de integrale businesscase;
- aanwezigheid van woningcorporaties;
- aanwezigheid van concrete kansen;
- andere logische afwegingen (o.a. wijkverbetering).

##### **Selecteer een tracé**

Onderdeel van het kiezen van een buurt als startpunt is het kiezen van een logisch tracé voor een toekomstig warmtenet. Dit hoeft niet direct een stadsdekkend tracé te zijn, maar kan ook lokaal ingevuld worden (en eventueel op termijn gekoppeld worden). Dit geldt hoofdzakelijk voor het warmtenet, maar ook in het geval van een all electric-oplossing en de verwachte netverzwaring, kan het verstandig zijn na te denken over de hoofdinfrastructuur.

##### **Communicatie**

Bij de energietransitie zijn veel stakeholders betrokken. Allen met eigen belangen, wensen, verwachtingen en mogelijkheden. Omdat de veranderingen voor deze stakeholders erg ingrijpend kunnen zijn, is het verstandig om in een vroeg stadium de bewoners te informeren en te betrekken bij uitkomsten van onderzoeken en besluiten. Zorg dat het niet een 'opgelegd ding' van de overheid wordt. Het uitfasen van aardgas zal alleen gaan werken als het breed gedragen wordt.



Bewoners en bedrijven moeten weten waarom en wat er gaat gebeuren. Hoe en wanneer dat gedaan gaat worden en welke effecten dat gaat hebben op hun persoonlijke woonsfeer. Door middel van informatiebijeenkomsten en -materiaal kunnen de meeste vragen beantwoord worden. Daarnaast moet rekening worden gehouden met detailvragen en (principiële) weerstand tegen de veranderingen.

Vroegtijdige communicatie lost uiteraard niet alle problemen op, maar verkleint de kans op grote weerstand later in het proces wel. Het geven van duidelijkheid en ondersteuning biedt bewoners en bedrijven de mogelijkheid om zich klaar te maken.

Wij adviseren om in deze fase ook een communicatieplan op te stellen waarin staat hoe met stakeholders wordt gecommuniceerd.

## Onderhandelen

In deze stap ligt de focus op de financiële aspecten van de transitie. Om inzicht te krijgen in de consequenties van de voorstellen worden businesscases uitgewerkt voor diverse typen stakeholders zoals: eigenaar-bewoners, huurders, verhuurders, bedrijven, scholen, etc. Met behulp van deze businesscases kan ook worden gekeken of de lusten en lasten eerlijk verdeeld worden over alle stakeholders.

Een ander onderdeel van deze fase is het gesprek aangaan met grote stakeholders in het gebied, zoals eigenaren/gebruikers van grote kantoorpanden, scholen, verzorgingstehuizen, etc. Het doel van deze

gesprekken is realiseren van intentieverklaringen gericht op het aansluiten op een warmtenet of het plaatsen van all electric-oplossingen. Intenties van grote klanten helpen om de overall businesscase interessanter te maken voor initiatiefnemers, financiers en andere stakeholders.

## Realiseren

Wanneer alle voorbereidende stappen zijn genomen, kan begonnen worden met de realisatie. Dit betreft niet alleen de planning van werkzaamheden, maar ook ondersteunende activiteiten zoals:

- het organiseren van compenserende maatregelen voor die stakeholders die onevenredig veel lasten krijgen;
- het oprichten van kennispunten waar stakeholders vragen kunnen stellen over te treffen maatregelen, contact kunnen leggen met potentiële uitvoerders of adviseurs, etc.

Met name in de eerste buurten zal de transitie sterk ondersteund moeten worden met kennisdeling, omdat veel van het werk nog nooit eerder is gedaan en de gemiddelde stakeholder over te weinig kennis beschikt van de technieken, de maatregelen en de financiering van de transitie. Voorkomen moet worden dat deze kennisachterstand leidt tot vertraging en problemen bij de uitvoering. Heldere aanspreekpunten (bij gemeente en woningcorporaties) kunnen de stakeholders voeden met de essentiële kennis.



Gedurende het proces worden steeds meer stakeholders betrokken bij de transitie, zoals: gemeente, woningcorporaties, netbeheerders, bewoners, buurtverenigingen en, eventueel al een warmtebedrijf. Zoals gezegd is samenwerking tussen de betrokken stakeholders essentieel om deze transitie met de laagste kosten voor de maatschappij uit te voeren. Door ook in de toekomst actief samen te werken kan kennis en ervaring uit deze pilot worden benut t.b.v. de volgende buurten in de transitie.

### 11.5 Selecteren van buurten in de volgende fase

In de vorige paragraaf hebben wij beschreven hoe de eerste buurten aangepakt kunnen worden. Wij adviseren om in de volgende fase van de transitie, de parallelle fase - waarbij meerdere buurten gelijktijdig de transitie ondergaan - onderscheid te maken in de aanpak o.b.v. de gewenste infrastructuur:

#### 1. Collectieve systemen.

Doel: In de buurten waar er consensus is dat er een warmtenet kan komen, dient voorkomen te worden dat individuele initiatieven (zoals woningen met een elektrische warmtepomp) de ontwikkeling van een collectief systeem hinderen. Voor een warmteleverancier wordt het aanleggen van een warmtenet minder aantrekkelijk als in het gebied reeds vele gebruikers gekozen hebben voor een individuele klimaatneutrale verwarmingstechniek en niet meer aangesloten willen worden op een warmtenet.

#### 2. Verzwaring elektriciteitsnet.

Doel: In de buurten waar er consensus is dat deze geschikt zijn voor een all electric-oplossing, kunnen isolatie en elektrische warmtepompen gestimuleerd worden.

