



Potentieel lokale energiebronnen Leidschendam - Voorburg

In kaart brengen van het
opwekpotentieel



Committed to the Environment

Potentieel lokale energiebronnen Leidschendam - Voorburg

In kaart brengen van het opwekpotentieel

Dit rapport is geschreven door:
Nanda Naber, Fenneke van de Poll

Delft, CE Delft, augustus 2020

Publicatienummer: 20.200254.112

Gemeenten / Beleidsplannen / Energievoorziening / Duurzame energie / Productiecapaciteit / Zonne-energie / Warmte / Biomassa

Opdrachtgever: Gemeente Leidschendam-Voorburg
Uw kenmerk: 638863

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Nanda Naber (CE Delft).

© 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.



Inhoud

	Inleiding	4
1	Methode	5
2	Energievraag	6
	2.1 Inleiding	6
	2.2 Huidige energievraag	6
	2.3 Energievraag 2050	11
3	Energie uit zon	18
	3.1 Inleiding	18
	3.2 Zon-pv op daken	18
	3.3 Zon-pv op gevels	23
	3.4 Zon-pv in geluidsschermen	24
	3.5 Zon-pv in asfalt	25
	3.6 Zonneboilers	26
	3.7 Pvt-panelen	28
4	Energie uit wind	29
	4.1 Inleiding	29
	4.2 Grote windturbines	29
	4.3 Kleine windturbines	30
5	Warmtenet	31
	5.1 Criteria	31
	5.2 Warmtenet Den Haag	36
	5.3 WarmtelinQ (LdM+)	38
6	Bodemenergie	40
	6.1 Aandachtsgebieden bij winning	40
	6.2 Bodemenergiesystemen	42
	6.3 Lagetemperatuuraardwarmte (LTA)	44
	6.4 Geothermie	45
7	Restwarmte	47
8	Aquathermie	50
	8.1 Oppervlaktewater	50
	8.2 Drinkwater	52
	Conclusies	55



	Bibliografie	57
A	Kengetallen energievraag	59
B	Uitkomsten per buurt	61



Inleiding

De gemeente Leidschendam-Voorburg werkt actief mee aan de energietransitie en heeft hiervoor een uitgangspuntennotitie opgesteld voor de lokale energiestrategie (LES). De LES is de start van de LES-planvorming en vormt tevens de input voor de regionale energiestrategie (RES). In de LES wordt onder andere de Transitievisie Warmte opgesteld, waarin wordt aangegeven hoe de gemeente de transitie naar een aardgasvrije warmtevoorziening gaat aanpakken. Het plan en de planvorming dienen er onder andere voor om inzicht te geven in de technische mogelijkheden, dilemma's en te maken keuzes. Er is inmiddels al onderzoek verricht naar de potentie voor wind in de gemeente en er is een verkennend onderzoek verricht naar de lokale condities per buurt of wijk en de daarbij gewenste energieconcepten. Daarnaast is er een onderzoek uitgevoerd naar de ruimte in de ondergrond voor een mogelijk aan te leggen warmtenet

De gemeente Leidschendam-Voorburg heeft CE Delft gevraagd om ter voorbereiding op de LES in kaart te brengen wat het potentieel binnen de gemeente is aan lokale energiebronnen. Met kennis over zowel de energievraag als het opwekpotentieel, kan de gemeente een beeld te krijgen van in hoeverre zij op buurt-, wijk- en gemeenteniveau energie-neutraal kan worden en of de door de gemeente beoogde warmte-opties realistisch zijn. De volgende onderdelen zijn in deze rapportage meegenomen:

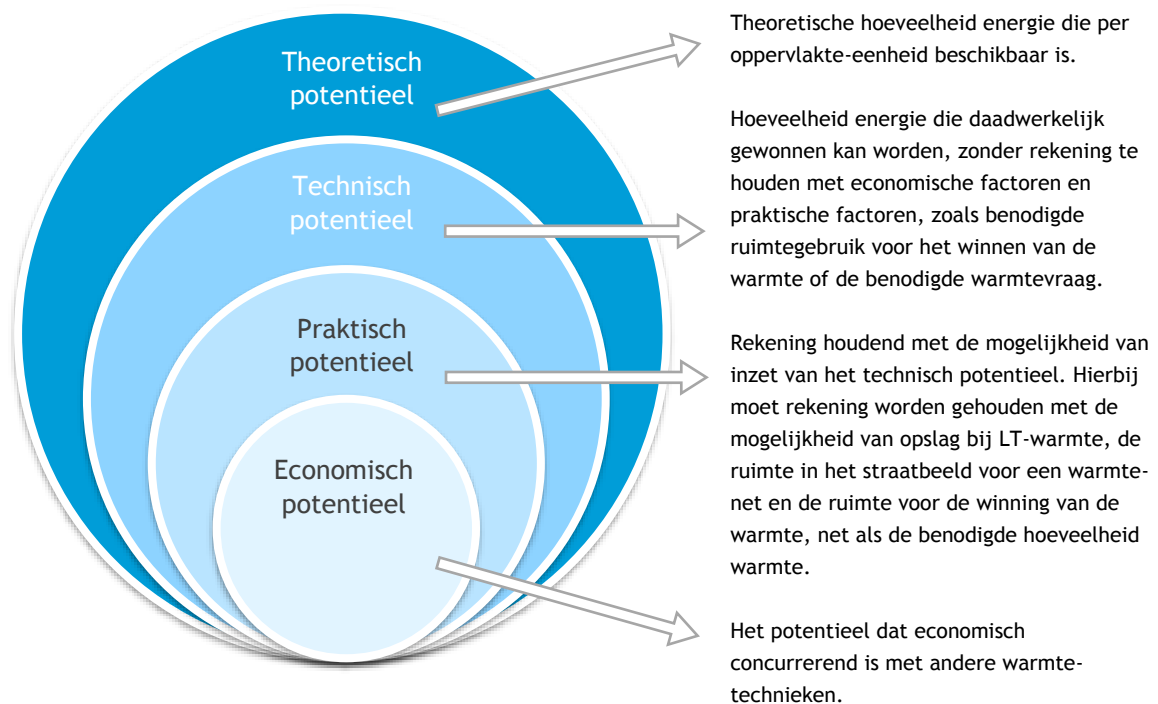
- huidige en toekomstige energievraag;
- potentieel aan zonne-energie op daken en gevel;
- potentieel aan bodemenergie;
- potentiële buurten om aan te sluiten op een warmtenet;
- potentieel aan lage temperatuur restwarmtebronnen;
- potentieel aan aquathermie.

