



# Energievisie Crailo

*Klaar voor 2050!*



Datum: 23 augustus 2019  
Projectnr.: 1753  
Status: Concept  
Auteurs: Runa Lentz en Ronald Schilt

## Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Conclusies en aanbevelingen .....	4
Inleiding .....	6
1 Visie op de opgave.....	8
1.1 Ambitiedocument Crailo .....	8
1.2 Crailo op het niveau van 2050 .....	8
1.3 Invulling op gebouw- of gebiedsniveau.....	9
2 Beleidskader Energie .....	10
2.1 Gemeentelijk energiebeleid .....	10
2.2 Landelijk energiebeleid.....	10
3 Uitgangspunten en omgevingsanalyse.....	13
3.1 Uitgangspunten stedenbouwkundig- en landschapsplan .....	13
3.2 Kenmerken bestaande omgeving.....	14
3.3 Kenmerken bestaande gebouwen.....	16
4 Duurzame energieconcepten .....	17
4.1 Beperking energievraag.....	17
5 Duurzame warmteopwekking .....	19
5.1 Een 'groen' gasnet .....	19
5.2 Waterstof-infrastructuur met waterstofketels .....	19
5.3 Geothermie-warmtenet .....	20
5.4 Biomassa-warmtenet .....	23
5.5 Warmtepompen .....	24
5.6 Keuze energie-infrastructuur voor duurzame warmteopwekking.....	24
6 Duurzame elektriciteitsopwekking.....	27
Bijlage 1 – Uitsplitsing investeringskosten .....	32
Bijlage 2 – Uitsplitsing energie- en onderhoudskosten.....	33
Bijlage 3 – Uitsplitsing benodigde PV-panelen per woningtype .....	34

## Samenvatting

### Crailo nu op het niveau van 2050: de Klimaatdoelen van 2050 worden in Crailo behaald

Gemeenschappelijke exploitatiemaatschappij Crailo (GEM Crailo) is bezig met de herontwikkeling van voormalig kazerneterrein Crailo. De GEM is van plan om in dit gebied circa 500 woningen en 50.000 m<sup>2</sup> bedrijvigheid te realiseren. Eind 2017 is de ambitie uitgesproken Crailo “Energiepositief” te ontwikkelen. De voorliggende energievisie gaat in op de vraag hoe deze ambitie het beste ingevuld kan worden.

De hoge ambitie “Energiepositief” is vertaald naar een wijk met ‘nul-op-de-meter’ woningen die niet alleen volledig in het energiegebruik van de woning en haar bewoners kan voorzien, maar waarin ook onderling energie kan worden uitgewisseld en de energie wordt opgewekt voor toekomstig elektrisch rijden van bewoners. Hiermee geeft Crailo nu al invulling aan het Klimaatakkoord van Parijs en de Klimaatwet waarin is vastgelegd dat we in 2050 de CO<sub>2</sub>-uitstoot voor 95% hebben gereduceerd. Oftewel: Crailo is klaar voor 2050!

De voorkeursinfrastructuur is all-electric, waarbij de warmtevoorziening bestaat uit elektrische warmtepompen en de elektriciteit wordt opgewekt door zonnepanelen. Uit de vergelijking van energieconcepten blijkt dat individuele warmtepompen per woning of (woon)gebouw en zonnepanelen de meest duurzame oplossing is voor Crailo, gecombineerd met zeer goede isolatie en warmteterugwinning. De zonnepanelen komen op de integraal hierop ontworpen daken van woningen en bedrijven en zullen goed afgestemd moeten worden met de posities van de bomen. Ook een geplande Ecowal en mobiliteitshubs zullen worden ingezet als duurzame energiecentrale.

Deze energiecentrale kan onderdeel uitmaken van een energiecoöperatie, waarvan de bewoners van Crailo gezamenlijk eigenaar zijn en waarvan zij hun energie niet alleen betrekken, maar ook aan leveren. Daarnaast kan de energiecoöperatie op innovatieve wijze ingezet worden om gezamenlijk duurzame energie in te kopen en te verkopen en zo efficiënt mogelijk met elkaar uit te wisselen. Op deze manier zijn de huishoudens (en afhankelijk van het programma, ook bedrijven) per saldo samen zelfvoorzienend, wat goed aansluit bij het beoogde karakter van een buurtschap. Tot slot zal voor de elektra-infrastructuur extra aandacht besteed worden aan de mogelijkheden van het plaatsen van laadvoorzieningen voor niet alleen bewoners en bezoekers van Crailo, maar ook voor elektrische deelauto's.

Een ander onderzocht energieconcept is het toepassen van een warmtenet dat gevoed wordt door geothermie of biomassa. Door het kleine aantal woningen met een lage warmtevraag en lage bouwdichtheid is een warmtenet voor Crailo financieel en energetisch minder aantrekkelijk. Voor een haalbare businesscase van een warmtenet met geothermie is een schaalgrootte nodig van 10 keer de huidige bouwplannen van Crailo. De ontwikkeling van Crailo zal daarom geen bepalende rol spelen ten aanzien van de financiële haalbaarheid van geothermie. Als er een haalbare businesscase is met aansluitingen van (bestaande) gebouwen in de omgeving en het gewenst is dat Crailo hierop zal aansluiten, zou nu een warmtenet-infrastructuur gerealiseerd kunnen worden dat voor de korte termijn wordt gevoed met warmte afkomstig uit snoeihout. Aandachtspunt blijft dan dat het aanleggen van een warmtenet voor een wijk met een dermate lage bouwdichtheid als Crailo, ongeacht de warmtebron, relatief duur is.

## Conclusies en aanbevelingen

Uit dit onderzoek komen de volgende conclusies en aanbevelingen naar voren.

1. Voor het realiseren van energiepositieve woningen is een pakket aan bouwkundige- en installatietechnische maatregelen voorgesteld die zorgen voor een betere isolatie dan het huidige bouwbesluit en voor warmteterugwinning, zodat de warmtevraag zo klein mogelijk is. Voor de bestaande gebouwen die gerenoveerd worden tot appartementencomplexen wordt geadviseerd de woningen te isoleren op het niveau van het huidige bouwbesluit.
2. Wat betreft de duurzame warmte-opwekking wordt afgeraden om een groen gas- of waterstofinfrastructuur te realiseren vanwege de schaarste van groen gas en de hoge CO<sub>2</sub>-uitstoot van een waterstofketel.
3. Een warmtenet-infrastructuur voor Crailo niet voor de hand liggend omdat deze infrastructuur vooral geschikt is voor compacte gebouwen met een hoge bouwdichtheid. Dit vanwege het warmteverlies dat optreedt tijdens het transport van de bron naar de woningen en de energie die nodig is om de warmte te transporteren.
4. In de multicriteria-analyse heeft het concept met warmtepompen de hoogste score. Dit vanwege de technische en financiële haalbaarheid, het kleinere ruimtebeslag in het openbaar gebied, eenvoudig onderhoud en beheer, de beperking van transportverliezen, het kunnen bieden van koeling, de flexibiliteit en de lage CO<sub>2</sub>-uitstoot. Voor de bewoners zijn de exploitatielasten bij het warmtepomp-concept lager dan bij het warmtenet-concept. Ook de levensduurkosten zijn in dit concept lager.
5. Uit de ruimtelijke analyse blijkt dat de ambitie 'NOM+ e-vervoer' op gebouwniveau voor de appartementencomplexen niet haalbaar is vanwege een te beperkt dakoppervlak, en voor grondgebonden woningen lastig haalbaar is vanwege de schaduwwerking van de omringende bomen.
6. Op gebiedsniveau is er genoeg dakoppervlak om voor de woningen de benodigde energie voor de ambitie 'NOM' op te wekken, maar niet voor de ambitie 'NOM+ e-vervoer'. Daarvoor moet gezocht worden naar extra plaatsingsoppervlak in het plangebied, bijvoorbeeld op de Ecowal of de mobiliteitshub. Voor het 'all-electric' concept kan er met deze toevoeging voldoende energie worden opgewekt voor 'NOM+ e-vervoer'. Voor de concepten met een warmtenet is ook het dak van de manege nodig, tenzij de mobiliteitshub volledig schaduwvrij en zonder installaties op het dak wordt uitgevoerd.
7. Voor het stedenbouwkundig plan wordt aanbevolen om de oriëntatie en plaatsing van de woningen af te stemmen op de bezonning en de bestaande bomen, en vervolgens de plaatsing van de toe te voegen bomen op de woningen af te stemmen, evenals het afstemmen van de parkeerplekken op de mogelijkheid om de auto met eigen stroom op te laden en het inpassen van ruimte voor deelmobiliteit met het oog op parkeer- en laadvoorzieningen. Bij het ontwerp van de Ecowal moet rekening gehouden worden met de afmetingen van PV-panelen.
8. Contractueel dient het toewijzen van dakoppervlak voor PV-panelen onderdeel te worden van de ontwikkelopgave. Het dakoppervlak dat de bedrijven niet benutten voor de eigen elektriciteitsopwekking wordt beschikbaar gesteld voor de plaatsing van PV-panelen ten behoeve

van de woningen. Dat geldt ook voor het eigendom en gebruik van de PV-panelen op de Ecowal, de mobiliteitshub en de manege.

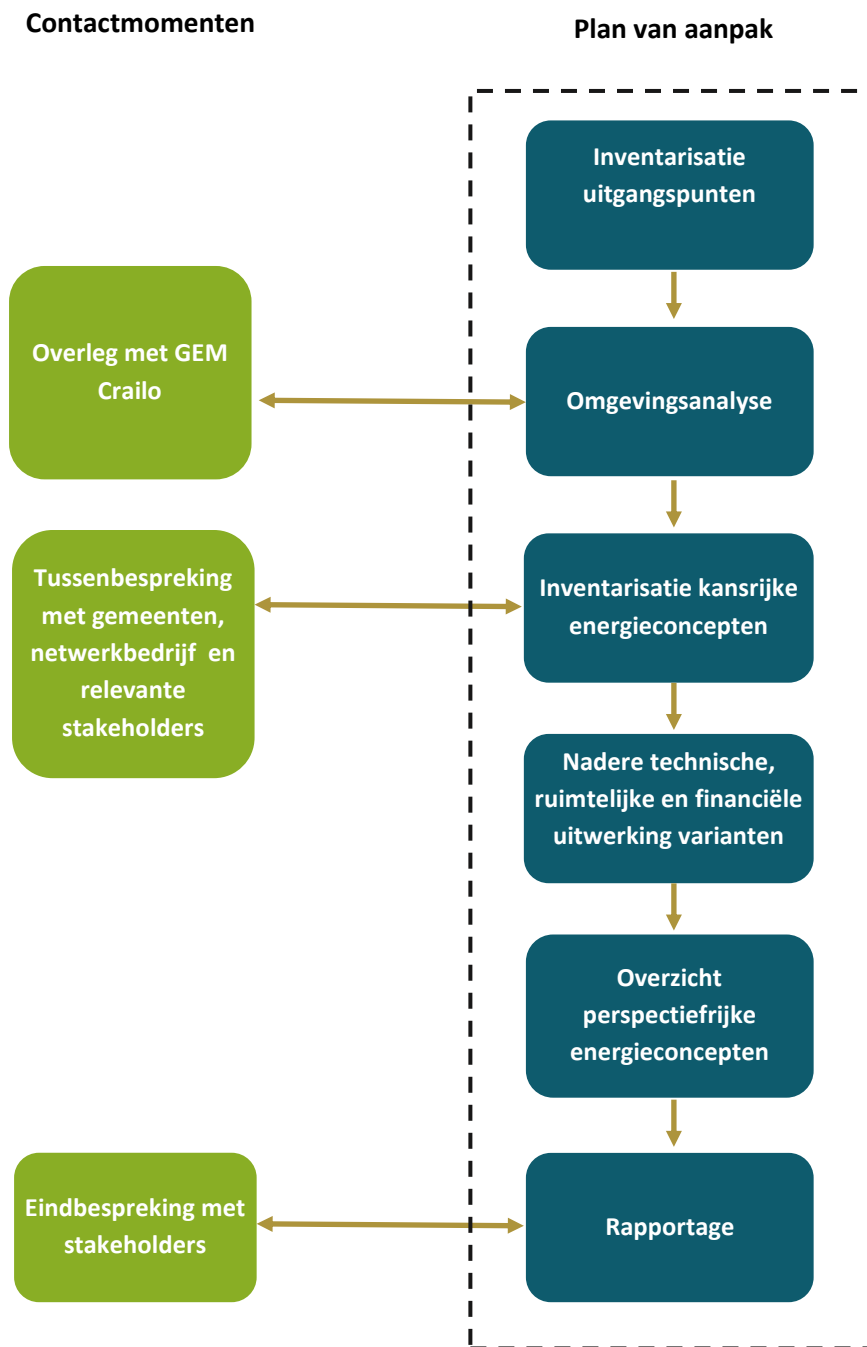
9. Aanbevolen wordt om nader te onderzoeken of de energiecoöperatie naast het alloceren van de stroominkomsten zich ook zal bezighouden met het inkopen en verkopen van energie. Dat vraagt om een optimale afstemming van vraag en aanbod binnen wijk en toe te voegen innovaties als een buurtaccu of het collectief exploiteren van niet alleen de PV-panelen maar ook de laadvoorzieningen voor elektrische auto's.