Het is de verwachting dat bewoners geleidelijk overstappen op warmtepompen (elektrische en hybride), waardoor de verandering van de netbelasting voorspelbaar is. Benut de aanwezige meekoppelkansen om het elektriciteitsnet tijdig te verzwaren.

#### 3. Groengas.

Doel: In de buurten waarbij er consensus is dat een groengas-oplossing het beste keuze is, dient het gasnet in stand gehouden te worden. De buurten waar het gasnet blijft dienen tijdig en samen met de netbeheerder geselecteerd te worden. De aanschaf van de hybridewarmtepomp en na-isolatie kan gestimuleerd worden.

#### 4. Individuele verwarmingstechnieken zonder infra.

Dit betreft de CV-ketel op vaste biomassa. Maak, gegeven de nadelen van de CV-ketel op vaste biomassa, een keuze of deze techniek wenselijk is om te stimuleren. Een voorzichtige keuze is, om eerst in meer voor de hand liggende buurten te beginnen met de energietransitie, om zo ontwikkelingen voor de CV-ketel op vaste biomassa af te wachten.

## 12 Bronnen

BAG, 2018. *Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) - bouwjaar, functie, oppervlak, aantal gebouwen*. [Online]

Available at: <https://bagviewer.kadaster.nl/lvbag/bag-viewer/#?geometry.x=160000&geometry.y=455000&zoomlevel=0>  
[Geopend 2018].

Böhringer, F., 2009. *Holzlager und Holzpellets der Firma Binderholz in Fügen (Zillertal)*. [Illustraties].

Bridge, A., 2010. *Diatomite layer near Ballymoney*. [Illustraties] (Geograph).

ECN, 2014. *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector, voorraadgegevens, energieverbruik, besparingspotentieel, investeringskosten, arbeidsinzet*, Petten: ECN.

Gasunie, 2018. *Verkenning 2050 : discussiestuk*, Groningen: Gasunie.

IF Technology, 2017. *Single hole geothermische systemen*, Arnhem: IF Technology bv.

KEMA ; IF Technology ; DLV , 2012. *Kansen voor Ondiepe Geothermie voor de glastuinbouw*, Arnhem: KEMA Nederlands B.V..

Ministerie van Economische Zaken, 2016. *Energieagenda, Naar een CO2-arme energievoorziening*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Royal HaskoningDHV, 2018. *Warmtekansenkaart Friesland*, sl: Royal HaskoningDHV.

RVO, 2018-. *EP-online.nl : energielabels gebouwen*. [Online]

Available at: <https://www.ep-online.nl/ep-online/>  
[Geopend 2018].





## Bijlage(n)



## A Werking CEGOIA-model

In deze bijlage wordt een beknopte modeluitleg gegeven. In Bijlage B staat een overzicht van alle in het model gehanteerde inputwaarden en aannames.

CE Delft heeft de afgelopen jaren het CEGOIA-rekenmodel ontwikkeld om berekeningen te maken van de totale ketenkosten van een klimaatneutrale warmtevoorziening. De berekeningen worden gemaakt op buurtniveau. Met het CEGOIA-model worden voor elke buurt alle mogelijke kostencombinaties doorgerekend voor schilisolatie van de gebouwen en wijze van invulling van de resterende warmtevraag, inclusief de daarbij behorende kosten van energie-infrastructuur.

We benadrukken dat het geen blauwdruk oplevert van hoe het *moet*, maar wel een transparante doorrekening geeft van welke combinatie in een buurt de laagste kosten over de keten heeft. De investeringen in die combinatie leveren daarmee ook het hoogste CO<sub>2</sub>-rendement, met daarbij de kanttekening dat in het eindbeeld alle resterende ingezette energiedragers klimaatneutraal zijn.

Overigens kunnen de uitkomsten van de integrale ketenkosten-aanpak verschillen van een uitkomst waarbij de zgn. Trias Energetica wordt gevolgd. Daarbij worden eerst rendabele besparingsinvesteringen gedaan die zichzelf terugverdienen over hun levensduur,

waarna in een vervolgstap de resterende warmtevraag klimaatneutraal wordt ingevuld. Het kan zijn dat de totale kosten van die aanpak hoger uitkomen dan wanneer direct van het begin af aan een integrale afweging wordt gemaakt zoals in dit project.

Daarnaast kunnen prijzen afwijken van kosten. Zo worden de kosten van elektriciteits- en gasnetten bijvoorbeeld gesocialiseerd, hetgeen betekent dat ze over alle aangesloten worden omgeslagen ook als maar een beperkt deel van die aangesloten de feitelijke veroorzaker van de kosten is. Die uitkomst kan gebruikt worden als input voor een proces om gezamenlijk te bepalen hoe de gewenste eindsituatie eruitziet.

### Buurtniveau als basis

Er zijn verschillende soorten oplossingen om de warmtevraag van gebouwen klimaatneutraal in te vullen. Sommige oplossingen zijn 'individueel', zoals 'all electric' in combinatie met een forse isolatie en een lagetemperatuurwarmteafgiftesysteem in het gebouw. Andere oplossingen zijn 'collectief', zoals de aanleg van warmtedistributienet.

Wat de kosten optimale oplossing per buurt is, hangt sterk af van het type, de eigenschappen en mogelijkheden van de gebouwen in de buurt. Gaat het bijvoorbeeld om dichtbebouwde historische binnensteden, recente hoogbouw, een dorpskern, buitengebied of bedrijventerrein? En zijn er mogelijkheden voor restwarmte, geothermie, WKO of groengas? CEGOIA maakt daarom berekeningen op buurtniveau (CBS-indeling), waarbij de karakteristieken van een

buurt worden gebruikt als input voor het model. Hierbij valt te denken aan het type bebouwing (gestapeld, grondgebonden, gemiddeld oppervlak, woningtype), het bouwjaar van de gebouwen, de gebouwfuncties (woningen, kantoren, winkels, etc.) en de dichtheid van de bebouwing (aantal gebouwen per hectare). Daarnaast wordt ook het huidige energieverbruik en het gemiddelde energielabel van de buurt gebruikt als input voor het model.