Per onderdeel worden de resultaten op buurtniveau weergegeven op kaarten en in Bijlage B zijn de resultaten per buurt weergegeven in grafieken. Daarnaast wordt een uitleg gegeven van de bronnen die zijn gebruikt en de berekeningsmethode die is toegepast, indien van toepassing. De shapefiles waarop de GIS-kaarten zijn gebaseerd, zijn aan de gemeente geleverd.

1 Methode

Bij het bepalen van het potentieel van energiebronnen, kun je kijken naar verschillende niveaus. In dit onderzoek berekenen we eerst het technisch potentieel. Dit is het potentieel dat gewonnen kan worden op basis van de hoeveelheid beschikbare energie of het beschikbare oppervlak, als het gaat om zon-pv. Nadat het technisch potentieel is bepaald, moet het praktisch en economisch potentieel nog worden meegenomen om te bepalen of de potentie daadwerkelijk benut kan worden. In Figuur 1 zijn de verschillende soorten potentieel weergegeven.

Figuur 1 - Verschillende soorten potentieel



Wanneer we binnen deze studie kijken naar het potentieel van een warmtenet, is het wel nuttig om al bij het technisch potentieel ook wat andere aspecten mee te nemen. Deze aspecten kunnen een warmtenet namelijk direct uitsluiten, waardoor het niet nuttig is om de optie verder te onderzoeken, ondanks een hoog technisch potentieel. Voor een warmtenet is daarom ook gekeken naar de warmtevraag en warmtevraagdichtheid van een buurt en zijn de resultaten van het onderzoek van Wareco (2020) naar de ruimte in het straatprofiel meegenomen.

2 Energievraag

2.1 Inleiding

De energievraag bepaalt de benodigde hoeveelheid warmte en elektriciteit. In dit onderzoek kijken we naar de huidige en toekomstige energievraag van woningen en utiliteit.

Dit is opgesplitst in:

- warmtevraag woningen en utiliteit;
- elektriciteitsvraag woningen en utiliteit;
- energievraag personenauto's.

Voor de toekomstige energievraag kijken we naar het jaar 2050, omdat de gemeente Leidschendam-Voorburg streeft naar CO₂-neutraal in 2050 (Gemeente Leidschendam-Voorburg, 2020).

2.2 Huidige energievraag

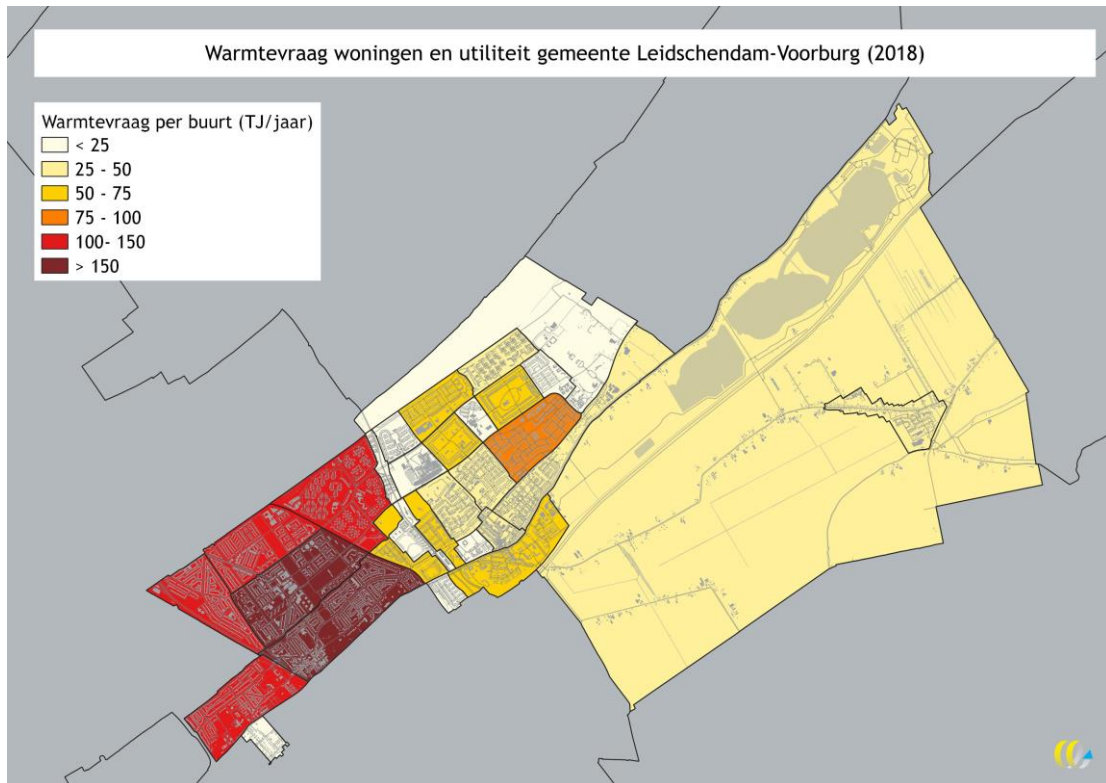
2.2.1 Warmte

In Figuur 2 is de huidige warmtevraag van woningen en utiliteit weergegeven per buurt. De warmtevraag van woningen is bepaald op basis van het gemiddelde gasverbruik per woning per buurt uit Statline (CBS, 2018). In de gemeente Leidschendam-Voorburg zijn momenteel geen woningen aangesloten op het warmtenet. Het gasverbruik geeft daarom een goede indicatie voor de totale warmtevraag.