## Inleiding

Gemeenschappelijke exploitatiemaatschappij Crailo (GEM Crailo) is bezig met de herontwikkeling van voormalig kazerneterrein Crailo. De GEM is van plan om in dit gebied circa 500 woningen en 50.000 m<sup>2</sup> bedrijvigheid te realiseren. Eind 2017 is hiertoe het Ambitiedocument Crailo vastgesteld. Eén van de vijf pijlers in dit document is het streven naar een energiepositief gebied. Er wordt aangegeven dat het gebied aardgasvrij wordt met nul-op-de-meter gebouwen, en dat graag nog een stap verder gezet wordt door het gebied energiepositief te maken, waar nodig met inzet van innovatieve technieken.

Om te verkennen op welke wijze deze doelstellingen behaald kunnen worden is adviesbureau Merosch ingeschakeld voor het opstellen van een energievissie. In deze energievissie wordt gewerkt van grof naar fijn. Allereerst wordt aan de hand van het beleidskader en de kenmerken van Crailo en omgeving geïnventariseerd welke mogelijkheden er zijn voor een energiepositief gebied. Vanuit deze grove inventarisatie is gekomen tot een voorstel voor enkele energieconcepten waarvan vervolgens de technische, ruimtelijke en financiële consequenties in kaart worden gebracht. Deze aanpak wordt in figuur 1 schematisch weergegeven.

Figuur 1: Schematische weergave plan van aanpak voor opstellen energievisie





# 1 Visie op de opgave

## 1.1 Ambitiedocument Crailo

In het in opdracht van de drie gemeenten opgestelde 'Ambitiedocument Crailo' worden vijf thema's benoemd waarmee de ambities voor het project worden samengevat: één buurtschap, focus op buitenleven, samenhangend ecosysteem, energiepositief en materiaalbewust en innovatief ondernemerschap. Deze energievisie richt zich op het gedeelte 'energie' uit de pijler 'Energiepositief en materiaalbewust'.

In het ambitiedocument wordt de ambitie 'Energiepositief' als volgt omschreven:

*"Om in 2050 volledig energieneutraal te kunnen zijn moet het energieverbruik (verwarming, warm water, installaties) van de gebouwen worden gecompenseerd door hernieuwbaar opgewekte energie. Crailo is daarom sowieso gasloos en heeft nul-op-de-meter. Maar Crailo is een gebied dat een stap verder gaat en energiepositief wil zijn."*

Tijdens de sessie met GEM Crailo, de gemeentes en teamleden is de term 'Energiepositief' vertaald naar een wijk met 'nul-op-de-meter'-woningen die ook de elektriciteit voor toekomstige elektrische auto's in de wijk opwekken. 'Nul-op-de-meter' (NOM) betekent dat naast het gebouwgebonden energiegebruik (verwarming, warm tapwater, verlichting) ook het gebruiksgebonden energiegebruik (huishoudelijke apparatuur) duurzaam op het gebouw wordt opgewekt. Een nul-op-de-meter-woning heeft op jaarbasis per saldo een gemiddeld totaal energieverbruik van nul. Hierbij wordt gerekend met het totale energieverbruik (gebouwgebonden plus gebruikersgebonden energieverbruik) min de opbrengst van lokale duurzame bronnen, uitgaande van standaard klimaatcondities zoals die gelden in Nederland en van een gemiddeld gebruik van de woning door de bewoners.<sup>1</sup>

## 1.2 Crailo op het niveau van 2050

Een 'nul-op-de-meter'-gebouw is een klimaatneutraal gebouw: de energievraag wordt gedurende het jaar zelf opgewekt met groene stroom, waardoor de netto CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van het gebouw- en gebruiksgebonden energieverbruik 0 is. In mei van dit jaar is de Klimaatwet aangenomen waarin een reductie van 49% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030 en een reductie van 95% in 2050 is vastgelegd. Met 'NOM'-gebouwen wordt Crailo dus een zeer toekomstbestendige wijk, die wat betreft de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van het energiegebruik van woningen al voldoet aan de norm van 2050.

Het daar bovenop zelf kunnen opwekken van de benodigde elektriciteit voor elektrisch rijden door de bewoners, maakt de wijk tevens klaar voor de Klimaatakkoord-doelstelling van 100% emissievrije nieuwverkoop van personenauto's in 2030. Hierbij gaan we uit van de in 2017 gemiddeld afgelegde 13.000 km per persoon per jaar en een verbruik van 0,13 kWh per kilometer.

Met deze ambitie wordt Crailo de wijk van de toekomst: er wordt rekening gehouden met ontwikkelingen met een horizon van 30 jaar. Dit maakt dat de wijk klaar is voor de nieuwe generatie.

---

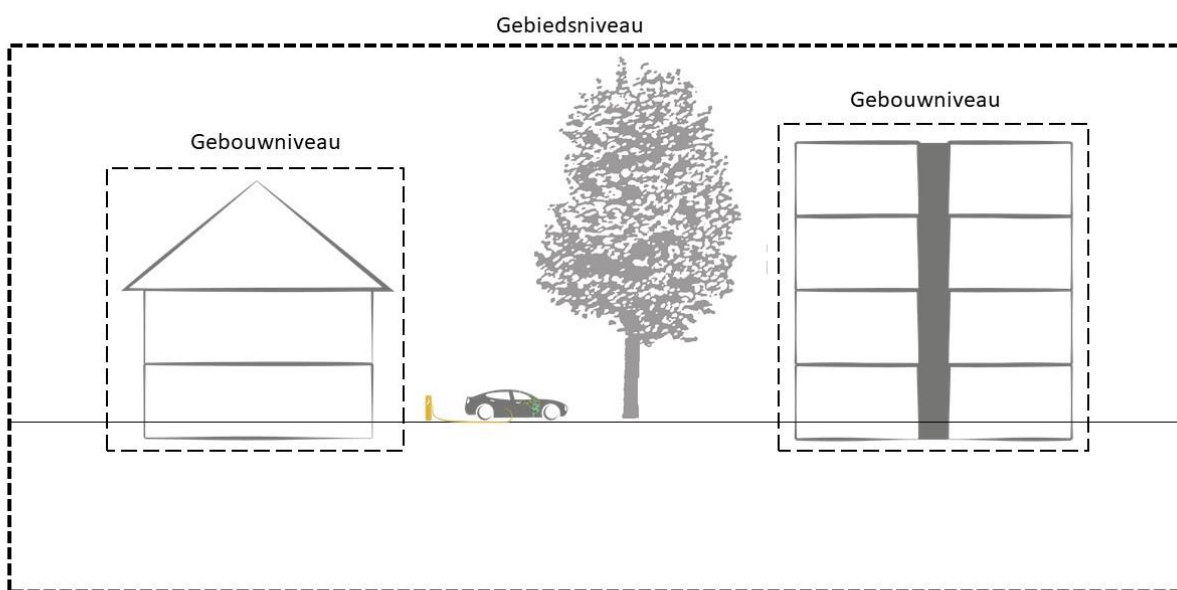
<sup>1</sup> Bron: Begrippenlijst Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)



### 1.3 Invulling op gebouw- of gebiedsniveau

Een belangrijk kenmerk van een 'NOM' gebouw is dat de energieopwekking op gebouwniveau plaatsvindt. De opgewekte energie moet achter de meter binnenkomen. Administratieve toekenningen van duurzame energie aan de woning, zoals het inkopen van groene stroom of het participeren in een wind- of zonnepark, zijn daarmee uitgesloten: die stroom is immers niet op het gebouw zelf opgewekt. In figuur 2 is dit onderscheid weergegeven. In een NOM-gebouw vindt de energieopwekking op het gebouw zelf plaats (binnenste lijnen). Het is echter ook mogelijk om in Crailo op *gebiedsniveau* alle benodigde energie voor de gebouwen op te wekken (buitenste lijn in de afbeelding). De gebouwen zijn dan niet officieel 'NOM', maar het plan kan wel nul-op-de-meter en zelfs 'energiepositief' op gebiedsniveau worden.

Figuur 2: Energie-ambitie op gebouw- of gebiedsniveau



In deze Energievisie wordt onderzocht of de woningen op gebouwniveau 'NOM' inclusief de opwek voor elektrisch vervoer kunnen worden, of dat er in verband met beperkende ruimtelijke factoren gekeken zal moeten worden naar een oplossing op gebiedsniveau. Met *gebied* wordt in deze studie het plangebied Crailo bedoeld.

## 2 Beleidskader Energie

In dit hoofdstuk worden de ambities op het gebied van energie van de betrokken gemeenten Gooise Meren, Hilversum en Laren beschreven. Ook wordt in kaart gebracht welke kaders er zijn vanuit het landelijke overheidsbeleid met betrekking tot energie.

### 2.1 Gemeentelijk energiebeleid

Om de energievisie te laten aansluiten op de gemeentelijke plannen op het gebied van energie, is gekeken naar de jaarplannen en uitvoeringsplannen van de Gooise Meren, Hilversum en Laren, voor zover relevant voor het project Crailo.

Gemeente Gooise Meren noemt in het coalitieakkoord 2018-2022 vier kernwoorden: duurzaam, sociaal, veilig en vitaal. De gemeente wil focussen op effectiviteit en doelmatigheid bij het kiezen tussen duurzaamheidsmaatregelen, en zo de maatregelen toepassen die het meeste bijdragen. Ook wil de gemeente een 'doe-democratie' zijn en de participatie van burgers bevorderen. Tenslotte wordt een concreet plan genoemd voor het laten plaatsen van een geluidsscherm langs de A1.

Gemeente Laren schrijft in het 'Klimaatbeleidsplan 2018-2022' dat ze in 2020 een CO<sub>2</sub>-uitstootreductie van 25% ten opzichte van 1990 wil bereiken, en 14% van de energie duurzaam wil opwekken. Concrete maatregelen die genoemd worden zijn energieneutraliteit van nieuwbouwwoningen en het realiseren van een jaarlijks postcoderoosproject.

Gemeente Hilversum schrijft in het jaarplan 'Energietransitie Hilversum 2019' aardgasvrij te willen zijn in 2040 en in 2030 een reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot van 50% ten opzichte van 2015 te willen hebben bereikt.

In het uitvoeringsprogramma 'Energietransitie Gooi en Vechtstreek 2019-2022' wordt als aandachtspunt het ruimtelijke aspect van het opwekken van meer hernieuwbare energie benoemd. Aangegeven wordt dat er binnen de huidige beleidskaders weinig ruimte is in de regio voor het opwekken van wind- en zonne-energie. Tenslotte hebben de gemeenteraden een aantal moties aangenomen die hun weerslag kunnen krijgen op het stedenbouwkundig- en landschapsplan van Crailo. Relevant voor deze energievisie is de toezegging om een onderzoek uit te voeren of geothermie toegepast zou kunnen worden bij de ontwikkeling van Crailo.

Deze prioriteiten en kaders worden meegenomen als uitgangspunten in dit onderzoek.

### 2.2 Landelijk energiebeleid

Wat betreft het landelijk energiebeleid zijn twee ontwikkelingen relevant voor Crailo:

- Vervallen gasaansluitplicht per juli 2018 in de Wet VET.
- De BENG-eisen per 1 juli 2020.

#### 2.2.1 Wet VET

In de Wet 'Voortgang Energietransitie' (Wet VET), die per 1 juli 2018 in werking is getreden, is bepaald dat de aansluitplicht van nieuwbouw op het gasnet uit de Gaswet verdwijnt. Bepaald is dat een netbeheerder

geen andere werkzaamheden mag verrichten, dan nodig is voor de uitvoering van zijn wettelijke taak. Kortweg komt dit neer op een verbod voor het aansluiten van nieuwbouw op het gasnet. Dat verbod geldt voor kleinverbruikers (woningen en kleinere bedrijven met een doorlaatwaarde van ten hoogste 40 m<sup>3</sup> per uur).

Hierop kan enkel een uitzondering worden gemaakt indien het college van B&W een (afgebakend en aaneengesloten) gebied aanwijst waar aardgas nog wordt toegestaan vanwege zwaarwegende redenen van algemeen belang. Dit kan alleen indien er een zwaarwegende reden van algemeen belang bestaat. Een zwaarwegende reden mag alleen worden aangenomen indien dit strikt noodzakelijk is. In de [Regeling gebiedsaanwijzing gasaansluitplicht](#) is een aantal situaties opgenomen die aanleiding kunnen zijn om een besluit tot aanwijzing van een gebied te nemen, bijvoorbeeld als aardgasvrij technisch onmogelijk is of dit tot hoge kosten leidt.

Voor Crailo is dat niet van toepassing, waardoor er geen aardgasnet voor kleinverbruikers zal worden aangelegd.

### 2.2.2 EPC en BENG 2020

Sinds 1994 dienen nieuwe gebouwen in Nederland te voldoen aan bepaalde eisen van energiezuinigheid, welke worden uitgedrukt in de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Deze huidige EPC-eis voor woningbouw bedraagt 0,4.