### **Totale ketenkosten**

CEGOIA berekent de kosten over de gehele keten: distributie (de energie-infrastructuur), productie (energieverbruik), installaties (warmteopwektechnieken), gebouwmaatregelen (isolatie) en belastingen. Hierbij worden zowel de investeringskosten ('CAPEX') als de jaarlijkse kosten ('OPEX'; energiegebruik, onderhoudskosten, en dergelijke) meegenomen.

Er staan twee zaken centraal in de transitie: i) de investering in/aan de woning of het gebouw, zoals isolatie van de bouwschil en in de gebouwinstallatie en ii) de rol van de energie-infrastructuren die oplossingen mogelijk maken, zoals gas-, elektriciteits- en warmtenetten. Het is dan ook essentieel dat deze schakels in de keten van de energievoorziening integraal meegenomen worden bij de afweging voor de keuze van een toekomstige warmtevoorziening. Zonder warmtenet kan een woning immers niet op een centrale warmtebron aangesloten worden. Zo dienen ook de kosten van de netverzwaring die nodig zijn bij een all electric-oplossing inzichtelijk te zijn in de afweging, ook al worden

die laatste via de netbeheerder door iedereen betaald.

Het model rekent met de werkelijke kosten voor de energie-infrastructuur. Dit wil zeggen dat bijvoorbeeld het onderhouden van een gasnet in het buitengebied per woning wezenlijk duurder is dan voor een buurt met recente hoogbouw, ook al is dat niet zichtbaar in de tarieven van de netbeheerder.

De energiekosten hangen samen met gebruikte techniek en het isolatieniveau van de gebouwen. Een klimaatneutrale HR-ketel draait op groengas, een hybridewarmtepomp maakt daarnaast ook gebruik van elektriciteit om in de warmtebehoefte te voorzien. Het model berekent de energiekosten van alle gekozen technieken bij alle mogelijke schil-isolatieniveaus (G t/m A+ voor de woningen en drie isolatieniveaus voor utiliteitsbouw). Hierbij wordt het huidige gemiddelde energieverbruik en energielabel van de buurt als uitgangspunt gebruikt.

De installatiekosten hangen af van de verwarmingstechniek. In dit onderzoek wordt gerekend met de volgende technieken:

### **Individuele technieken**

- HR-ketel op groengas;
- hybridewarmtepomp (buitenlucht) op groengas;
- elektrische warmtepomp (bodemwarmtewisselaar);
- elektrische warmtepomp (buitenlucht);
- CV-ketel op vaste biomassa (pelletkachel).



## Collectieve technieken

- Geothermie;
- HT-restwarmte;
- LT-restwarmte met collectieve warmtepomp;
- WKO;
- TEO i.c.m. WKO met  $\sim 70^{\circ}\text{C}$  warmtenet.

Voor een goede samenvatting van bovengenoemde technieken verwijzen wij graag naar de website van [www.warmtetechnieken.nl](http://www.warmtetechnieken.nl).

Bij warmtedistributie (restwarmte, geothermie, Wijk-WKK) wordt ervan uitgegaan dat de zogenaamde piekwarmte geproduceerd wordt met hernieuwbaar gas, dus niet met aardgas.

Alle technieken worden doorgerekend in combinatie met alle mogelijke besparingsniveaus van de gebouwen. Bij de elektrische warmtepomp wordt hierbij een minimale schileis van Label B verondersteld. Dit om een gelijkwaardig comfort van de warmtevoorziening te waarborgen.

Ook de belastingen worden door het model meegenomen. De belastingen bestaan uit BTW op alle kostenonderdelen, de energiebelasting op gas en elektriciteit, de opslag duurzame energie op gas en elektriciteit en de belastingvermindering op de energierekening van woningen. Hierbij worden de tarieven van 2018 gehanteerd.

## Van investering naar jaarlijkse kosten

Het model berekent de jaarlijkse kosten, CAPEX en OPEX, voor alle ketenonderdelen van de warmtelevering. Alle investeringskosten worden omgerekend naar jaarlijkse kosten, door middel van een specifieke discontovoet en afschrijftermijn. Hiermee wordt impliciet dus ook rekening gehouden met het doen van vervangingsinvesteringen.

## De gebouwde omgeving

In dit onderzoek worden utiliteitsbouw en woningen aangeduid als 'gebouwde omgeving'. De energievraag van de industrie en landbouw valt buiten de scope van deze studie. De berekeningen voor utiliteit worden uitgesplitst naar sector. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende utiliteitssectoren:

- kantoren;
- winkels;
- gezondheidszorg;
- logies;
- onderwijs;
- bijeenkomst;
- sport;
- cellengebouw.

De focus van de berekeningen is de bestaande bouw. Het merendeel van de gebouwen die er vandaag staan zullen er immers in 2050 nog steeds staan. Bovendien gelden er strenge eisen voor de energiezuinigheid van nieuwbouw (EPC-eisen) en vanaf eind 2020 moeten

alle nieuwe gebouwen in Nederland bijna energieneutrale gebouwen (BENG) zijn. De bijkomende warmtevraag door nieuwbouw is daarom zeer gering in vergelijking tot de totale warmtevraag van de bestaande bouw. Desalniettemin zijn bestaande nieuwbouwplannen wel uitgevraagd bij de gemeente en daar waar relevant qua volumes ook meegenomen in de modelberekeningen.