Voor utiliteitsbouw zijn geen openbare data op buurtniveau beschikbaar omtrent het energieverbruik. Om de warmtevraag te bepalen is uitgegaan van het oppervlak van de verschillende type utiliteitsgebouwen met bouwjaarklassen per buurt. Op basis van kengetallen uit het functioneel ontwerp van Vesta 4.0 is een schatting gemaakt van de huidige warmtevraag per buurt, zie Bijlage A. Vervolgens is berekend wat op basis van de kengetallen de totale warmtevraag van de utiliteit van de gemeente zou moeten zijn. Dit is vergeleken met de waarden in de Klimaatmonitor, waarin het werkelijke gasverbruik van de gemeente wordt weergegeven. De eerder berekende warmtevraag per buurt, op basis van kengetallen, is geijkt met de totale warmtevraag van de gemeente.

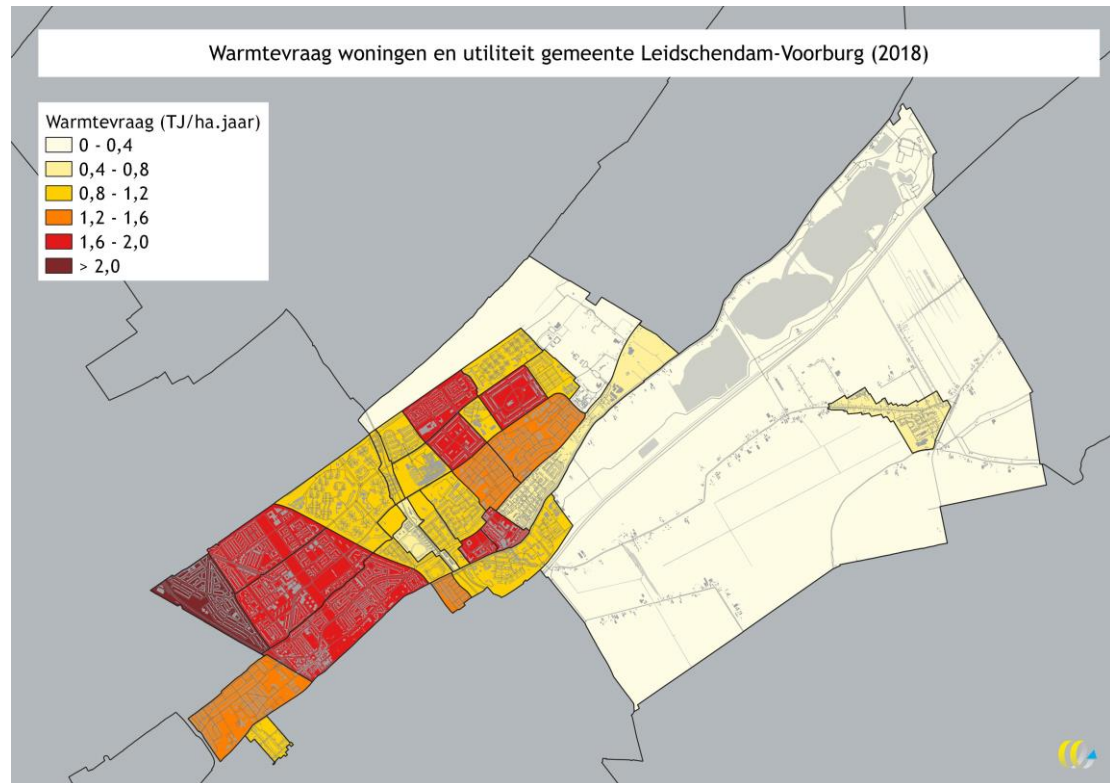
De totale woningvoorraad in Leidschendam-Voorburg heeft momenteel een warmtevraag van 1.421 TJ per jaar en de utiliteitsgebouwen een warmtevraag van 330 TJ per jaar. In totaal komt dit uit op een jaarlijkse warmtevraag van 1.751 TJ (peiljaar 2018).

Figuur 2 - Huidige warmtevraag woningen en utiliteit per buurt



De totale warmtevraag van een buurt hangt voor een groot deel samen met het oppervlak en het aantal woningen en andere gebouwen in de buurt. Het oppervlak verschilt veel binnen de gemeente. In Figuur 3 is de warmtevraag voor elke buurt weergegeven per hectare. Het beeld verandert niet sterk ten opzichte van de warmtevraag per buurt. Het valt op dat in het grootste deel van Voorburg veel warmtevraag is per buurt en ook per hectare. In Leidschendam is een wisselend beeld te zien, terwijl in Stompwijk relatief weinig warmtevraag is.