Per 1 juli 2020 wordt de EPC vervangen door de energieprestatie-eis 'Bijna Energieneutrale Gebouwen' (BENG), waarin aparte eisen zijn opgenomen voor de maximale energiebehoefte t.b.v. verwarming en koeling, het maximale primaire gebouwgebonden energiegebruik en het minimale aandeel duurzame energie. Deze BENG-eisen zijn gedifferentieerd naar bouwtype en naar de verhouding tussen het verliesoppervlak ( $A_{\text{verlies}}$ ) en het gebruiksoppervlak ( $A_g$ ) van een woning, zie tabel 1. Op 11 juni jl. heeft de minister de eisen gepresenteerd aan de Tweede Kamer.

Tabel 1 – BENG-eisen 2020 voor appartementen en grondgebonden woningen

BENG-parameter	
<i>Appartement</i>	
Maximale jaarlijkse energiebehoefte	$A_{\text{verlies}}/A_g \leq 1,83 \rightarrow 65$ $1,83 < A_{\text{verlies}}/A_g \leq 3,0 \rightarrow 55 + 30 * (A_{\text{verlies}}/A_g - 1,5)$ $A_{\text{verlies}}/A_g > 3,0 \rightarrow 100 + 50 * (A_{\text{verlies}}/A_g - 3,0)$
Maximaal jaarlijks energiegebruik	$\leq 50 \text{ kWh/m}^2$
Aandeel duurzame energie	$\geq 40\%$
<i>Grondgebonden woning</i>	
Maximale jaarlijkse energiebehoefte	$A_{\text{verlies}}/A_g \leq 1,5 \rightarrow 55$ $1,83 < A_{\text{verlies}}/A_g \leq 3,0 \rightarrow 55 + 30 * (A_{\text{verlies}}/A_g - 1,5)$ $A_{\text{verlies}}/A_g > 3,0 \rightarrow 100 + 50 * (A_{\text{verlies}}/A_g - 3,0)$
Maximaal jaarlijks energiegebruik	$\leq 50 \text{ kWh/m}^2$
Aandeel duurzame energie	$\geq 40\%$

Hoewel ook de achterliggende rekenmethode is aangepast ten opzichte van 2015 en de waarden dus niet één-op-één vergeleken kunnen worden met EPC-waarden, is wel duidelijk dat deze BENG-eisen geen grote aanscherping betekenen ten opzichte van het huidige bouwbesluit. Dat wil zeggen dat er met de BENG-eisen vergelijkbare energieprestatie-eisen gelden voor het gebied Crailo, als nu van toepassing zijn (EPC= 0,4). Wel

is een belangrijk verschil dat een (te) grote energiebehoefte van een woning niet meer gecompenseerd kan worden door het plaatsen van PV-panelen, zoals dat nu in de EPC het geval is.

Omdat de bij de nieuwe rekenmethode behorende software nog niet beschikbaar is, kan op dit moment niet worden vastgesteld op welke wijze gebouwen in Crailo aan de eisen zullen voldoen. De verwachting is dat wanneer er 'NOM'-gebouwen worden gerealiseerd, er ook aan de nieuwe BENG-eisen voldaan zal worden. Wanneer de rekenmethodiek voor de nieuwe BENG beschikbaar is, is het belangrijk dit te valideren.

### 3 Uitgangspunten en omgevingsanalyse

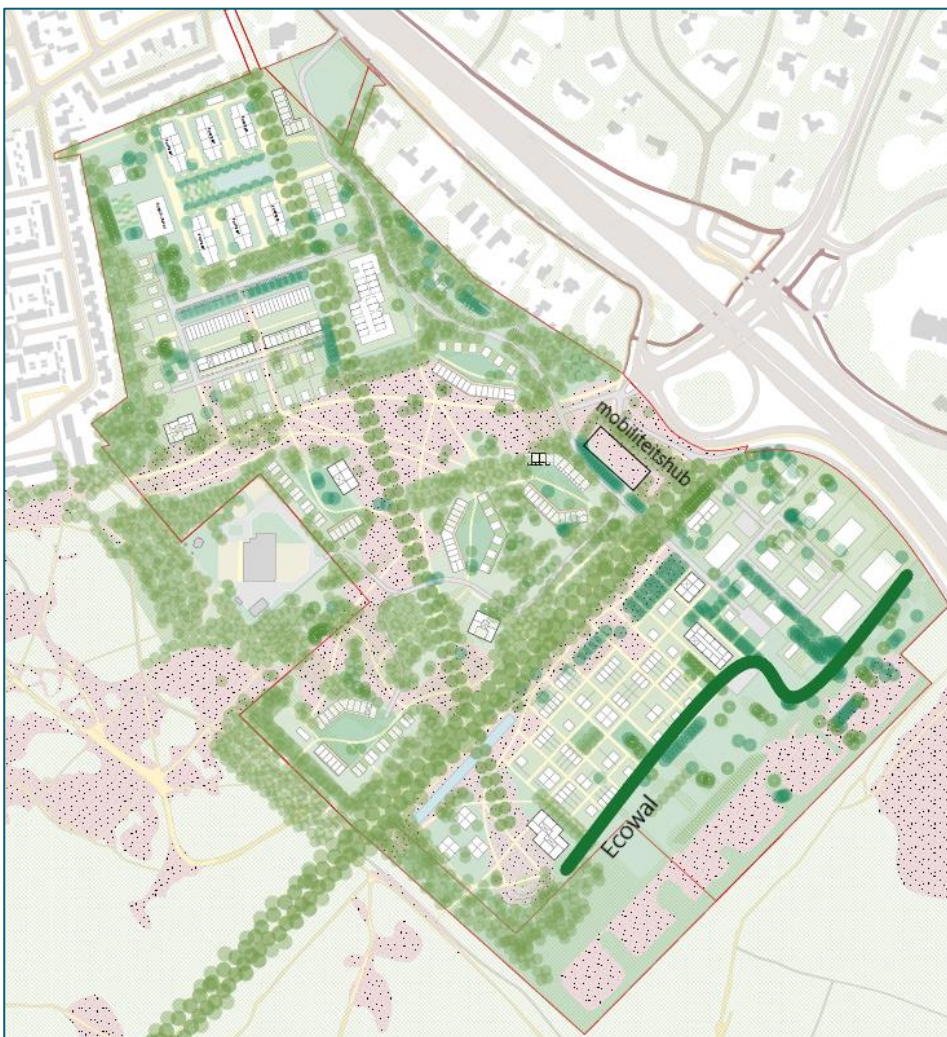
In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten van het stedenbouwkundig plan beschreven. Ook wordt de huidige situatie in het voormalig kazerneterrein Crailo beschouwd, waarbij gekeken wordt welke vormen van energie in de omgeving aanwezig zijn en/of ingepast kunnen worden, en welke aanwezige gebouwen worden gehandhaafd.

#### 3.1 Uitgangspunten stedenbouwkundig- en landschapsplan

In het voorlopige plan (versie juni 2019) zoals weergegeven in figuur 3 zijn circa 500 woningen opgenomen en 50.000 m<sup>2</sup> ruimte voor bedrijvigheid. De woningtypes betreffen circa 40% grondgebonden woningen en circa 60% appartementen. Het type bedrijvigheid is op dit moment nog onbekend.

Uit het plan blijkt een lage bouwdichtheid en de aanwezigheid van veel bestaande volgroeide bomen. Onderstaande afbeelding is als uitgangspunt voor deze studie gebruikt. In de afbeelding zijn de woningen, bedrijfsgebouwen en bomen ingetekend. Verder wordt ook gedacht aan een mogelijke 'mobiliteitshub' waar ook parkeerplaatsen voor elektrische (deel)auto's en fietsen zijn, en een Ecowal die zorgt voor de aansluiting op het ecoduct en een deel van het plangebied 'teruggeeft' aan de natuur. Deze Ecowal zou een groene wand vormen die het gebied afschermt (zie figuur 3). De bomenlaan die het plangebied van noordoost naar zuidwest doorkruist is een oorspronkelijke laan, 'Gebed zonder End' genaamd.

*Figuur 3 – Stedenbouwkundig plan Crailo (versie 1 juni 2019) met ingetekende Ecowal en mobiliteitshub*

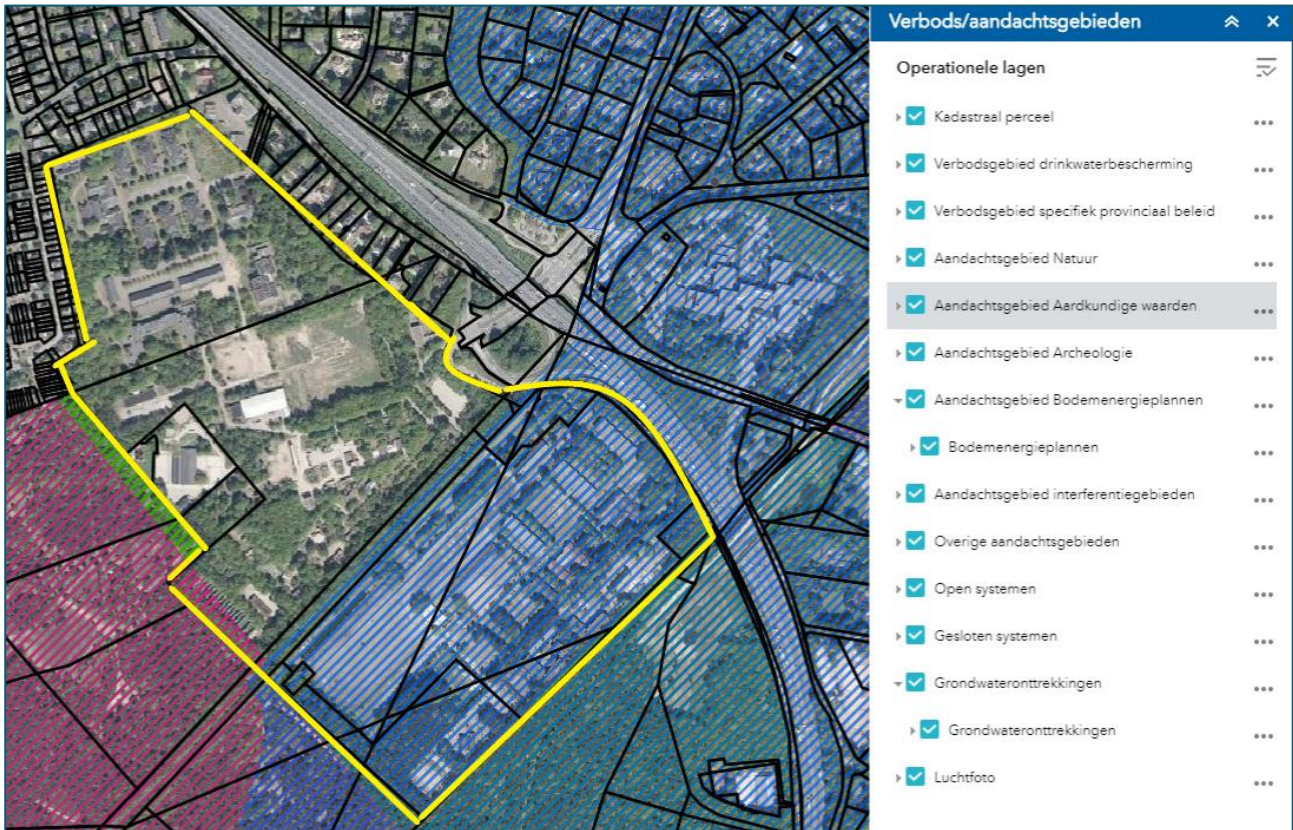




## 3.2 Kenmerken bestaande omgeving

### 3.2.1 Verkenning bodem

Figuur 4 – Verbods- en aandachtsgebieden bodemenergie in plangebied Crailo



Uit de WKO-tool van de Rijksoverheid blijkt dat in het zuidoostelijke gedeelte van het plangebied, in figuur 4 blauw weergegeven, een verbod op het toepassen van bodemenergie bestaat vanwege drinkwateronttrekking. Het blauw weergegeven gebied is een grondwaterbeschermingsgebied ten behoeve van het ten zuiden gelegen waterwingebied. Uit contact met de Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied blijkt dat op dit verbod geen ontheffing mogelijk is, ongeacht de diepte van het bodemenergiesysteem en het type bodemenergie (gesloten of open systemen). Daarnaast is een kleine strook (op de afbeelding paars weergegeven) onderdeel van het verbodsgebied voor bodemenergie van de Provincie.

Het terrein is geen interferentiegebied vanwege andere bodemenergietoepassingen in de omgeving en er zijn op dit moment geen open of gesloten bodembronnen in het plangebied. Dit betekent dat het noordwestelijke gedeelte van het gebied (met het 'Gebied zonder End' als begrenzing) wel geschikt is voor de toepassing van bodemenergie. Ook is het toegestaan om het verbodsgebied van bodemenergie te voorzien met een bodemsysteem in het noordwestelijke gedeelte van het gebied.