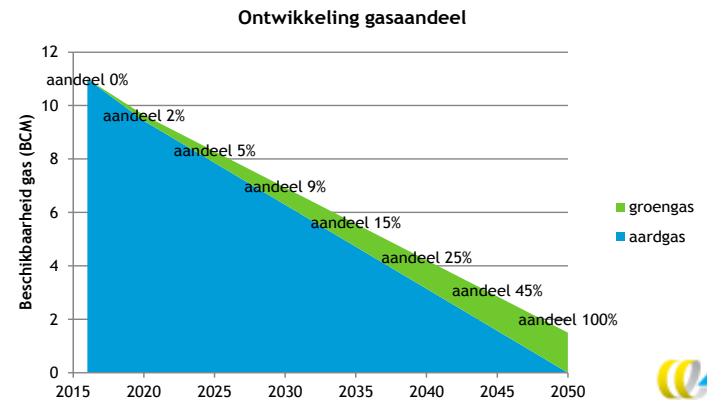
## B Modelparameters CEGOIA

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van de inputwaarden van het CEGOIA-model (d.d. 1 juni 2018).

### B.1 Ontwikkeling beschikbaarheid gas en gasprijs

CE Delft neemt aan dat het potentieel van groengas in 2050 2 bcm (miljard kubieke meter) bedraagt voor de gebouwde omgeving. Omdat groengas een-op-een uitwisselbaar is met aardgas, wordt in deze studie ervan uitgegaan dat voor de gebouwde omgeving groengas rechtstreeks beschikbaar is (maximaal 2 bcm gehele gebouwde omgeving; maximaal 1,5 bcm alleen woningen) en dat voor de piekvoorziening van collectieve warmte hernieuwbare gas beschikbaar is. In Figuur 55 wordt het aandeel groengas weergegeven bij een lineaire toename van groengas en tegelijkertijd een lineaire afname van de hoeveelheid aardgas in de loop naar 2050.

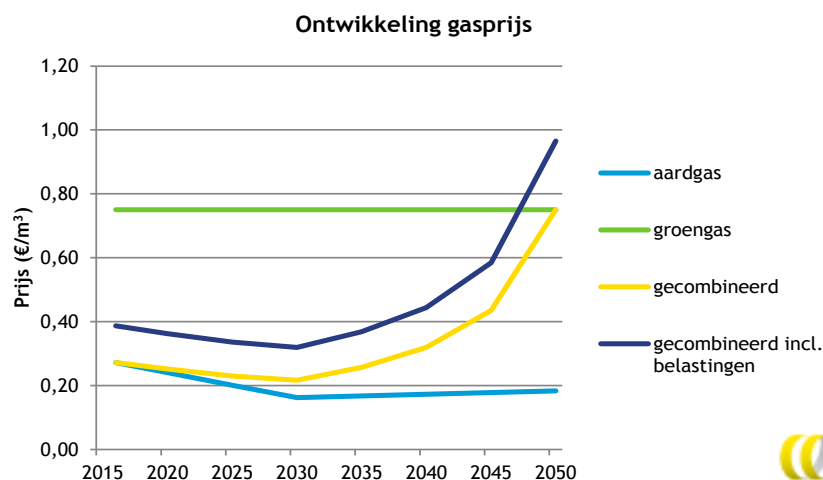
Figuur 55 - Ontwikkeling beschikbare hoeveelheid gas met het aandeel groengas



Voor de ontwikkeling van de aardgasprijs wordt aangesloten bij de studie Welvaart en Leefomgeving<sup>31</sup>. Hierbij is gebruikt gemaakt van het scenario 'Hoog'. Voor de groengasprijs wordt 0,75 €/m<sup>3</sup> exclusief belastingen aangenomen. Het model rekent in tussenliggende jaren met een gecombineerde gasprijs op basis van het aandeel aardgas en het aandeel groengas. De opbouw van de gasprijs is weergegeven in Figuur 56.

<sup>31</sup> KLIMAAT EN ENERGIE ACHTERGRONDDOCUMENT, WLO - Welvaart en Leefomgeving, Toekomstverkenning 2030 en 2050, CPB/PBL, 30 maart 2016.

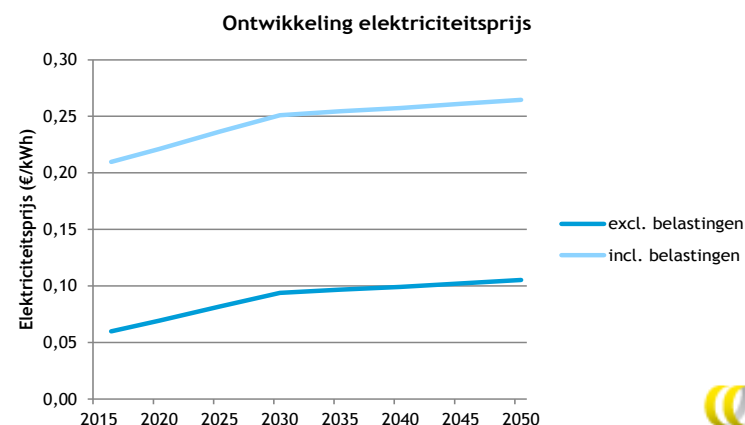
Figuur 56 - Ontwikkeling van de gasprijs



## B.2 Ontwikkeling elektriciteitsprijs

Voor de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs wordt aangesloten bij het scenario 'Hoog' uit de studie Welvaart en Leefomgeving<sup>31</sup>.

Figuur 57 - Ontwikkeling elektriciteitsprijs



## B.3 Gehanteerde discontovoeten en afschrijftermijnen

Alle investeringen worden in het model omgerekend naar jaarlijkse kosten. Dit gebeurt met een specifieke discontovoet en afschrijftermijn, afhankelijk van het type investering. De gehanteerde discontovoeten zijn weergegeven in Tabel 4 en de gehanteerde afschrijftermijnen in Tabel 5.