Figuur 3 - Huidige warmtevraag woningen en utiliteit per hectare

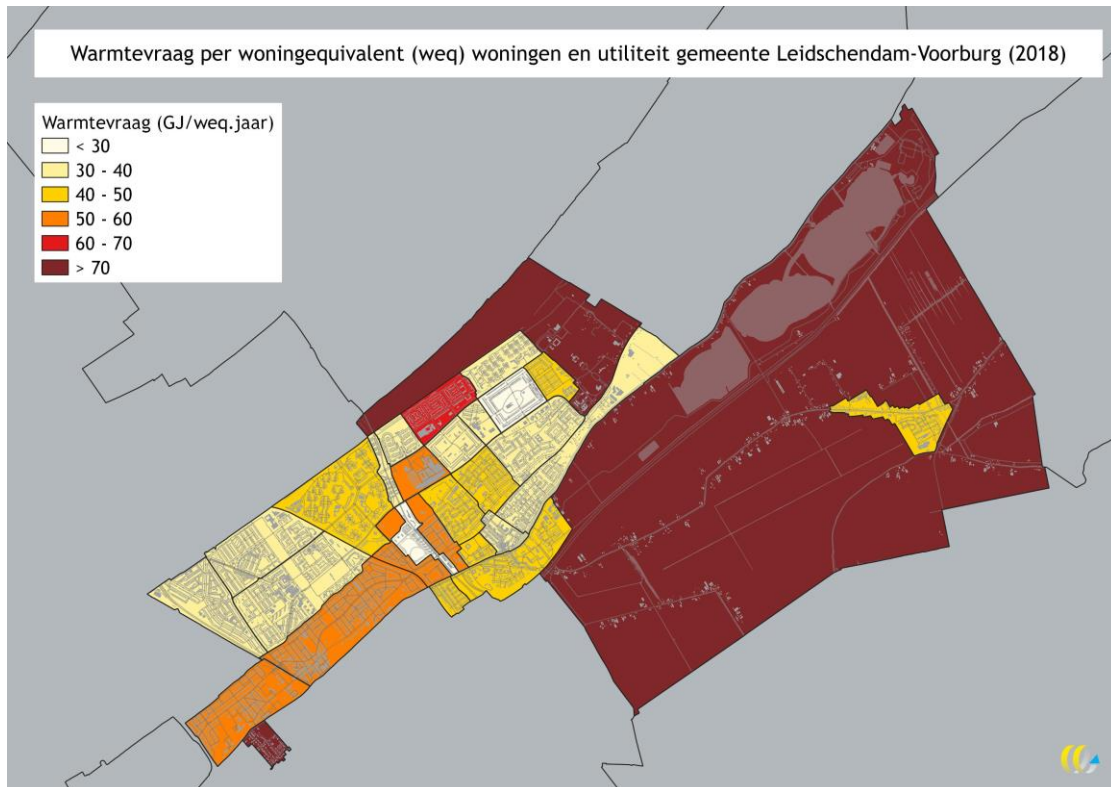


In Figuur 4 is de huidige warmtevraag per woningequivalent gegeven. Hierbij is aangenomen dat één woningequivalent gelijk is aan één woning of 130 m² utiliteit. Een woning is gelijk aan een woningequivalent (weq). Voor het rekenen met utiliteitsbouw wordt een weq gelijk gesteld aan 130 m² oppervlakte. Het omrekenen van het totaaloppervlak utiliteitsbouw naar woningequivalenten gaat dus als volgt:

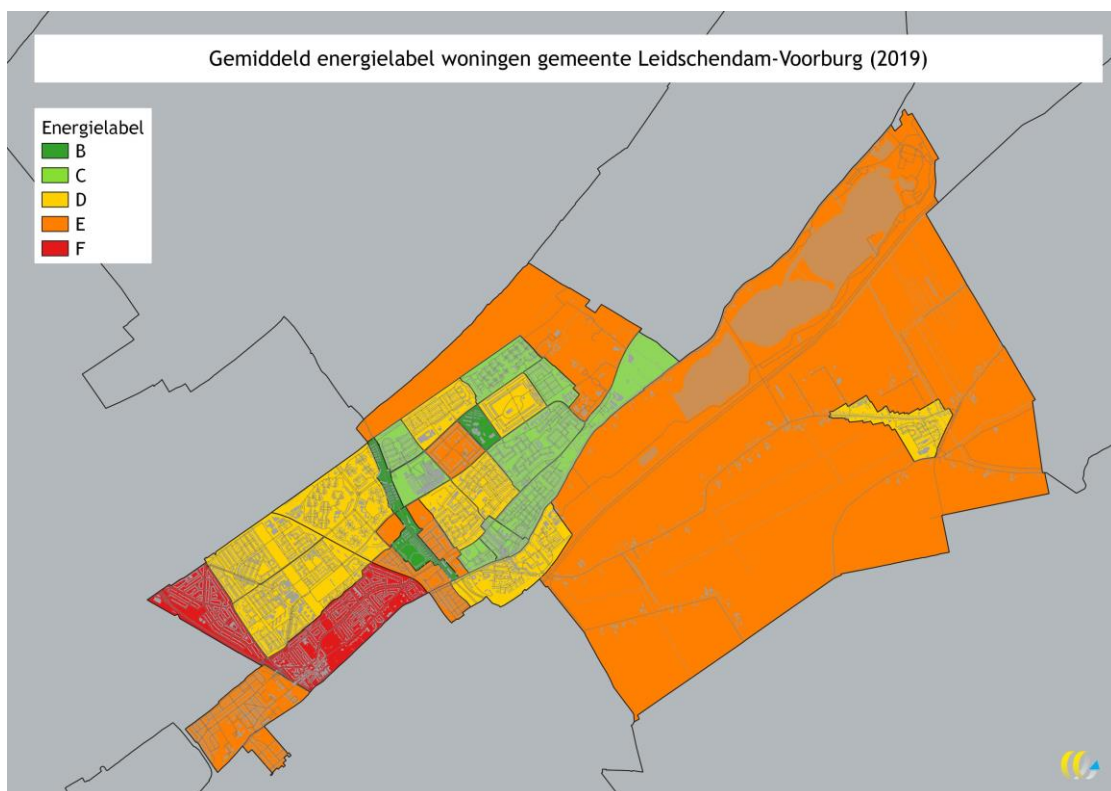
Totaaloppervlak utiliteitsbouw / 130 = Q woningequivalenten. Voor woningen wordt elke woning als één woningequivalent gerekend, ongeacht het oppervlak van de woning.