### 3.2.2 Verkenning restwarmte

Een restwarmtenet is een systeem waarin industriële restwarmte of warmte afkomstig van bijvoorbeeld een energie- of afvalverbrandingscentrale gebruikt wordt als warmtebron voor de verwarming van gebouwen of woningen. Er is op dit moment in de omgeving van Crailo geen bestaand restwarmtenet aanwezig waar de gebouwen op kunnen worden aangesloten. Daarnaast is er geen potentiële industrie aanwezig of verwacht

in de omgeving. Dit betekent dat een (industriële) restwarmte-infrastructuur in Crailo niet als voldoende kansrijk wordt gezien om verder te onderzoeken.

### 3.2.3 Verkenning oppervlaktewater

Er is in het gebied geen oppervlaktewater aanwezig, behalve in de vorm van een waterbassin aan de zuidoostelijke kant van het Gebed zonder End (figuur 5). Het oppervlak van dit bassin is ca. 1.445 m<sup>2</sup> en de diepte is circa 3 meter. Mogelijk zou uit dit bassin warmte en koude kunnen worden onttrokken voor het verwarmen en koelen van de gebouwen door middel van thermische energiewinning uit oppervlaktewater. Hierbij moet qua capaciteit gedacht worden aan het verwarmen van grofweg 5-10 woningen. Een andere mogelijke toepassing van het bassin is het bufferen van hemelwater. Een hemelwaterriool zou op het bassin kunnen worden geloosd. Tevens zou het water in het bassin in tijden van droogte gebruikt kunnen worden voor de bewatering van het groen in tuinen of de openbare buitenruimte (dit gaat wel lastig samen met de warmte/koude-onttrekking).

*Figuur 5 – Waterbassin langs Nieuwe Crailoseweg*

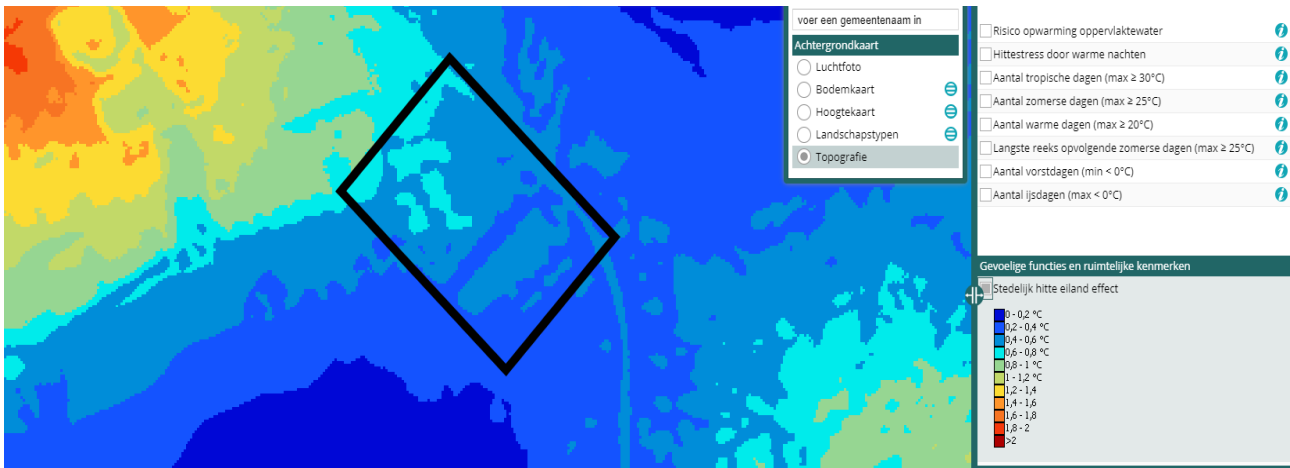


### 3.2.4 Verkenning Urban Heat-island Effect

Uit de hittestresskaart van Nederland is op te maken dat er op het voormalige kazerneterrein op dit moment geen sprake van hittestress is. Deze kaart geeft het stedelijk hitte-eiland effect (UHI) weer in °C. Dit is het gemiddelde luchttemperatuurverschil tussen de stedelijke en omliggende landelijke gebieden. Het stedelijk hitte-eiland effect speelt met name 's nachts. Het zorgt ervoor dat de luchttemperatuur 's nachts minder daalt waardoor gevoelige bevolkingsgroepen (baby's, ouderen) gezondheidseffecten kunnen ondervinden. De kaart geeft een voorspelling van het stedelijk hitte eiland effect weer op basis van verschillende onderliggende kaartgegevens: de bouwdichtheid, windsnelheid, hoeveelheid groen, blauw en verharding



Figuur 6 – Hittestresskaart met het urban heat island effect in Crailo



In figuur 6 is te zien dat het gebied op dit moment redelijk koel blijft vergeleken met overige delen van Bussum en Laren. Ook is te zien dat het door bomen omlijste Gebed zonder End koel blijft door het verkoelende effect van het groen.

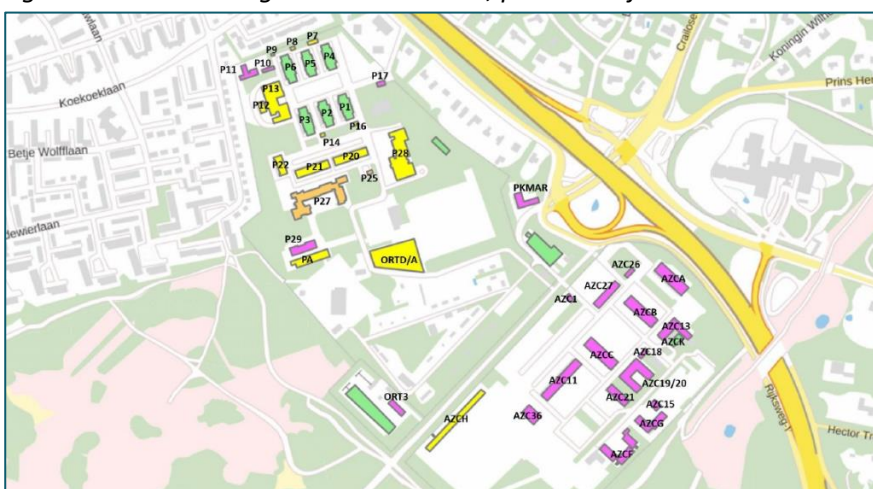
Dit betekent dat koeling en een massieve bouwwijze voor de woningen geen absolute vereiste vormen, hoewel toenemende hittestress vanuit het oogpunt van klimaatverandering een aandachtspunt blijft.

### 3.3 Kenmerken bestaande gebouwen

Uit het concept 'Gebouwenboek Crailo' van 30 april 2019 blijkt dat het plan bestaat om zes gebouwen van de Kolonel Palmkazerne te behouden en deze te renoveren. Dit is het cluster van lichtgroene gebouwen in figuur 7. Voor deze gebouwen is een monumentenstatus in aanvraag. Daarnaast zijn er 6 gebouwen die 'mogelijk te behouden' zijn. Vijf daarvan betreffen oude gebouwen van dezelfde kazerne, het zesde is een kantoor/hangar.

Het aanpassen van bestaande gebouwen naar het niveau van energiezuinige nieuwbouw is uiteraard lastiger dan het realiseren van nieuwe energiezuinige gebouwen. Voor deze gebouwen voorzien we dan ook lagere isolatiewaarden dan voor de nieuwe gebouwen. Wel is het van belang dat ook deze gebouwen toekomstwaarde krijgen. Daarom wordt uitgegaan van het zodanig na-isoleren van deze gebouwen dat de huidige bouwbesluit-eisen voor isolatie worden gehaald.

Figuur 7 – Bestaande gebouwen in Crailo, peildatum januari 2019



## 4 Duurzame energieconcepten

Voor het voldoen aan de ambitie 'Energiepositief' en het realiseren van NOM-woningen wordt gebruikt gemaakt van een drie-stappenmodel zoals weergegeven in figuur 8, dat gebaseerd is op de trias energetica.

Figuur 8 – In 3 stappen naar een duurzaam gebouw



Conform dit drie-stappenmodel wordt in dit hoofdstuk begonnen met een voorstel voor het beperken van de energievraag van de gebouwen, zodat er zo min mogelijk warmte nodig is voor de verwarming ervan en zo min mogelijk hoeft te worden gekoeld. Dit levert bovendien de meest comfortabele gebouwen op.

### 4.1 Beperking energievraag

Voor Crailo betekent het beperken van de energievraag dat de woningen goed geïsoleerd worden en dat er buitenzonwering op de zuidgevels komt. Om warmteverlies verder te voorkomen wordt een gebalanceerd ventilatiesysteem aangeraden, dat tevens warmte uit de uitgaande ventilatielucht terugwint. De warmteafgifte vindt plaats via lage temperatuur (vloer)verwarming. Deze kenmerken zijn in tabel 2 samengevat.

Voor de bestaande gebouwen die gerenoveerd worden zijn de mogelijkheden voor het goed isoleren van de gebouwen beperkter. Wanneer meer dan 25% van de integrale gebouwschil van de gebouwen wordt aangepast, dient het gebouw wel te voldoen aan het vigerend bouwbesluit. Het gaat dan om zodanige aanpassing dat bijvoorbeeld het dak of de gevel volledig wordt opgelegd en vernieuwd, waardoor de mogelijkheid bestaat om isolatie aan te brengen.

In tabel 2 zijn voor de bestaande gebouwen, ook met het oog op comfort, de bouwbesluiteisen voor isolatie opgenomen. Voor de nieuwe gebouwen wordt geadviseerd om een stap verder te gaan om de energievraag te minimaliseren.

Tabel 2 – Kenmerken woningen met beperkte energievraag

		Bestaande gebouwen (Bouwbesluiten)	Nieuwbouw
<i>Bouwkundige maatregelen</i>			
Rc-waarde gevel	[m <sup>2</sup> *K/W]	4,5	6,0
Rc-waarde dak	[m <sup>2</sup> *K/W]	6,0	8,0
Rc-waarde begane grond	[m <sup>2</sup> *K/W]	3,5	5,0
U-waarde ramen	[W/m <sup>2</sup> K]	1,3 (HR ++)	1,0 (HR +++)
Luchtdichtheid	[dm <sup>3</sup> /s*m <sup>2</sup> ]	0,4	0,2
<i>Installatietechnische maatregelen</i>			
Ventilatie	[-]	Gebalanceerde ventilatie met wtw	
Verwarmingssysteem	[-]	Laagtemperatuur (vloer)verwarming	

## 5 Duurzame warmteopwekking

De tweede stap bestaat uit het selecteren van een duurzame warmteopwekking die de NOM-gebouwen van warmte voorziet. Conform de huidige wetgeving dient dit een aardgasvrije infrastructuur voor warmteopwekking te zijn.

De volgende mogelijke aardgasvrije infrastructuren worden in de volgende paragraaf toegelicht:

- Een 'groen' gasnet;
- Waterstof-infrastructuur (met waterstof-cv-ketels);
- Geothermie-warmtenet;
- Biomassa-warmtenet;
- Warmtepompen.

In paragraaf 5.6 wordt vervolgens een kwalitatieve vergelijking gemaakt tussen deze energie-infrastructuren.

### 5.1 Een 'groen' gasnet

Groen gas heeft dezelfde eigenschappen als aardgas, maar wordt duurzaam gewonnen uit bijvoorbeeld slib, tuinafval en dierlijke restproducten. Door diezelfde eigenschappen als aardgas, hoeven bestaande infrastructuren en installaties niet aangepast te worden. In bestaande woningen hoeft daardoor ook niet een andere warmtevoorziening of afgiftesysteem te worden gerealiseerd. Er is in Nederland echter niet voldoende biomassa beschikbaar om op vergelijkbaar grote schaal als aardgas biogas te produceren. Daarom is het raadzaam het beschikbare biogas te gebruiken voor toepassingen waarbij het zeer kostbaar of moeilijk zou zijn om op een alternatieve energievoorziening over te schakelen (bijvoorbeeld monumenten, industrie, etc.). Voor nieuwbouwwoningen zijn echter voldoende duurzame alternatieven beschikbaar, waardoor de toepassing van groen gas niet voor de hand ligt.

### 5.2 Waterstof-infrastructuur met waterstofketels

Waterstofgas is een licht gas dat kan worden verbrand, waarbij energie vrijkomt. Waterstof wordt vaak genoemd als alternatief voor ons huidige aardgas. Anders dan aardgas, kan waterstof echter niet gewonnen worden maar moet dit geproduceerd worden. Om waterstof te produceren is energie nodig. Het grootste deel (95%) van de waterstof die nu wordt geproduceerd, wordt met aardgas gemaakt. Die waterstof is niet duurzaam maar 'grijs': er is fossiele brandstof voor nodig. Het toepassen van grijze waterstof voor de warmtevoorziening in Crailo wordt om die reden afgeraden.

Het is ook mogelijk om 'groene' waterstof te produceren via elektrolyse met duurzaam opgewekte elektriciteit. Bij deze omzetting van elektriciteit naar waterstof gaat circa 30% energie verloren. Daarom is het energetisch efficiënter om direct de benodigde elektriciteit te gebruiken voor het opwekken van warmte dan door elektrolyse geproduceerd waterstofgas te gebruiken.