**Tabel 4 - Gehanteerde discontovoeten**

| Onderdeel              | Discontovoet          |
|------------------------|-----------------------|
| Energie-infrastructuur | 3,0% (warmtenet 6,0%) |
| Woningen               | 5,5%                  |
| Woningcorporaties      | 3,75%                 |
| Utiliteit              | 8,0%                  |
| Glastuinbouw           | 8,0%                  |

**Tabel 5 - Gehanteerde afschrijftermijnen**

| Onderdeel                | Afschrijftermijn |
|--------------------------|------------------|
| Collectieve installaties | 25 jaar          |
| Gebouwinstallaties       | 15 jaar          |
| Energie-infrastructuur   | 40 jaar          |
| Gebouwmaatregelen        | 25 jaar          |
| Zonneboiler              | 25 jaar          |
| Zonnepanelen             | 25 jaar          |

## B.4 Technieken

De investeringen en rendementen per techniek zijn opgenomen in de Tabel 6 t/m Tabel 10.

**Tabel 6 - Inputwaarden individuele warmtetechnieken**

| Techniek                           | Investering | Leercurve <sup>32</sup> | Rendement <sup>33</sup> | Onderhoud <sup>34</sup> |
|------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| HR-ketel                           | € 1.500     | Langzaam                | 0,94/0,70               | 2%                      |
| Hybridewarmtepomp (buitenlucht)    | € 5.000     | Snel                    | Variabel <sup>35</sup>  | 2%                      |
| Hybridewarmtepomp (ventilatie)     | € 4.023     | Snel                    | Variabel <sup>35</sup>  | 2%                      |
| Elektrische luchtwarmtepomp        | € 8.000     | Snel                    | 3,7/-                   | 2%                      |
| Elektrische bodemwarmtepomp        | € 15.000    | Snel                    | 4,4/-                   | 2%                      |
| CV-ketel (vaste biomassa)          | € 8.000     | Langzaam                | 0,86/-                  | 5%                      |
| Elektrische boiler (warm tapwater) | € 1.112     | Langzaam                | -/0,75                  | 0%                      |

**Tabel 7 - Inputwaarden collectieve warmtetechnieken**

| Techniek             | Investering | Leercurve <sup>32</sup> | Onderhoud <sup>34</sup> |
|----------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Restwarmte industrie | 250 €/kW    | Snel                    | 5%                      |
| Geothermie           | 1.820 €/kW  | Snel                    | 3%                      |
| Wijk-WKK             | 1.300 €/kW  | Langzaam                | 1%                      |
| WKO                  | 1.130 €/kW  | Snel                    | 0,5%                    |

<sup>32</sup> Zie Figuur 58.

<sup>33</sup> Het rendement voor ruimteverwarming/warm tapwater.

<sup>34</sup> De jaarlijkse onderhoudskosten zijn uitgedrukt als percentage van de investering.

<sup>35</sup> Zie Tabel 8 - Inputwaarden hybridewarmtepomp



Tabel 8 - Inputwaarden hybridewarmtepomp

| Techniek        | Schil | Aandeel elektrisch | Rendement elektrisch | Rendement gas |
|-----------------|-------|--------------------|----------------------|---------------|
| Buitenlucht     | A     | 0,52               | 3,68                 | 0,70          |
|                 | B     | 0,49               | 3,72                 | 0,70          |
|                 | C     | 0,47               | 3,75                 | 0,70          |
|                 | D     | 0,45               | 3,78                 | 0,70          |
|                 | E     | 0,42               | 3,81                 | 0,70          |
|                 | F     | 0,40               | 3,84                 | 0,70          |
|                 | G     | 0,38               | 3,86                 | 0,70          |
| Ventilatielucht | A     | 0,58               | 4,27                 | 0,70          |
|                 | B     | 0,56               | 4,28                 | 0,70          |
|                 | C     | 0,49               | 4,29                 | 0,70          |

Tabel 9 - Inputwaarden afgiftesystemen per bruto vloeroppervlak

| Afgiftesysteem  | Investering         |
|-----------------|---------------------|
| LT-radiatoren   | 15 €/m <sup>2</sup> |
| HT-radiatoren   | 8 €/m <sup>2</sup>  |
| Vloerverwarming | 71 €/m <sup>2</sup> |

Tabel 10 - Inputwaarden overige technieken

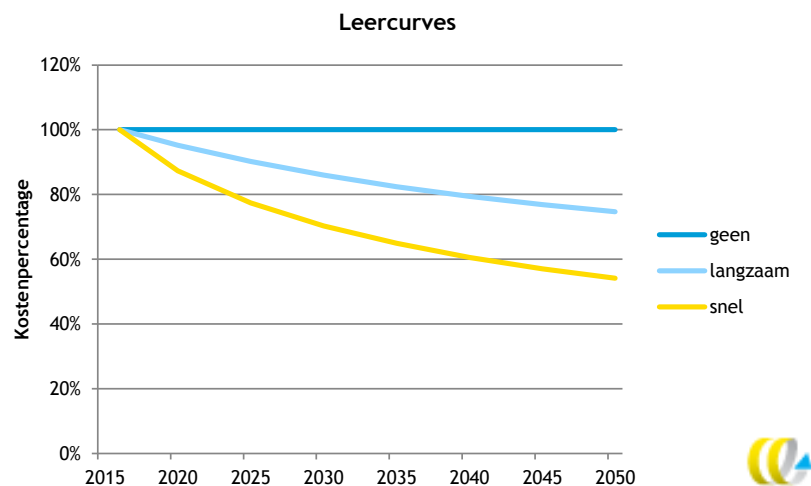
| Techniek                       | Investering          | Leercurve <sup>32</sup> | Rendement                   | Onderhoud <sup>34</sup> |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Monoblock koelsysteem          | € 4.000              | Snel                    | 0,40                        | 2,5%                    |
| Mechanische ventilatie         | € 1.500              | Snel                    | 0,80                        | 2%                      |
| WTW-douchepijp                 | € 487                | Snel                    | 50% besparing <sup>36</sup> | 2%                      |
| Zonneboiler voor warm tapwater | € 2.524              | Snel                    | 50% besparing <sup>36</sup> | 2%                      |
| Zon-PV                         | 285 €/m <sup>2</sup> | Snel                    | 150 kWh/m <sup>2</sup>      | 1,5%                    |