De warmtevraag per weq heeft te maken met het oppervlak van de woningen en de mate van isolatie. Bij grote woningen die goed geïsoleerd zijn, kan de warmtevraag per weq hoog zijn, terwijl die bij kleine woningen met mindere isolatie laag kan zijn. Voor het bepalen van de geschiktheid van verschillende warmteopties per buurt, is de warmtevraag per weq interessant, maar ook het huidige energielabel. In Figuur 5 is weergegeven wat de gemiddelde energielabels zijn van de woningen per buurt, waarbij zowel de geregistreerde energielabels als de voorlopige energielabels zijn meegenomen.

Figuur 4 - Huidige warmtevraag per woningequivalent



Figuur 5 - Huidige gemiddelde energielabels per buurt (bron: EP-online, 2019)



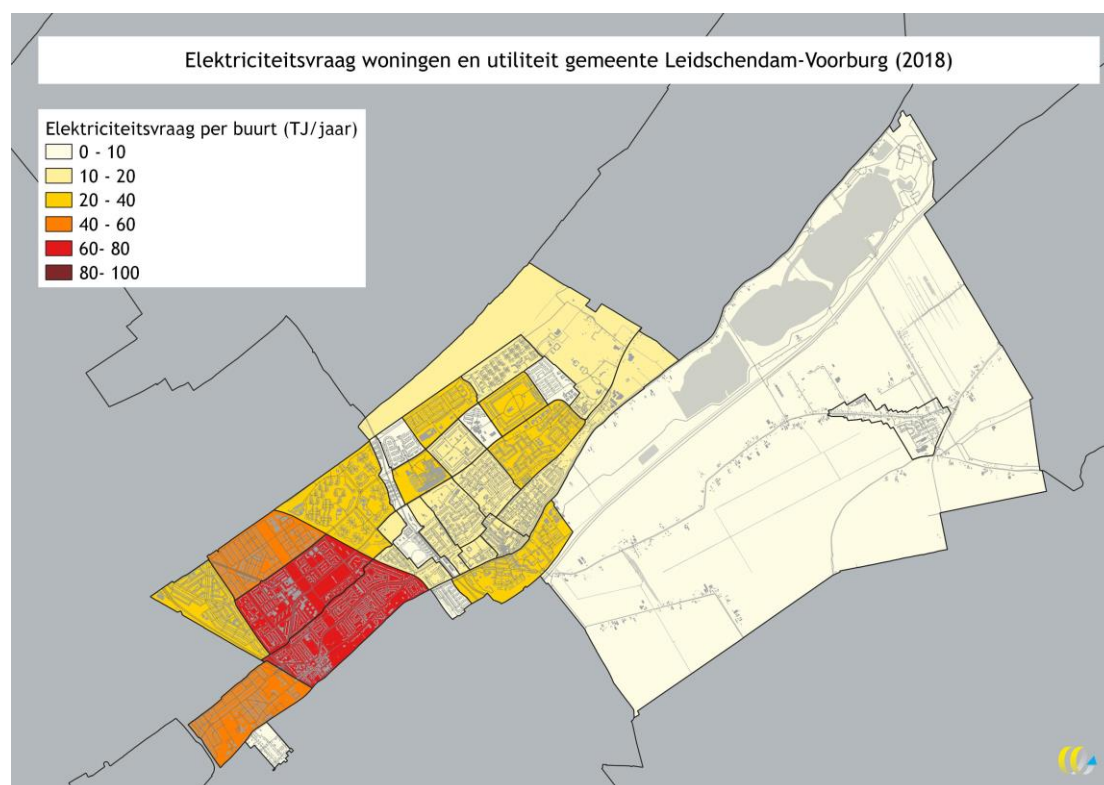
2.2.2 Elektriciteit

In Figuur 6 is de elektriciteitsvraag voor woningen en utiliteit per buurt weergegeven. Voor de elektriciteitsvraag van woningen is gebruikgemaakt van CBS Statline, 2018. Er zijn geen openbare gegevens op buurtniveau van het elektriciteitsgebruik van utiliteitsgebouwen. Hiervoor hebben we gebruikgemaakt van kengetallen per type utiliteitsgebouw en bouwjaarklasse van SWING (RVO, 2014), zie Bijlage A. De op deze manier berekende elektriciteitsvraag is, net als bij de warmtevraag, geijkt met de gemeten elektriciteitsvraag van de totale gemeente uit de Klimaatmonitor.

De elektriciteitsvraag per buurt is in lijn met de warmtevraag. Veel warmtevraag gaat over het algemeen gepaard met een hoge vraag naar elektriciteit. Dit komt omdat de warmtevraag en elektriciteitsvraag beide gekoppeld zijn aan het aantal woningen en utiliteitsgebouwen.

De totale woningvoorraad in Leidschendam-Voorburg heeft momenteel een elektriciteitsvraag van 325 TJ per jaar en alle utiliteitsgebouwen samen hebben een elektriciteitsvraag van 331 TJ per jaar. In totaal komt dit uit op een jaarlijkse elektriciteitsvraag van 657 TJ (peiljaar 2018).