Daarnaast speelt er een kostenafweging voor het gebruik van waterstofgas in woningen. Een woning die wordt verwarmd met waterstof in een waterstof-ketel verbruikt vier keer zoveel energie (aan waterstofgas) als hetzelfde huis met een warmtepomp aan elektriciteit verbruikt. Dat betekent dat om waterstof als een betaalbaar alternatief te kunnen toepassen, groen waterstofgas aanzienlijk goedkoper zou moeten zijn dan

elektriciteit. Vooralsnog is groen waterstofgas echter nog een factor twee tot drie duurder. Een ander nadeel van de toepassing is dat deze nog in de experimentele fase verkeert: er worden op dit moment waterstofketels ontwikkeld en getest, maar er zijn nog geen geattesteerde rendementen van deze ketels.

Een voordeel van waterstof is dat een bestaand gasnetwerk gebruikt zou kunnen worden om waterstofgas in te kunnen vervoeren. Er moeten hiervoor echter wel aanpassingen gedaan worden (veiligheidsmaatregelen, andere bekleding buizen, etc.). Ook kan waterstof in gebouwen in hoogtemperatuur-warmte voorzien, wat betekent dat in bestaande gebouwen die met hoogtemperatuur-warmte worden verwarmd het hoogtemperatuur-afgiftesysteem kan worden behouden.

Deze voordelen gelden niet voor Crailo, maar voor bestaande woonwijken en bestaande gebouwen die niet goed te isoleren of verbouwen zijn. De waterstofketels hebben daarbij als aandachtspunt dat er een veiligheidsrisico in de woningen is in de vorm van mogelijke gasexplosie. In combinatie met de hoge CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt dit concept daarom niet als een passende oplossing voor Crailo beschouwd.

### 5.3 Geothermie-warmtenet

Vanuit de drie gemeenteraden is een motie aangenomen om de toepassing van geothermie in Crailo te onderzoeken. In de moties wordt gesproken over het voorzien in warmte en/of elektriciteit voor ook andere wijken dan Crailo, door een installatie die wordt ondergebracht in Crailo. Om die reden wordt in deze paragraaf stilgestaan bij de toepassing van geothermie voor Crailo.

Wat geen onderdeel uit maakt van voorliggende studie is het onderzoek naar de bodemgesteldheid ter plaatse van Crailo. Of de bodem geschikt is voor geothermie, is derhalve nog onvoldoende bekend. Daarnaast is de studie beperkt tot de geschiktheid van geothermie voor de gebouwen binnen het plangebied, met uitzondering van een grove scan van de eigenschappen van de nabijgelegen woningen en gebouwen buiten Crailo.

#### 5.3.1 Warmtenet

Toepassing van geothermie betekent dat van een centraal punt met geothermiebronnen warmte via een warmtenet wordt getransporteerd naar de woningen. Een warmtenet is een infrastructuur waarbij meerdere gebouwen door dezelfde warmtebron verwarmd worden. Het kan hierbij gaan om hoogtemperatuurwarmte (voor slecht of matig geïsoleerde woningen) of laagtemperatuurwarmte (voor goed geïsoleerde woningen).

Een nadeel van een warmtenet is het warmteverlies tijdens het transport van de bron naar de gebouwen en de energie die nodig is om de warmte te transporteren. Daarom is een warmtenet vooral geschikt voor projecten met compacte gebouwen en een hoge bouwdichtheid (> 50 woningen per hectare) en een minimale schaal van 250 woningen. De woondichtheid van Crailo is lager dan 25 woningen per hectare. Ondanks dat voorzien wordt dat er diverse clusters met woningbouw zullen zijn betekent dit nog steeds dat er relatief veel warmteleiding neergelegd moet worden voor een relatief beperkte hoeveelheid warmte.

Deze schaalgrootte en lage bouwdichtheid zorgen ervoor dat het aanleggen van een warmtenet in Crailo, ongeacht of de warmtebron geothermie of een andere bron is, relatief duur is en niet voor de hand ligt als warmte-infrastructuur. Vanwege de motie om de toepassing van geothermie te onderzoeken wordt hierna toch wat uitvoeriger stilgestaan bij de toepassing van een warmtenet met geothermie voor Crailo.

### 5.3.2 Geothermie

Geothermie is een mogelijke bron voor een warmtenet. Het is aardwarmte waaruit warmte en/of energie kan worden onttrokken. Hoe dieper de aardwarmte gewonnen wordt, hoe hoger de temperatuur van de aardwarmte. Per kilometer diepte stijgt de temperatuur met ongeveer 30°C.

Geothermie wordt in drie categorieën opgedeeld:

- Ondiepe geothermie;
- Diepe geothermie;
- Ultradiepe geothermie.

#### 5.3.2.1 Ondiepe geothermie

Met ondiepe geothermie wordt op minder dan 500 meter diepte warmte onttrokken aan de aarde. De temperatuur van deze warmte varieert van 20 tot 30°C. Met deze brontemperatuur kunnen warmtepompen in de gebouwen vervolgens warmte op lage temperatuur maken, die alleen geschikt is voor het verwarmen van nieuwbouw.

#### 5.3.2.2 Diepe geothermie

Diepe geothermie is aardwarmte die op 500-4.000 meter diepte wordt gewonnen. Dit is warmte met een temperatuur van tussen de 40 en 120 °C. Deze warmte hoeft dus niet verder opgewarmd te worden door een warmtepomp, maar kan direct gebruikt worden om een gebouw te verwarmen door middel van een warmtenet. Met deze vorm van geothermie is in Nederland gestart in 2007. Op dit moment wordt de techniek in circa 17 projecten in Nederland toegepast. Het betreffen projecten die tuinbouwbedrijven van warmte voorzien, met uitzondering van het project 'Haagse Aardwarmte Leyweg' (ging failliet in 2013, nu zijn er plannen voor een doorstart) en 'Ammerlaan TGI Pijnacker' (levert restwarmte uit geothermie voor tuinbouw aan 470 appartementen in Pijnacker-Noord).

*Figuur 9 – Geothermieproject in het Westland*





### **5.3.2.3 Ultradiepe geothermie**

Ultradiepe geothermie is aardwarmte met een temperatuur van meer dan 120 °C die wordt gewonnen op een diepte van meer dan 4.000 meter. Deze temperatuur maakt het mogelijk om de warmte in de industrie te gebruiken. Ook kan met de geproduceerde stoom elektriciteit worden opgewekt. Ultradiepe geothermie is in Nederland nog niet toegepast. Eén van de redenen hiervan is dat we veel meer van de Nederlandse ondergrond tussen de 2-3 kilometer weten door alle olie- en gasboringen en veel minder over de ultradiepe ondergrond. Ook technologisch is het winnen van ultradiepe geothermie uitdagender. In het buitenland wordt al wel op verschillende plekken stoom gewonnen in gebieden waar deze hoge temperaturen veel ondieper te vinden zijn, zoals in IJsland en Italië. In Nederland werken de sector en het Rijk op dit moment samen aan een innovatief kennisprogramma om ultradiepe geothermie te ontwikkelen binnen de Green Deal Ultradiepe Geothermie.

### **5.3.2.4 Uitvoering**

Voor het winnen van geothermie is er een opsporingsvergunning en een omgevingsvergunning nodig. Zodra deze vergunningen afgegeven zijn, kan het boorterrein worden gerealiseerd en kunnen proefboringen worden gedaan. Deze boringen duren ongeveer twee maanden per put, afhankelijk van de diepte. Hoe dieper er geboord moet worden, hoe langer het duurt. Tijdens het boren worden voortdurend metingen gedaan en monsters genomen, waarmee wordt gecontroleerd of de resultaten overeenkomen met de verwachtingen uit de onderzoeken in de verkenningsfase. Wanneer er warm water is gevonden en blijkt dat het winnen van geothermie mogelijk is, wordt een tweede put geboord. Deze twee putten samen vormen de 'doublet'.

Op dit moment gaat men ervan uit dat een geothermie-doublet ongeveer 30 jaar warmte kan leveren. Daarna zal de productietemperatuur te veel gedaald zijn om nog efficiënt te kunnen produceren, door toestroming van kouder 'injectiewater'. Afhankelijk van de lokale ondergrondse situatie kan deze periode langer of korter zijn. Het is dan mogelijk om elders in de buurt een nieuwe productieput te slaan om de winning van geothermie voort te zetten. De centrale die niet langer voldoende produceert wordt opgeruimd.

### **5.3.2.5 Geothermie in Crailo**

Of geothermie kansrijk is hangt af van de nabije aanwezigheid van voldoende afzetpotentieel van de warmte en de geschiktheid van de bodem.

De eerste voorwaarde voor een kansrijke toepassing van geothermie is de nabije aanwezigheid van voldoende afzetpotentieel voor de warmte. Het transporteren van warmte is kostbaar en bovendien gaat er warmte verloren. Daarom wordt aardwarmte bij voorkeur gebruikt in de omgeving waar het wordt gewonnen. Voor een warmtenet met geothermie is een schaal van minimaal 3.000 bestaande woningen nodig.<sup>2</sup> Voor nieuwbouw loopt dit aantal als gevolg van de lagere warmtevraag op tot 5.000 woningen. Dat betekent dat het aanwezige afzetpotentieel binnen Crailo 10 maal kleiner is dan nodig, en ook naastgelegen wijken warmte van de geothermiecentrale zouden moeten afnemen.

De woningen in de omliggende wijken zijn bestaande gebouwen, die op hogere temperatuur (circa 90 graden) verwarmd moeten worden. Een geothermie-warmtenet in Crailo zou om die reden warmte van 90 graden moeten produceren, waarbij alleen de afgekoelde retourwarmte die overblijft na het verwarmen van die woningen gebruikt kan worden voor de gebouwen in Crailo. Een dergelijk warmtenet met warmte op 90 graden kent een aanzienlijk warmteverlies tijdens het transport van de bron naar de woningen. Daarom zijn de eerder genoemde compacte gebouwen (hoogbouw) en hoge bouwdichtheid (> 50 woningen per hectare) voorwaardelijk. Uit een scan blijkt dat dit niet lijkt te gelden voor de nabije omgeving van Crailo.

---

<sup>2</sup> HWA (Hoe werkt aardwarmte) door EBN, DAGO en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.



De tweede voorwaarde is de geschiktheid van de bodem. In de omgeving van Crailo zijn op dit moment nog geen toepassingen van diepe of ultradiepe geothermie bekend. Het Gooi behoort tot de gebieden waarvan TNO en EBN in 2017 in een onderzoek vast hebben gesteld dat er weinig tot geen kennis is over de ondergrond.<sup>3</sup> Dat gebrek aan kennis over de ondergrond geldt overigens voor 80% van de gebieden met een warmtevraag, zoals blijkt uit dit onderzoek. Om de ondergrond beter in kaart te brengen is de Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) gestart. Binnen deze landelijke campagne loopt nu een vooronderzoek naar de bodem tussen Utrecht en Almere, waarbij op die lijn de ondergrond in kaart wordt gebracht. Omdat de ondergrond in Nederland sterk varieert binnen korte afstanden, zal dit onderzoek geen uitsluitel bieden over de geschiktheid van de ondergrond van Crailo. Daartoe zal de ondergrond in het plangebied onderzocht moeten worden.

## 5.4 Biomassa-warmtenet

Biomassa is een andere mogelijke bron voor een warmtenet. Met de verbranding van biomassa kan namelijk in warmte worden voorzien. Onder biomassa wordt organisch materiaal verstaan, zoals hout, gft-afval, mest of speciaal hiervoor geteelde gewassen. Er is op dit moment geen biomassacentrale in de omgeving van Crailo, dus een restwarmtenet van biomassa is geen optie. Voor een nieuw warmtenet in Crailo zijn houtpellets of houtchips de meest voor de hand liggende vorm van biomassa. Ook zou wellicht snoeiafval uit het Goois Natuurreservaat kunnen worden mee gestookt.

*Figuur 10 – Opstelling van biomassaketels*



Voordeel van hout als warmtebron is dat het *biobased* en dus hernieuwbaar is, in tegenstelling tot fossiele energiebronnen. Er zijn echter ook nadelen verbonden aan warmtewinning door de verbranding van biomassa. Op lokale schaal is een nadeel dat er stankoverlast en fijnstof kan ontstaan bij de verbranding van de houtpellets of houtchips. Een ander bezwaar vormt het feit dat het verbranden van hout alleen als ‘duurzaam’ kan worden bestempeld als het hout betreft uit reststromen of een duurzaam beheerd bos, en indien de productie van het duurzame hout niet leidt tot vermindering van biodiversiteit. Wat betreft het eerste punt: de angst bestaat dat door een groeiende vraag naar biomassa een tekort aan houtachtig afval en residuen ontstaat, waardoor voor het stoken van biomassacentrales hoogwaardig hout zal worden gebruikt. Uit onderzoek blijkt dat het Nederlandse potentieel aan houtige biomassa op dit moment voor 78%

<sup>3</sup> ‘Masterplan Aardwarmte in Nederland’ (2018), Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN.