## B.5 Overige parameters

De investeringsparameters in het model zijn voorzien van een leercurve die aangeeft hoe de kosten zich in de loop van de tijd ontwikkelen. Er zijn twee verschillende leercurves gehanteerd: een langzame curve voor technieken die al verder doorontwikkeld zijn en een snelle curve voor nieuwe technieken waarbij wordt verwacht dat er nog veel kostendaling zal optreden.

<sup>36</sup> De installatie zorgt voor een besparing van 50% op de warm tapwatervraag.

Figuur 58 - Leercurves op investeringen door innovaties



In Tabel 11 t/m Tabel 13 zijn de besparingsparameters opgenomen.

Tabel 11 - Besparing op de warmtevraag voor ruimteverwarming van woningen per schilstep

| Schil     | A+ <sup>37</sup> | A   | B   | C   | D   | E   | F  | G  |
|-----------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Huidig G  | 73%              | 45% | 34% | 28% | 18% | 10% | 3% | 0% |
| Huidig F  | 69%              | 43% | 32% | 26% | 15% | 7%  | 0% | -  |
| Huidig E  | 62%              | 39% | 27% | 20% | 8%  | 0%  | -  | -  |
| Huidig D  | 54%              | 34% | 20% | 13% | 0%  | -   | -  | -  |
| Huidig C  | 43%              | 24% | 8%  | 0%  | -   | -   | -  | -  |
| Huidig B  | 33%              | 17% | 0%  | -   | -   | -   | -  | -  |
| Huidig A  | 23%              | 0%  | -   | -   | -   | -   | -  | -  |
| Huidig A+ | 0%               | -   | -   | -   | -   | -   | -  | -  |

Op de investeringskosten voor isolatiemaatregelen wordt de langzame leercurve toegepast, met uitzondering van isoleren naar energielabel A+, hierbij wordt de snelle leercurve toegepast.

<sup>37</sup> Het Label A+ wordt enkel toegepast in combinatie met een elektrische warmtepomp en zonnepanelen: de zogenaamde Nul-op-de-Meter-woning.

**Tabel 12 - Investeringskosten in €/m<sup>2</sup> voor isolatiemaatregelen van *gestapelde* woningen**

| Schil     | A+  | A   | B   | C   | D  | E  | F  | G |
|-----------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|---|
| Huidig G  | 441 | 141 | 116 | 102 | 80 | 57 | 30 | 0 |
| Huidig F  | 337 | 138 | 107 | 89  | 61 | 30 | 0  | - |
| Huidig E  | 337 | 132 | 96  | 75  | 43 | 0  | -  | - |
| Huidig D  | 253 | 160 | 80  | 34  | 0  | -  | -  | - |
| Huidig C  | 267 | 157 | 72  | 0   | -  | -  | -  | - |
| Huidig B  | 119 | 84  | 0   | -   | -  | -  | -  | - |
| Huidig A  | 64  | 0   | -   | -   | -  | -  | -  | - |
| Huidig A+ | 0   | -   | -   | -   | -  | -  | -  | - |

**Tabel 13 - Investeringskosten in €/m<sup>2</sup> voor isolatiemaatregelen van *grondgebonden* woningen**

| Schil     | A+  | A   | B   | C   | D  | E  | F  | G |
|-----------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|---|
| Huidig G  | 303 | 170 | 140 | 123 | 96 | 66 | 33 | 0 |
| Huidig F  | 277 | 166 | 128 | 106 | 72 | 35 | 0  | - |
| Huidig E  | 232 | 147 | 107 | 85  | 49 | 0  | -  | - |
| Huidig D  | 198 | 122 | 76  | 49  | 0  | -  | -  | - |
| Huidig C  | 218 | 185 | 69  | 0   | -  | -  | -  | - |
| Huidig B  | 82  | 70  | 0   | -   | -  | -  | -  | - |
| Huidig A  | 31  | 0   | -   | -   | -  | -  | -  | - |
| Huidig A+ | 0   | -   | -   | -   | -  | -  | -  | - |

De toegepaste leercurve op de isolatiekosten voor utiliteitsgebouwen in de langzame curve.