Figuur 6 - Huidige elektriciteitsvraag woningen en utiliteit per buurt



2.2.3 Vervoer

Op dit moment (peildatum 2018) hebben de inwoners van Leidschendam-Voorburg gezamenlijk 35.180 personenauto. Dit is gemiddeld 1,0 auto per huishouden. Van deze auto's rijden er 30.460 op benzine en 4.720 op overige brandstof (CBS, 2018). Onder overige brandstof gaat het bij personenauto's voornamelijk om dieselauto's en elektrische auto's (zowel hybride als volledig elektrisch). Met deze personenauto's wordt gemiddeld 12.984 km per jaar gereden (CBS, 2019). Daarnaast bezitten huishoudens in Leidschendam-Voorburg in totaal 2.295 motorfietsen. Het energiegebruik van de auto's in het bezit van inwoners in Leidschendam-Voorburg is jaarlijks zo'n 1.087 TJ.

2.3 Energievraag 2050

De gemeente Leidschendam-Voorburg streeft naar CO₂-neutraal in 2050 (Gemeente Leidschendam-Voorburg, 2020). Om dit te bereiken wil de gemeente gebruikmaken van de triasenergetica: eerste energie besparen, dan duurzame energie opwekken en ten slotte zo efficiënt mogelijk gebruik maken van energiebronnen. Om te bepalen hoeveel energie er nog nodig is voor het verwarmen van de woningen en utiliteitsgebouwen in 2050, wordt eerst gekeken naar de gebouwvoorraad in 2050 en vervolgens naar de warmtevraag van deze gebouwen na de beoogde besparing. Hiervoor sluiten we aan bij het uitgangspunt van de gemeente, te weten 'De basis voor de energiestrategie is het isoleren van woningen tot gemiddeld een label B zodat ze geschikt zijn voor lage temperatuur verwarmingssystemen. Hiermee beoogt de gemeente de kwaliteit van de woningen te verbeteren en de warmtevraag te reduceren.'

2.3.1 Warmte

In Figuur 7 is de toekomstige warmtevraag per buurt gegeven. Voor het inschatten van de toekomstige woningvoorraad worden de gemeentelijke nieuwbouwprognoses omtrent nieuwbouw, renovatie en sloop meegenomen. Daarnaast wordt als uitgangspunt meegenomen dat alle woningen in een buurt naar gemiddeld label B worden geïsoleerd, zie Bijlage A. Voor utiliteit is het uitgangspunt dat de huidige utiliteitsgebouwen ook in 2050 nog gebruikt worden. Daarnaast wordt alle utiliteit gemiddeld per buurt naar schillabel B geïsoleerd, zie Bijlage A.¹ Voor monumentale panden kan het lastig zijn om naar schillabel B te isoleren en brengt dit vaak hoge kosten met zich mee. Deze panden staan vooral in de oude stads-/dorpskernen, maar maken in totaal in geen van de buurten meer dan 25% uit van het totaal aantal panden in de buurt.

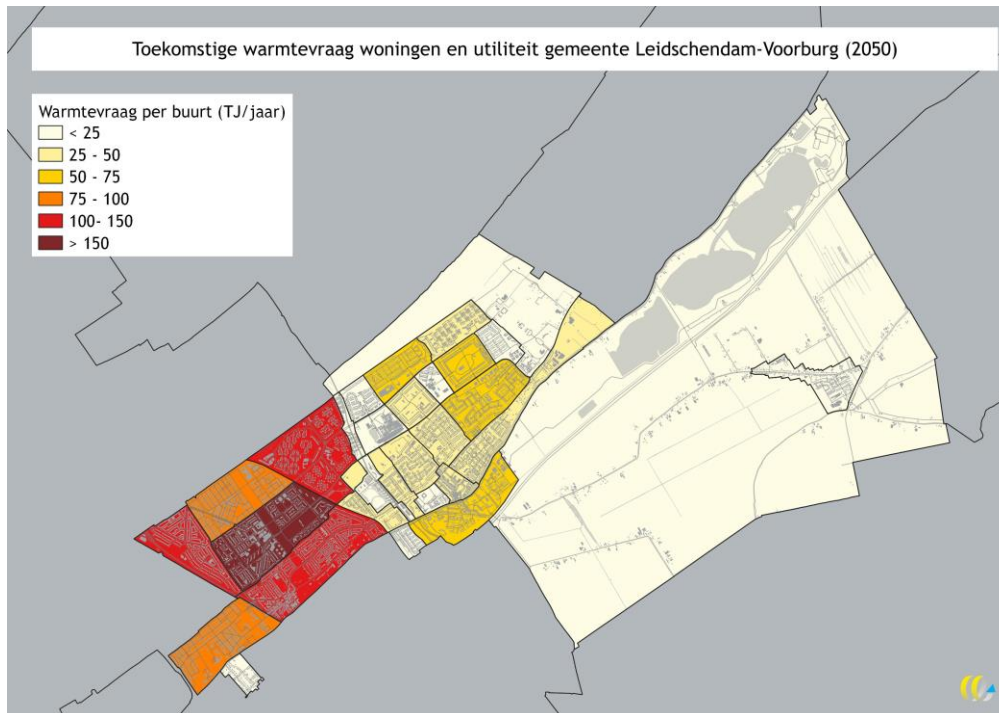
Wanneer alle panden in Leidschendam-Voorburg gemiddeld naar schillabel B worden geïsoleerd, zal de warmtevraag, met in achtneming van een kleine stijging door de nieuwbouwplannen, met zo'n 21% afnemen. Dit is een stuk minder dan de beoogde 35% besparing waar Leidschendam-Voorburg op inzet. Wanneer de gemeente dit wilt realiseren, zal er nog steviger geïsoleerd moeten worden. Wanneer er naar gemiddeld energielabel A wordt geïsoleerd, zal de besparing van de gebouwde omgeving ongeveer uitkomen op 35%.