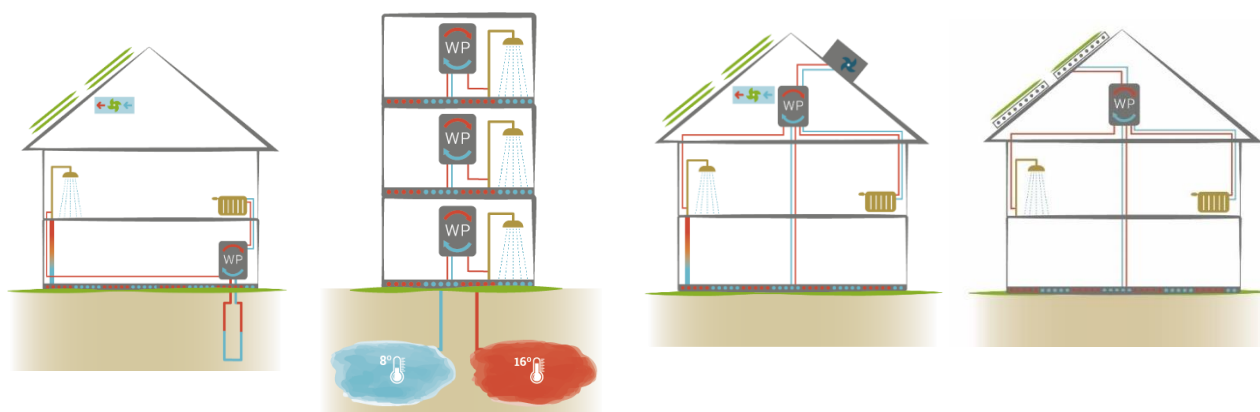
wordt benut, en dat de vraag ernaar de komende jaren zal verviervoudigen.<sup>4</sup> Op dit moment komt 77% van de in Nederland gebruikte biomassa uit Nederland, de overige biomassa wordt geïmporteerd uit Noord- en Centraal Europa.<sup>5</sup> Voor een biomassa-warmtenet zou daarom worden aanbevolen om gebruik te maken van snoeiafval binnen een straal van 30 kilometer rondom Crailo.

Net als bij een geothermie-warmtenet is het ruimtebeslag van de warmtevoorziening in de woningen klein; de warmte wordt aangeleverd met een afgifteset in de woning. Maar de nadelen van de transportverliezen bij de lage bouwdichtheid in Crailo en de (onnodig) hoge temperatuur van de warmte gelden hier ook.

## 5.5 Warmtepompen

Het derde concept dat wordt overwogen is een 'all-electric' infrastructuur waarbij de benodigde warmte met elektrische warmtepompen in de woning wordt opgewekt. Deze warmtepompen maken gebruik van energie uit de bodem, grondwater, lucht of zonnewarmte (PV-thermisch), die ze met elektriciteit verder omzetten in warmte. Dit is warmte op lage temperatuur, die geschikt is om nieuwbouw comfortabel te verwarmen. Ook kan een warmtepomp in koeling voorzien gedurende de zomer.

*Figuur 11 – Van links naar rechts een bodemwarmtewisselaar, WKO, lucht- en PVT-warmtepomp (WP)*



In combinatie met zonnepanelen op het dak kan in de woning zelf de elektriciteit opgewekt worden die voor de warmtevoorziening en de apparaten in de woning nodig is.

Een nadeel van een warmtepomp is dat deze binnen de woning een groter ruimtebeslag ( $1,0 \text{ m}^2$ ) vraagt dan de afleverset van een warmtenet of een waterstofketel ( $0,3 \text{ m}^2$ ). Een andere beperking is het gedeelte van het plangebied waarin een verbod op het toepassen van bodemenergie bestaat vanwege drinkwateronttrekking. In dat gebied kunnen van bovenstaande warmtepompen dus alleen lucht- en PVT-warmtepompen worden toegepast. Ook is het toegestaan om een WKO-installatie te plaatsen in het gedeelte van het plangebied waar wel bodemenergie mag worden gewonnen, en die warmte en koude naar het verbodsgedeelte te leiden. Dat levert echter substantiële meerkosten per woning op.

## 5.6 Keuze energie-infrastructuur voor duurzame warmteopwekking

In voorgaande paragrafen zijn de volgende energie-infrastructuren besproken:

<sup>4</sup> 'Beschikbaarheid van Nederlandse verse houtige biomassa in 2030 en 2050- Studie naar binnenlands potentieel en toekomstige vraag vanuit energie en biobased ontwikkelingen', Probos Wageningen 2018.

<sup>5</sup> 'Gebruik van houtige biomassa voor energieopwekking – Jaarrapportage 2018', Platform Bio-Energie.

- Een 'groen'-gasnet;
- Waterstof-infrastructuur (met waterstof-cv-ketels);
- Geothermie-warmtenet;
- Biomassa-warmtenet;
- Warmtepompen (lucht-, bodem- of PVT-warmtepompen).

Uit de beschouwing van 'groen' gas en de waterstof-infrastructuur bleek dat de voordelen meer passen bij de bestaande gebouwde omgeving dan bij een nieuwbouw ontwikkeling en dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot van waterstof hoog is. Deze infrastructuren zijn om die reden niet geselecteerd voor Crailo.

Uit de verkenning van een warmtenet-infrastructuur bleek dat de kenmerken, schaalgrootte en bouwdichtheid van de bebouwing in het plangebied en de omgeving niet passen bij een warmtenet, vanwege de (voor de gebouwen in Crailo onnodig) hoge temperatuur, transportenergie en warmteverliezen.

Tenslotte is de *all-electric* infrastructuur met warmtepompen geselecteerd als kansrijk voor Crailo. Van de genoemde warmtepompen hebben bodemwarmtewisselaars en PVT-warmtepompen het hoogste rendement. Omdat de investeringskosten van deze twee type warmtepompen vergelijkbaar zijn, wordt in de verdere uitwerking voor de vergelijking tussen de concepten uitgegaan van een concept met bodemwarmtewisselaar.

In tabel 3 zijn de eigenschappen van de hierboven geselecteerde energie-infrastructuren samengevoegd. Uit de tabel blijkt dat het concept met warmtepompen het best scoort op de opgenomen criteria. Onder de tabel worden de criteria en de kwalitatieve scores toegelicht.

Tabel 3 – Multicriteria-analyse energieconcepten

	Biomassa-warmtenet	Geothermie-warmtenet	Warmtepompen
Technische haalbaarheid	+	+/-	+
Vereiste ruimte in woning	++	++	-
Ruimte in openbaar gebied	-	—	+
Onderhoud en beheer	-	-	+
Beperking transportverlies	-	-	+
Duurzame koeling mogelijk	-	-	+
Flexibiliteit	-	—	+
Financiële haalbaarheid	-/+	?	+
Mate van duurzaamheid	?	+	+
Overige aandachtspunten	Fijnstof en geur. Wellicht kan snoeiafval GNR worden bijgestookt. Hoge temperatuur.	Hoge temperatuur.	In een gedeelte van plangebied geldt een verbod op bodemenergie. Hier zijn lucht- of PVT-warmtepompen mogelijk. Bij lucht-warmtepompen vormt geluid een aandachtspunt.

Met 'technische haalbaarheid' wordt bedoeld of de genoemde techniek reeds op de markt is en aantoonbaar werkt. Voor het warmtenet met geothermie als bron geldt dat de techniek nog in ontwikkeling is. Met de 'vereiste ruimte in woning' wordt bedoeld hoeveel ruimte de benodigde warmte/koude-installatie in de woning in beslag neemt. Bij een warmtenet is die benodigde ruimte het meest gering. De 'ruimte in openbaar gebied' gaat om de ruimte die de infrastructuur en eventuele collectieve installatie in beslag neemt. Een geothermie-warmtenet vraagt het grootste ruimtebeslag.

Onder ‘onderhoud en beheer’ verstaan we de complexiteit en de kosten in onderhoud en beheer. Met ‘transportverlies’ wordt het warmteverlies bedoeld dat optreedt bij het transport tussen de installatie en het afgiftesysteem. Met ‘duurzame koeling’ wordt koeling bedoeld die aan dezelfde duurzame bron kan worden onttrokken als de warmte. Dit is alleen mogelijk met de warmtepompen. Onder ‘flexibiliteit’ verstaan we de mate waarin de infrastructuur ruimte biedt aan een gefaseerde ontwikkeling en flexibiliteit biedt in de planning. Bij warmtepompen is deze flexibiliteit aanwezig, bij de warmtenetten niet.

De ‘financiële haalbaarheid’ betreft de haalbaarheid van de businesscase. Hier is een vraagteken geplaatst bij geothermie, omdat voor geothermie een grotere schaal nodig is dan het project Crailo. De hoogte van de investeringskosten is afhankelijk van de gekozen financieringsconstructie. Zowel de investering in de warmtepompen binnen het warmtepomp-concept als de financiering van de warmtenetten kan door een exploitant worden gedaan. Bij de bewoner worden in dat geval eenmalige aansluitkosten in rekening gebracht. De hoogte van deze bijdrage aan de aansluitkosten (BAK) is begrensd door de Warmtewet. Een marktconforme BAK voor een duurzaam warmtenet is circa € 6.000 - € 8.000 per woning, en voor een warmtepomp circa € 4.000.

Alternatief kan binnen het warmtepomp-concept de warmtepomp in de v.o.n.-prijs worden meegenomen, en kan het warmtenet collectief worden beheerd door de bewoners in een VvE. De investeringskosten in het warmtenet bedragen circa € 12.500 per woning. De investeringskosten in de warmtepomp bedragen € 8.000 tot € 10.000 per woning, afhankelijk van het woningtype. In de tabel in bijlage 1 worden bovenstaande indicatieve (meer)investeringskosten voor de installaties per woning op basis van referentiewoningen weergegeven. Omdat er nog geen schetsontwerp beschikbaar is van de woningen, is in de berekeningen met de verschillende energie-concepten uitgegaan van de afmetingen uit de [‘Referentiewoningen EPC’](#) van RVO. Zie de link voor de kenmerken van de gebouwen. Uit de tabel kan worden opgemaakt dat de investeringskosten in het warmtepompconcept per woning lager zijn.

Wat betreft de exploitatiekosten voor de bewoners staan in de tabel in bijlage 2 indicatieve jaarlijkse exploitatiekosten (energie- en onderhoudskosten) in jaar 1 weergegeven. Met het warmtepomp-concept zijn de energiekosten negatief omdat alle gebruikte energie wordt opgewekt, waardoor alleen het vastrecht en de heffingskorting overblijven. Binnen de concepten met een warmtenet wordt alle verbruikte elektriciteit opgewekt maar wordt er nog wel warmte afgenomen.

Uit de tabel in bijlage 2 kan worden opgemaakt dat het warmtepomp-concept zorgt voor lagere exploitatiekosten voor de bewoner. Het jaarlijkse exploitatievoordeel ten opzichte van de concepten met een warmtenet bedraagt voor de bewoner van een twee onder een kap-woning circa € 500. Ook de ‘total cost of ownership’ (levensduurkosten) over 30 jaar zijn voor het warmtepompconcept lager. Gezien de lagere exploitatiekosten is het warmtepomp-concept financieel voordeliger.

Wat betreft de beoordeling van de mate van duurzaamheid is gekeken naar de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de concepten. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van het concept met een bodemwarmtepomp is het kleinst en de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een warmtenet met biomassa en een warmtenet met geothermie is ongeveer even groot.<sup>6</sup>

Voor de drie energieconcepten ‘Biomassa-warmtenet’, ‘Geothermie-warmtenet’ en ‘Warmtepompen’ zal in het volgende hoofdstuk worden onderzocht of de ambitie ‘NOM + e-vervoer’ ruimtelijk haalbaar is in Crailo.

---

<sup>6</sup> Ketenemissies warmtelevering, CE Delft 2016

## 6 Duurzame elektriciteitsopwekking

De derde stap in het drie-stappen-model (figuur 8 op pagina 17) is het duurzaam opwekken van de elektriciteitsvraag. Conform de gestelde ambitie van 'nul-op-de-meter' inclusief elektrisch rijden, dient de gebouwgebonden en gebruikgebonden energie duurzaam te worden opgewekt. Allereerst wordt verkend of deze elektriciteit op het gebouw kan worden opgewekt, zodat de woningen op gebouwniveau 'NOM' of 'NOM + e-vervoer' worden.

Voor de opwekking van groene stroom op het gebouw bestaan twee mogelijkheden: zonne-energie door middel van PV-panelen of windenergie. Zonne-energie is de meest toegepaste vorm, omdat de opbrengst van kleine windturbines gering is. Grotere windturbines kunnen geplaatst worden op woontorens, maar deze zijn met name geschikt voor gebouwen hoger dan tien bouwlagen. Dit soort torens zijn op dit moment niet in het plan voorzien. Daarom wordt voor Crailo uitgegaan van de opwekking van zonne-energie met PV-panelen.