**Tabel 14 - Warmtevraag in GJ/m<sup>2</sup> en investeringskosten voor isolatiemaatregelen in €/m<sup>2</sup> van utiliteit**

| BAG-functie     | Bouwjaar   | Huidige warmte vraag (GJ/m <sup>2</sup> ) | Isolatie- Niveau B (GJ/m <sup>2</sup> ) | Isolatie- Niveau A (GJ/m <sup>2</sup> ) | Kosten Niveau B (€/m <sup>2</sup> ) | Kosten Niveau A (€/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Kantoor         | Tot 1920   | 1,01                                      | 0,27                                    | 0,19                                    | 78                                  | 104                                 |
|                 | 1920-1974  | 0,80                                      | 0,24                                    | 0,17                                    | 77                                  | 104                                 |
|                 | 1975-1989  | 0,41                                      | 0,22                                    | 0,16                                    | 71                                  | 98                                  |
|                 | 1990-1994  | 0,37                                      | 0,22                                    | 0,15                                    | 70                                  | 97                                  |
|                 | Vanaf 1990 | 0,31                                      | 0,21                                    | 0,15                                    | 67                                  | 93                                  |
| Winkel          | Tot 1920   | 0,51                                      | 0,15                                    | 0,10                                    | 92                                  | 121                                 |
|                 | 1920-1974  | 0,41                                      | 0,13                                    | 0,09                                    | 91                                  | 121                                 |
|                 | 1975-1989  | 0,21                                      | 0,12                                    | 0,09                                    | 83                                  | 113                                 |
|                 | 1990-1994  | 0,20                                      | 0,11                                    | 0,08                                    | 82                                  | 111                                 |
|                 | Vanaf 1990 | 0,16                                      | 0,11                                    | 0,08                                    | 77                                  | 107                                 |
| Gezondheidszorg | Tot 1920   | 1,15                                      | 0,39                                    | 0,27                                    | 92                                  | 122                                 |
|                 | 1920-1974  | 0,84                                      | 0,37                                    | 0,26                                    | 91                                  | 122                                 |
|                 | 1975-1989  | 0,47                                      | 0,34                                    | 0,24                                    | 84                                  | 114                                 |
|                 | 1990-1994  | 0,47                                      | 0,31                                    | 0,22                                    | 82                                  | 112                                 |
|                 | Vanaf 1990 | 0,39                                      | 0,30                                    | 0,21                                    | 78                                  | 108                                 |
| Logies          | Tot 1920   | 0,75                                      | 0,27                                    | 0,19                                    | 88                                  | 117                                 |
|                 | 1920-1974  | 0,60                                      | 0,24                                    | 0,17                                    | 87                                  | 117                                 |
|                 | 1975-1989  | 0,33                                      | 0,23                                    | 0,16                                    | 81                                  | 111                                 |
|                 | 1990-1994  | 0,31                                      | 0,22                                    | 0,16                                    | 79                                  | 109                                 |
|                 | Vanaf 1990 | 0,27                                      | 0,21                                    | 0,15                                    | 76                                  | 106                                 |
| Onderwijs       | Tot 1920   | 0,55                                      | 0,16                                    | 0,11                                    | 85                                  | 114                                 |
|                 | 1920-1974  | 0,42                                      | 0,15                                    | 0,10                                    | 85                                  | 114                                 |
|                 | 1975-1989  | 0,23                                      | 0,13                                    | 0,09                                    | 75                                  | 105                                 |
|                 | 1990-1994  | 0,22                                      | 0,12                                    | 0,08                                    | 74                                  | 103                                 |
|                 | Vanaf 1990 | 0,17                                      | 0,12                                    | 0,08                                    | 69                                  | 98                                  |

| BAG-functie | Bouwjaar   | Huidige<br>warmte<br>vraag<br>(GJ/m²) | Isolatie-<br>Niveau B<br>(GJ/m²) | Isolatie-<br>Niveau A<br>(GJ/m²) | Kosten<br>Niveau B<br>(€/m²) | Kosten<br>Niveau A<br>(€/m²) |
|-------------|------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Bijeenkomst | Tot 1920   | 0,55                                  | 0,21                             | 0,14                             | 78                           | 106                          |
|             | 1920-1974  | 0,79                                  | 0,34                             | 0,24                             | 77                           | 105                          |
|             | 1975-1989  | 0,60                                  | 0,41                             | 0,28                             | 71                           | 99                           |
|             | 1990-1994  | 0,61                                  | 0,40                             | 0,28                             | 70                           | 98                           |
|             | Vanaf 1990 | 0,42                                  | 0,34                             | 0,24                             | 66                           | 94                           |
| Sport       | Tot 1920   | 0,80                                  | 0,32                             | 0,22                             | 128                          | 180                          |
|             | 1920-1974  | 0,65                                  | 0,34                             | 0,23                             | 127                          | 179                          |
|             | 1975-1989  | 0,42                                  | 0,31                             | 0,22                             | 115                          | 167                          |
|             | 1990-1994  | 0,42                                  | 0,30                             | 0,21                             | 112                          | 164                          |
|             | Vanaf 1990 | 0,35                                  | 0,28                             | 0,19                             | 105                          | 157                          |
| Cel         | Tot 1920   | 1,21                                  | 0,38                             | 0,27                             | 53                           | 72                           |
|             | 1920-1974  | 0,82                                  | 0,38                             | 0,27                             | 53                           | 71                           |
|             | 1975-1989  | 0,49                                  | 0,33                             | 0,23                             | 50                           | 68                           |
|             | 1990-1994  | 0,49                                  | 0,30                             | 0,21                             | 49                           | 67                           |
|             | Vanaf 1990 | 0,39                                  | 0,30                             | 0,21                             | 47                           | 65                           |

Tabel 15 - Overige energievragen van woningen

| Woningschil | Ventilatie<br>(GJ/m²) | Koude<br>(GJ/m²) | Hulpenergie<br>(GJ/m²) | Warm tapwater<br>(GJ/pp) |
|-------------|-----------------------|------------------|------------------------|--------------------------|
| A+          | 0,03                  | 0,05             | 0,01                   | 3,0                      |
| A           | 0,03                  | 0,05             | 0,01                   | 3,0                      |
| B           | 0,02                  | 0,05             | 0,01                   | 3,0                      |
| C           | 0,02                  | 0,00             | 0,01                   | 3,0                      |
| D           | 0,02                  | 0,00             | 0,01                   | 3,0                      |
| E           | 0,01                  | 0,00             | 0,01                   | 3,0                      |
| F           | 0,01                  | 0,00             | 0,01                   | 3,0                      |
| G           | 0,00                  | 0,00             | 0,01                   | 3,0                      |