De totale toekomstige warmtevraag van de woningvoorraad in 2050 in Leidschendam-Voorburg zal naar verwachting rond de 1.211 TJ per jaar liggen. Voor utiliteitsbouw is dit 164 TJ per jaar. In totaal komt dit uit op een jaarlijkse warmtevraag van 1.375 TJ.

¹ Per 1 januari 2023 moet elk kantoorgebouw minimaal energielabel C hebben. De verwachting is dat de eisen naar 2050 strenger gaan worden, ook voor andere typen utiliteitsgebouwen.

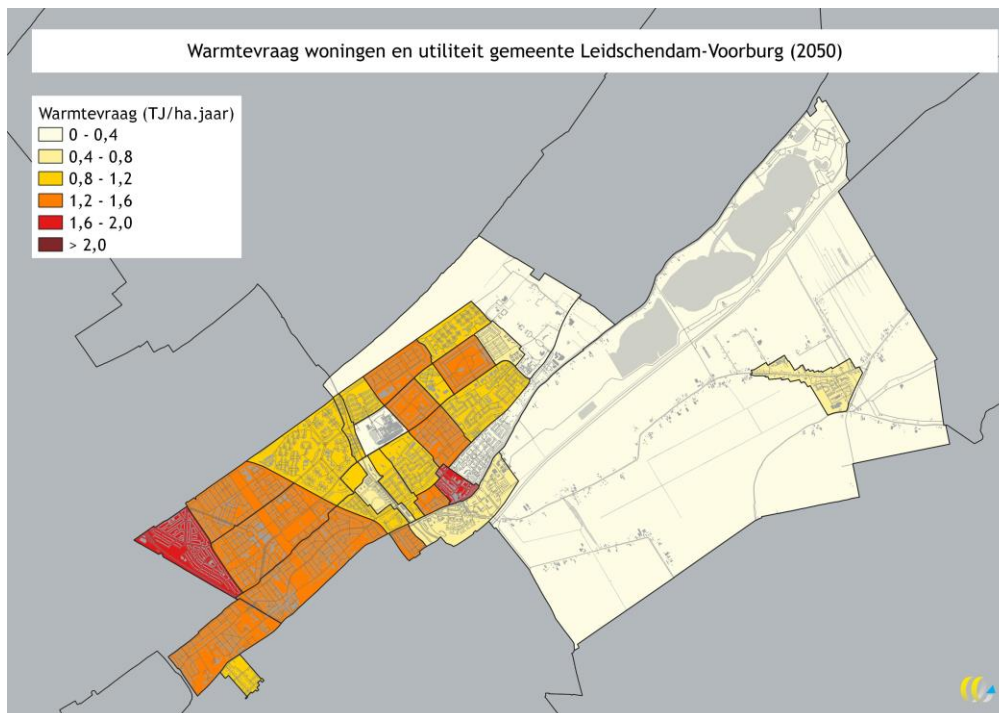


Figuur 7 - Toekomstige warmtevraag woningen en utiliteit per buurt



Ook hier hebben we voor het volledige beeld ook een kaartje toegevoegd van de toekomstige warmtevraag per hectare, zie Figuur 8.

Figuur 8 - Toekomstige warmtevraag woningen en utiliteit per hectare



2.3.2 Elektriciteitsvraag van gebouwen

Voor de elektriciteitsvraag van woningen in 2050 wordt gekeken naar de beoogde aanpassing in gebouwenvoorraad komende jaren. Er wordt vanuit gegaan dat de elektriciteitsvraag voor apparatuur en verlichting per woning gelijk blijft aan de huidige vraag. De elektriciteitsvraag kan wel sterk toenemen wanneer elektriciteit zal worden gebruikt voor het invullen van de warmtevraag. Dit kan door gebruik te maken van een volledig elektrische warmtepomp of van een hybride warmtepomp, waarbij een hr-ketel wordt gecombineerd met een elektrische warmtepomp. Voor het bepalen van de extra elektriciteitsvraag, wordt uitgegaan van de volgende rendementen.

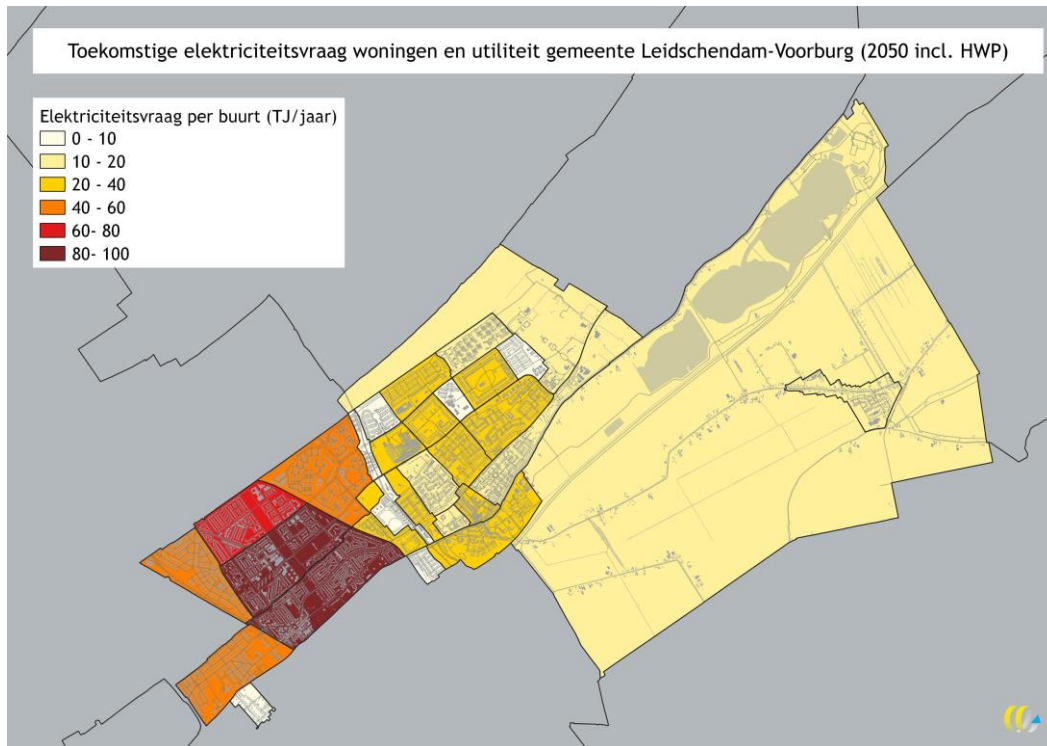
Tabel 1 - Aandeel en COP-warmtepompen bij schillabel B