### 6.1.1 PV-panelen voor ambitie 'NOM' en 'NOM + e-vervoer'

Omdat de drie gemeenteraden belang hechten aan het onderzoeken van geothermie voor Crailo en omgeving is het warmtenet-concept geselecteerd als mogelijke energie-infrastructuur. Daarbij wordt rekening gehouden met de mogelijkheid van het realiseren van een warmtenet dat in eerste instantie door een biomassaketel wordt gevoed, en in een later stadium door geothermie. Voor deze energieconcepten 'Biomassa-warmtenet', 'Geothermie-warmtenet' en 'Warmtepompen' zijn EPC-berekeningen opgesteld om te verkennen of de woningen in Crailo energiepositief kunnen worden met PV-panelen op het dak.

In de EPC-berekeningen wordt een 'Equivalent Opwekkingsrendement' (EOR) ingevuld voor een warmtenet. Voor het warmtenet met biomassa wordt de EOR van het biomassa-warmtenet in Meerhoven aangehouden van 400%. Voor een warmtenet met geothermie is helaas nog geen kwaliteitsverklaring van een opwekkingsrendement bekend. Rekening houdend met de verwachte 'coefficient of performance' en de transportverliezen, is de geschatte EOR van het warmtenet met geothermie tevens circa 400%. Voor beide warmtenetten is dus dezelfde hoeveelheid PV-panelen nodig om het energiegebruik op woningniveau te compenseren (zie tabel 4).

Tabel 4 – Aantal benodigde PV-panelen\* voor bouwbesluit, de ambitie 'NOM' en 'NOM+ e-vervoer'

	Warmtepomp	Warmtenet
<i>Benodigde PV-panelen* per woning voor bouwbesluit</i>		
<b>Appartement</b> 102 m <sup>2</sup> GO	0	1 (0,6 m <sup>2</sup> )
<b>Vrijstaande woning</b> 169 m <sup>2</sup> GO	0	2 (4 m <sup>2</sup> )
<i>Benodigde PV-panelen* per woning voor NOM</i>		
<b>Appartement</b> 102 m <sup>2</sup> GO	14 (22 m <sup>2</sup> )	15 (24 m <sup>2</sup> )
<b>Vrijstaande woning</b> 169 m <sup>2</sup> GO	19 (30 m <sup>2</sup> )	22 (35 m <sup>2</sup> )
<i>Benodigde PV-panelen* per woning voor NOM + e-vervoer</i>		
<b>Appartement</b> 102 m <sup>2</sup> GO	21 (33 m <sup>2</sup> )	22 (35 m <sup>2</sup> )
<b>Vrijstaande woning</b> 169 m <sup>2</sup> GO	26 (41 m <sup>2</sup> )	29 (46 m <sup>2</sup> )

\*Ad 200 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup>

In tabel 4 is per concept weergegeven hoeveel PV-panelen nodig zijn per woningtype voor de opwekking van de gebruiksgebonden en gebouwgebonden elektriciteit, en hoeveel PV-panelen nodig zijn als ook het elektriciteitsverbruik voor elektrisch rijden wordt opgewekt. Ten opzichte van 'NOM' zijn circa 7 extra PV-panelen per woning om de (in het jaar 2017) gemiddeld afgelegde 13.000 km per jaar duurzaam te dekken. Zie voor een uitsplitsing naar alle woningtypen Bijlage 3.

Te zien is dat voor beide energieconcepten ongeveer evenveel PV-panelen per woning nodig zijn om NOM-woningen te realiseren. Het verschil met het warmtenet komt neer op 1-3 PV-panelen per woning, afhankelijk van het woningtype.

### 6.1.2 Verkenning inpassing energieopwekking op woningniveau

Voor de verkenning of de woningen in Crailo energiepositief kunnen worden met PV-panelen op het dak, is het van belang dat er op woningniveau voldoende schaduvrij dakoppervlak beschikbaar is. Hiervoor is gekeken naar het huidige indicatieve plan. Wat betreft de oriëntatie van de grondgebonden woningen kan nog nadrukkelijker gekozen worden voor een zuidelijke oriëntatie van de daken. Wat betreft de bezonning van de daken is in het huidige plan te zien dat er veel bestaande bomen behouden blijven. Met name voor de grondgebonden woningen kan dit voor schaduw op de daken zorgen, afhankelijk van het type boom. Er kan bewust gekozen worden voor het toevoegen van lage boomsoorten.

Voor een maximale opbrengst van de PV-panelen hebben platte daken de voorkeur, zodat de PV-panelen met een gunstige hellingshoek kunnen worden geplaatst en de panelen geventileerd zijn, waardoor de prestatie hoger is.

Daarnaast dient men rekening te houden met de minimale grootte van de daken van de grondgebonden woningen; uitgaande van het kunnen benutten van 70% van het dak dienen de daken van bijvoorbeeld de vrijstaande woningen minimaal 65 m<sup>2</sup> groot te zijn om 46 m<sup>2</sup> PV-panelen te kunnen plaatsen. Alternatief kan gedacht worden aan carports voor het benutten van de daken ervan. Het schaduvrij houden van de daken van de grondgebonden woningen lijkt op drie plaatsen in het plan problematisch in verband met de schaduw van de aanwezige omringende bomen. Het gaat daarbij om circa 40 woningen. Deze woningen zijn in onderstaande figuur 13 rood omcirkeld.

Voor de appartementencomplexen is het aantal woningen per complex en het dakoppervlak bekeken. Hoe compacter en hoger de woontoren, hoe lastiger het is om de NOM-ambitie te realiseren. In de praktijk blijkt dat appartementencomplexen met 4 woonlagen of hoger niet met PV-panelen op het dak 'NOM' kunnen worden op woningniveau. Voor de ambitie 'NOM + e-vervoer' geldt dat bij complexen van 3 woonlagen of hoger. De complexen in het plan zijn minimaal 4 bouwlagen hoog. In figuur 13 zijn de complexen geel omcirkeld.

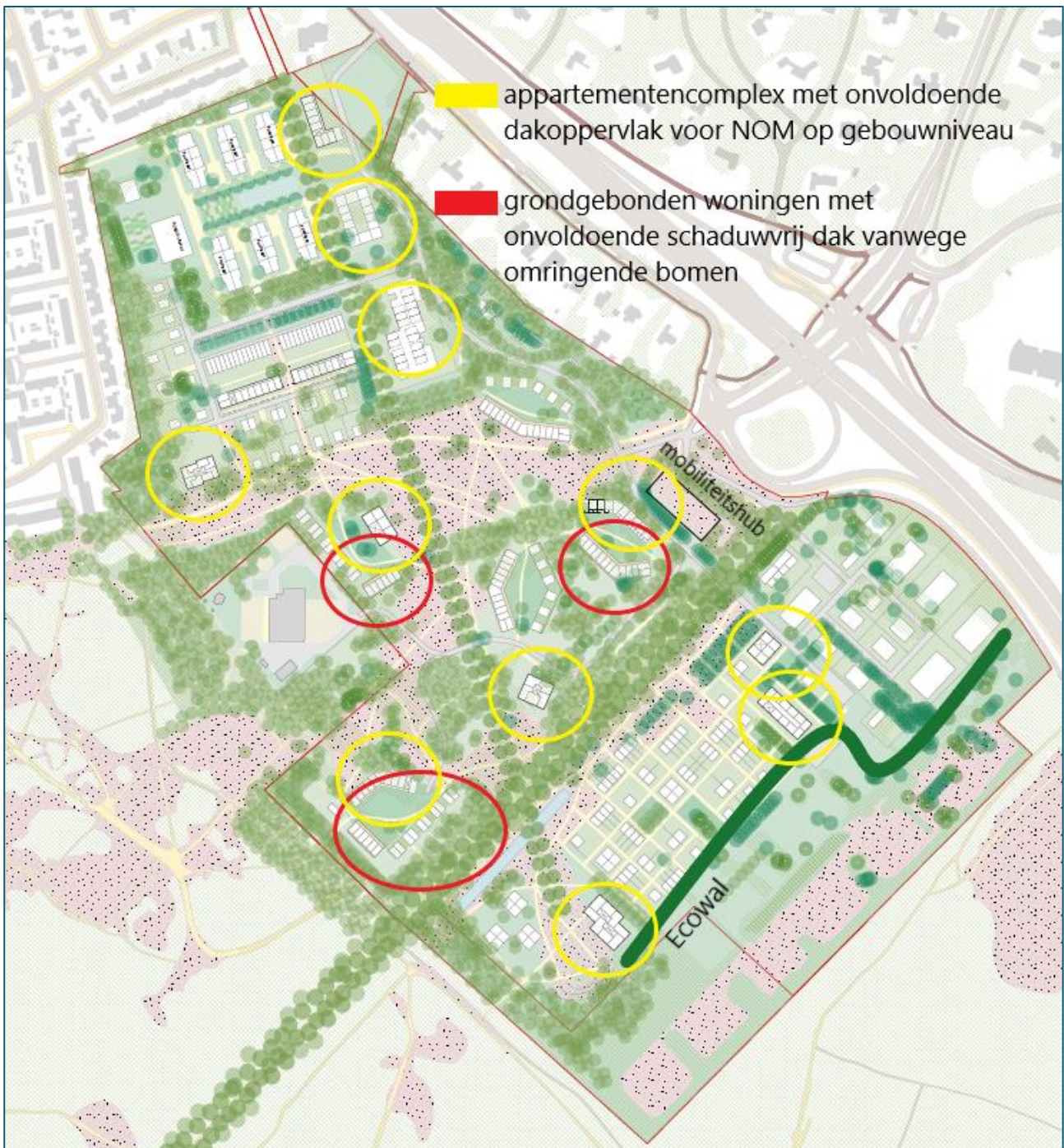
De ambitie 'NOM+ e-vervoer' op woningniveau lijkt met dit voorlopige plan dus niet voor alle woningen haalbaar. Om de ambitie wel op woningniveau haalbaar te maken kan gedacht worden aan gevelbeplating van PV-panelen voor de appartementencomplexen en het reduceren van het aantal nieuwe bomen ter plaatse van de rood omcirkelde grondgebonden woningen.



Figuur 12 – geïntegreerde PV-panelen (MyEnergySkin) en grondgebonden NOM-woningen in Boekel



Figuur 13- appartementen en grondgebonden woningen met onvoldoende (schaduwvrij) dakoppervlak





### 6.1.3 Inpassing energieopwekking op gebiedsniveau

Indien niet gekozen wordt voor de in paragraaf 6.1.2 genoemde oplossingen, kan gekozen worden voor het opwekken van de benodigde elektriciteit op gebiedsniveau.

In totaal is in het voorlopige plan circa 41.000 m<sup>2</sup> dakoppervlak beschikbaar in het plangebied. Daarvan is nu 7.000 m<sup>2</sup> aan dakoppervlak van bedrijven opgenomen en 34.000 m<sup>2</sup> van de woningen. Met het all-electric concept met warmtepompen is er voor de woningen in totaal circa 18.000 m<sup>2</sup> schaduwvrij dakoppervlak benodigd voor de ambitie 'NOM+e-vervoer', bij het concept met een warmtenet is dat circa 19.500 m<sup>2</sup> schaduwvrij dakoppervlak.

Indien 50% van het totale dakoppervlak van de woningen schaduwvrij benut kan worden voor het plaatsen van PV-panelen, en 50% van het dakoppervlak van de bedrijven (ervan uitgaande dat de bedrijven 50% van hun dakoppervlak nodig hebben voor het opwekken van de eigen energie) is er met beide concepten op gebiedsniveau voldoende dakoppervlak voor de ambitie NOM. Voor de ambitie 'NOM + e-vervoer' is er een tekort van 1.000 m<sup>2</sup> dakoppervlak voor het concept met warmtepompen. Met de warmtenetten is dat tekort 2.500 m<sup>2</sup>.

Op twee plaatsen in het plan is eventuele ruimte beschikbaar voor het plaatsen van extra PV-panelen; op de Ecowal aan de zuidoostzijde van het plan en op het dak van een mobiliteitshub bij het entreegebied. Deze leveren circa 2.600 m<sup>2</sup> plaatsingsoppervlak wanneer de afmetingen van de Ecowal worden aangepast op de afmetingen van de PV-panelen en wanneer het dak van de mobiliteitshub volledig schaduwvrij is en er geen installaties op het dak komen. Indien dit niet mogelijk is, zal voor de concepten met warmtenetten bijvoorbeeld ook het dak van de manege benut kunnen worden. Dit dak levert circa 950 m<sup>2</sup> extra dakoppervlak op.

Tenslotte is het van belang om de plaatsing van elektrische laadpalen mee te nemen in het ontwerp, en de afweging te maken of de bewoners van de grondgebonden woningen de mogelijkheid krijgen om de (in de toekomst) elektrische auto voor de deur met eigen stroom op te laden. Dit aangezien de capaciteit van de eigen energieopwekking is afgestemd op het opladen van een elektrische auto. Ook deelmobiliteit en bijbehorende parkeer- en laadvoorzieningen dienen in het stedenbouwkundig plan een plek te krijgen.