Tabel 16 - Overige energievragen van utiliteit

| BAG-functie     | Ventilatie<br>(GJ/m²) | Koude<br>(GJ/m²) | Hulpenergie<br>(GJ/m²) | Koudevraag<br>(GJ/m²) | Warm<br>tapwater<br>(GJ/m²) |
|-----------------|-----------------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Kantoor         | 0,019                 | 0,034            | 0,007                  | 0,034                 | 0,006                       |
| Winkel          | 0,008                 | 0,011            | 0,010                  | 0,011                 | 0,006                       |
| Gezondheidszorg | 0,046                 | 0,030            | 0,016                  | 0,030                 | 0,095                       |
| Logies          | 0,048                 | 0,077            | 0,019                  | 0,077                 | 0,065                       |
| Onderwijs       | 0,009                 | 0,002            | 0,009                  | 0,002                 | 0,007                       |
| Bijeenkomst     | 0,048                 | 0,077            | 0,019                  | 0,077                 | 0,065                       |
| Sport           | 0,081                 | 0,000            | 0,042                  | 0,000                 | 0,079                       |
| Cel             | 0,048                 | 0,077            | 0,019                  | 0,077                 | 0,065                       |

**Tabel 17 - Ouderdomsfactoren: kostenverhogende factor vanwege de ouderdom van de gebouwen**

| Investeringsonderdeel  | Bouwjaar voor<br>1900 | Bouwjaar<br>1900-1945 | Bouwjaar na<br>1945 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Isolatiemaatregelen    | 2                     | 1,5                   | 1                   |
| Amovering              | 1,3                   | 1                     | 0,65                |
| Energie-infrastructuur | 2                     | 1,5                   | 1                   |

**Tabel 18 - Inputwaarde potentieel dakoppervlakte zon-PV**

| BAG-functie            | Ratio dak/bruto<br>vloeroppervlak | Aandeel dakoppervlak<br>beschikbaar |
|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Woning - grondgebonden | 0,25                              | 1/3                                 |
| Woning - gestapeld     | 0,33                              | 1/2                                 |
| Kantoor                | 0,48                              | 1/2                                 |
| Winkel                 | 0,50                              | 1/2                                 |
| Gezondheidszorg        | 0,40                              | 1/2                                 |
| Logies                 | 0,50                              | 1/2                                 |
| Onderwijs              | 0,71                              | 1/2                                 |
| Bijeenkomst            | 0,40                              | 1/2                                 |
| Sport                  | 1,00                              | 1/2                                 |
| Cel                    | 0,26                              | 1/2                                 |

De kosten voor netverzwaring bij gebruik van elektrische warmtepompen bedragen 961 €/kW (zonder leercurve).

<sup>38</sup> Inclusief gelijktijdigheidsfactor.

**Tabel 19 - Inputwaarde netverzwaring elektriciteit**

| Techniek              | Isolatieschil | Netverzwaring <sup>38</sup> (kW) |
|-----------------------|---------------|----------------------------------|
| Bodemwarmtepomp       | A+            | 0,5                              |
|                       | A             | 1,1                              |
|                       | B             | 1,7                              |
| Lucht-waterwarmtepomp | A+            | 1,9                              |
|                       | A             | 4,1                              |
|                       | B             | 7,2                              |

**Tabel 20 - Productiekosten warmtebronnen**

| Warmtebron                   | Kosten (€/GJ)           | Opmerking            |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Afvalverbrandingsinstallatie | 2,67                    | -                    |
| Biomassacentrale             | 20                      | -                    |
| Geothermie                   | Elektriciteitsprijs/20  | SPF 20 (pompenergie) |
| Industrie                    | Elektriciteitsprijs/20  | SPF 20 (pompenergie) |
| Gasturbine                   | 4,94                    | -                    |
| Kolencentrale                | 2,38                    | -                    |
| STEG                         | 4,94                    | -                    |
| WKO                          | Elektriciteitsprijs/3,5 | SPF 3,5              |

**Tabel 21 - Bijstookfactor warmtebronnen**

| Schil | Bijstook (%) | Rendement bijstook |
|-------|--------------|--------------------|
| A+    | 10,0%        | 0,9                |
| A     | 12,5%        | 0,9                |
| B     | 15,0%        | 0,9                |
| C     | 17,5%        | 0,9                |
| D     | 20,0%        | 0,9                |
| E     | 22,5%        | 0,9                |
| F     | 25,0%        | 0,9                |
| G     | 27,50%       | 0,9                |



Voor warmtelevering met een warmtenet wordt een leidingverlies aangehouden van 15%. De gelijktijdigheidsfactor voor de aansluitingen op het warmtenet wordt verondersteld op 50%.

**Tabel 22 - Inputwaarde warmtenet**

| Type gebouw               | Aansluitkosten | Aansluitwaarde         |
|---------------------------|----------------|------------------------|
| Gestapelde woning         | € 8.000        | 7,5 kW                 |
| Grondgebonden woning      | € 12.000       | 9,0 kW                 |
| Woning met blokverwarming | € 4.000        | 7,5 kW                 |
| Utiliteit                 | 150 €/kW       | 0,05 kW/m <sup>2</sup> |

# Colofon

Delft, CE Delft, oktober 2018

Deze publicatie is geschreven door:

Hein-Bert Schurink

Eline Burger

Publicatienummer: 18.5P89.130

Procincies / Energievoorziening / Beleid / Warmte / Regionaal / Locaal / Analyse

VT: Rekenmodel / CEGOIA

Opdrachtgever: Provincie Fryslân

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

© copyright, CE Delft, Delft



## CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.