### 6.1.4 Organisatie energieopwekking op gebiedsniveau

Wanneer de elektriciteit op gebiedsniveau wordt opgewekt, zal niet iedere bewoner vanzelf kunnen profiteren van de opgewekte energie. Om de opbrengsten van de opgewekte elektriciteit onder de bewoners te verdelen is het nodig om een energiecoöperatie of VvE op te richten. Het collectief organiseren van de elektriciteitsopwekking past goed bij het concept van een 'buurtschap'. Daarbij biedt het kansen voor het aanbieden van de elektriciteit op slimme momenten, met het oog op pieken en dalen op het net.

Met het oprichten van een coöperatie wordt er een rechtspersoon opgericht die eigenaar wordt van de zonnepanelen. Een coöperatie wordt opgericht bij notariële akte door minimaal één persoon, waarbij automatisch de inschrijving bij de Kamer van Koophandel plaatsvindt. De oprichting kan dus al plaatsvinden voordat de deelnemers (bewoners) in beeld zijn. De coöperatie wordt niet aangemerkt als onderneming en is daarom niet BTW-plichtig, en er hoeft geen vennootschapsbelasting te worden betaald.

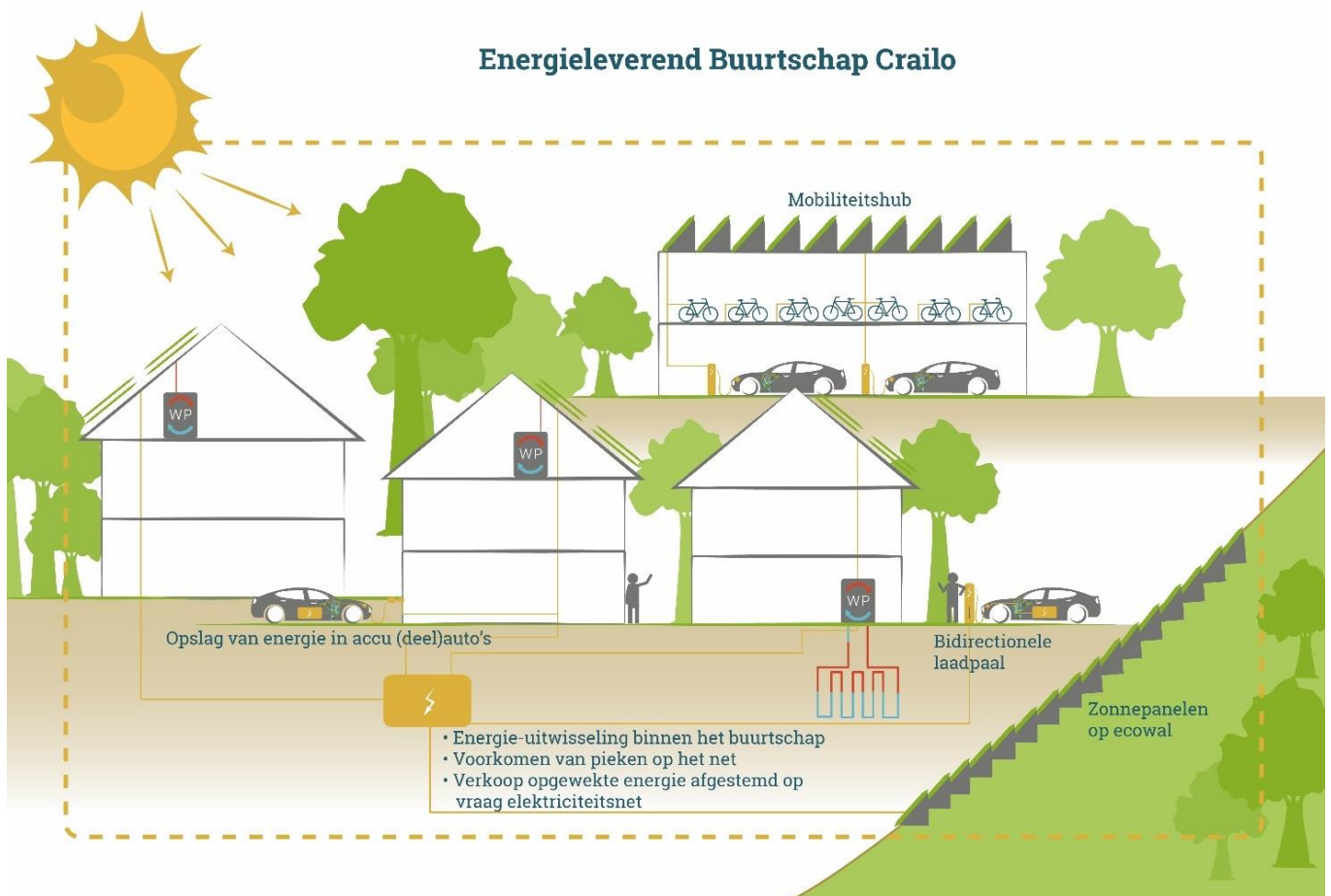
De elektriciteit die de gezamenlijke PV-panelen opwekken wordt door de coöperatie verkocht aan een energiebedrijf. De coöperatie sluit hiervoor een overeenkomst met een energiebedrijf waarin de afspraken

over onder meer de prijs (terugleververgoeding) zijn vastgelegd. Deze jaarlijkse stroomopbrengst wordt door de coöperatie gebruikt om de lopende jaarlijkse kosten binnen het project te betalen. Voorbeelden van deze exploitatiekosten zijn onderhoudskosten, schoonmaakkosten, administratiekosten, verzekeringskosten en de kosten van de jaarlijkse Algemene Leden Vergadering.

Met de 'postcoderoosregeling' kunnen de deelnemers in de energiecoöperatie 'verdienen' aan de PV-panelen door een energiebelastingvrijstelling. De deelnemers ontvangen jaarlijks een teruggave van energiebelasting die zij betaald hebben over de energie die zij thuis gebruiken. Dit recht op teruggave van de energiebelasting voor deelnemers wordt door de overheid voor (minimaal) 15 jaar gegarandeerd en geldt vanaf het moment dat de Belastingdienst het postcodeproject goedkeurt.

Ook is het mogelijk om de opgewekte energie door de energiecoöperatie of een externe partij op de markt te laten brengen, waarbij die partij rekening houden met pieken en dalen op de elektriciteitsmarkt om tot een gunstige prijs te komen. Een dergelijk innovatief concept wordt op dit moment bijvoorbeeld door ontwikkelend bouwbedrijf Van der Hulst in de wijk Hooghkamer in Voorhout. In dat geval kan er gekozen worden voor producten die 'smart' zijn als het gaat om de PV-panelen, warmtepompen en laadpalen. Ook een eventuele buurtbatterij zou hier een rol in kunnen spelen. Daarnaast zou in dat geval gekozen kunnen worden voor het tevens collectief exploiteren van de laadvoorzieningen voor de elektrische auto's als extra sturingselement voor de afstemming van vraag en aanbod.

Figuur 14 – Visualisatie energie-opwekking en -uitwisseling op gebiedsniveau in Crailo



## Bijlage 1 – Uitsplitsing investeringskosten

Tabel A.1 – Investeringskosten per woning (type 2<sup>1</sup> kap) bij exploitatie warmte door externe partij

	Warmtepomp	Warmtenet
Warmtepomp i.c.m. bodemwtw	-	-
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€ 4.000	€ 7.000
PV-panelen	€ 10.500	€ 11.000
<b>Subtotaal</b>	<b>€ 14.500</b>	<b>€ 18.000</b>
Aannemersopslag (10%)	€ 1.450	€ 1.800
Projectontwikkelaarsopslag (20%)	€ 3.190	€ 3.960
<b>Totaal</b>	<b>€ 19.140</b>	<b>€ 23.760</b>
<b>Meerkosten t.o.v. warmtepomp</b>	-	<b>€ 4.620</b>

Tabel A.2 – Investeringskosten per woning (type 2<sup>1</sup> kap) zonder exploitant

	Warmtepomp	Warmtenet
Warmtepomp i.c.m. bodemwtw	€ 10.000	-
Aansluitkosten warmtenet	-	€ 13.250*
PV-panelen	€ 10.500	€ 11.000
<b>Subtotaal</b>	<b>€ 20.500</b>	<b>€ 24.250</b>
Aannemersopslag (10%)	€ 2.050	€ 2.425
Projectontwikkelaarsopslag (20%)	€ 4.510	€ 5.335
<b>Totaal</b>	<b>€ 27.060</b>	<b>€ 32.010</b>
<b>Meerkosten t.o.v. warmtepomp</b>	-	<b>€ 4.950</b>

\* € 1.250 voor het warmtenet plus € 750 voor de biomassacentrale

## Bijlage 2 – Uitsplitsing energie- en onderhoudskosten

Tabel B.1 – Onderhoudskosten per woning (type 2<sup>1</sup> kap)

	Warmtepomp	Warmtenet
Onderhoudskosten ventilatiesysteem	€ 80	€ 80
Onderhoudskosten warmtepomp	€ 150	€ 0
Onderhoudskosten PV-panelen	€ 60	€ 60
<b>Totale onderhoudskosten</b>	<b>€ 290</b>	<b>€ 140</b>

Tabel B.2 – Energie- en warmtegebruik per woning (type 2<sup>1</sup> kap)

	Warmtepomp	Warmtenet
Warmte (GJ)	-	16
Elektriciteit (kWh)	7465	5805
Opwekking	-7465	-7808
<b>Totaal warmte</b>	<b>-</b>	<b>16</b>
<b>Totaal elektra</b>	<b>0</b>	<b>-2002</b>
PV-panelen (m2)	39	41

Tabel B.3 – Energie- en warmtekosten per woning (type 2<sup>1</sup> kap)

	Warmtepomp	Warmtenet
Warmtekosten	€ 0	€ 362
Elektriciteitskosten	€ 0	-€ 184
Vastrecht warmte	€ 0	€ 526
Vastrecht elektra	€ 252	€ 252
Heffingskorting	-€ 373	-€ 373
<b>Totaal</b>	<b>-€ 121</b>	<b>€ 583</b>

Tabel B.4 Levensduurkosten per woning (type 2<sup>1</sup> kap) zonder exploitant

	Warmtepomp	Warmtenet
Totale exploitatiekosten	€ 170	€ 720
Extra kapitaallasten	€ 0	€ 290
Totale kosten	€ 170	€ 1.010
<b>Levensduurkosten (30 jaar)</b>	<b>€ 38.700</b>	<b>€ 53.400</b>

### Uitgangspunten

Meterhuur en afleverzet warmte	€ 196,73	Tarief Ennatuurlijk 2019
Netwerkkosten elektriciteit	€ 251,96	Liander
Vastrecht levering warmte	€ 329,11	Tarief Ennatuurlijk 2019
Vastrecht levering elektriciteit	€ 71,87	Eneco 1 jaar vast
Warmtetarief	22,6525 €/GJ	Tarief Ennatuurlijk (85%)
Elektratarief	0,2152 €/kWh	Eneco 1 jaar vast
Teruglevertarief	€ 0,092 €/kWh	Eneco vergoeding bovenop eigen verbruik

## Bijlage 3 – Uitsplitsing benodigde PV-panelen per woningtype

Tabel C.1 – Benodigde hoeveelheid PV-panelen per woning per energieconcept

	All-electric met warmtepomp	Warmtenet *
<i>Benodigde PV-panelen* per woning voor bouwbesluit</i>		
<b>Appartement</b> 102 m <sup>2</sup> GO	0	1 (0,6 m <sup>2</sup> )
<b>Tussenwoning</b> (124 m <sup>2</sup> GO)	0	2 (2 m <sup>2</sup> )
<b>2 onder 1 kap</b> (147 m <sup>2</sup> GO)	0	2 (4 m <sup>2</sup> )
<b>Vrijstaande woning</b> (169 m <sup>2</sup> GO)	0	2 (4 m <sup>2</sup> )
<i>Benodigde PV-panelen* per woning voor NOM</i>		
<b>Appartement</b> 102 m <sup>2</sup> GO	14 (22 m <sup>2</sup> )	15 (24 m <sup>2</sup> )
<b>Tussenwoning</b> (124 m <sup>2</sup> GO)	15 (24 m <sup>2</sup> )	17 (26 m <sup>2</sup> )
<b>2 onder 1 kap</b> (147 m <sup>2</sup> GO)	18 (29 m <sup>2</sup> )	19 (30 m <sup>2</sup> )
<b>Vrijstaande woning</b> (169 m <sup>2</sup> GO)	19 (30 m <sup>2</sup> )	22 (35 m <sup>2</sup> )
<i>Benodigde PV-panelen* per woning voor NOM + e-vervoer</i>		
<b>Appartement</b> 102 m <sup>2</sup> GO	21 (33 m <sup>2</sup> )	22 (35 m <sup>2</sup> )
<b>Tussenwoning</b> (124 m <sup>2</sup> GO)	22 (35 m <sup>2</sup> )	24 (37 m <sup>2</sup> )
<b>2 onder 1 kap</b> (147 m <sup>2</sup> GO)	25 (39 m <sup>2</sup> )	26 (41 m <sup>2</sup> )
<b>Vrijstaande woning</b> (169 m <sup>2</sup> GO)	26 (41 m <sup>2</sup> )	29 (46 m <sup>2</sup> )

\*Ad 200 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup>

\*\*Op basis van een effectief opwekkingsrendement van 400.