Type warmtepomp	Onderdeel	Aandeel warmtepomp	Rendement (COP)
Volledig elektrische warmtepomp	Ruimteverwarming	100%	4,0
Volledig elektrische warmtepomp	Verwarming tapwater	100%	2,3
Hybride warmtepomp	Ruimteverwarming	59%	4,0
Hybride warmtepomp	Verwarming tapwater	0%	2,3

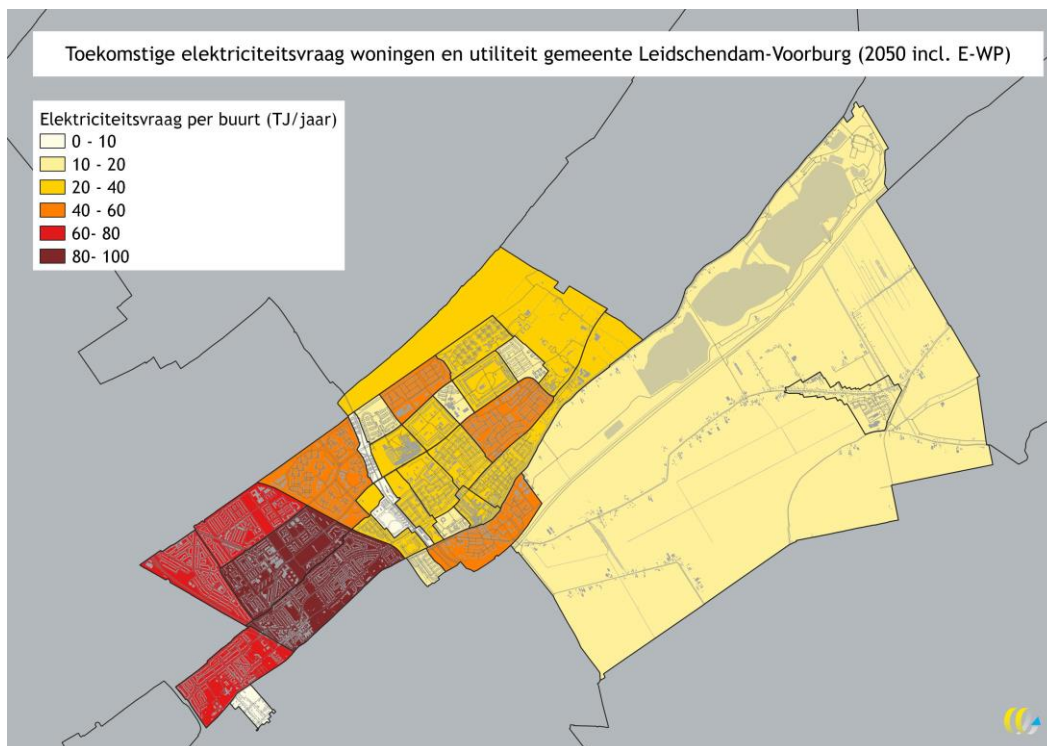
De toekomstige elektriciteitsvraag wanneer woningen en utiliteit geen gebruik gaan maken van elektriciteit voor het verwarmen van hun gebouwen, is nagenoeg gelijk aan de huidige elektriciteitsvraag. In onderstaande kaartjes wordt een beeld gegeven van de mogelijke totale elektriciteitsvraag wanneer wel (voor 100%) over wordt gegaan op verwarmen met behulp van elektriciteit. Het is niet aannemelijk dat elke buurt wordt verwarmd met elektriciteit. Dit is enkel om per buurt te kijken wat er gebeurt met het elektriciteitsgebruik bij overstap op een warmtepomp.

Als, in het theoretische geval, in alle woningen en utiliteitsgebouwen in Leidschendam-Voorburg een hybride warmtepomp wordt gebruikt in 2050, neemt de elektriciteitsvraag toe met 165 TJ per jaar. Als, in het theoretisch geval, in alle woningen en utiliteitsgebouwen in Leidschendam-Voorburg een volledig elektrische warmtepomp wordt gebruikt in 2050, neemt de elektriciteitsvraag met 389 TJ per jaar toe.

Figuur 9 - Toekomstige elektriciteitsvraag per buurt wanneer alle woningen en utiliteit overstappen op het verwarmen met behulp van een hybride warmtepomp



Figuur 10 - Toekomstige elektriciteitsvraag per buurt wanneer alle woningen en utiliteit overstappen op het verwarmen met behulp van een volledig elektrische warmtepomp



2.3.3 Elektriciteitsvraag van vervoer

Bij een klimaatneutrale energievoorziening hoort ook een klimaatneutrale transportsector. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat het doel voor mobiliteit is om in 2050 geen emissies meer uit te stoten. Dit betekent voor personenvervoer dat alles geëlektrificeerd zal zijn of op waterstof zal rijden. De verwachting is dat de elektrificatie van personenvervoer doorzet en dat alle auto's in 2050 elektrisch zijn. In het geval een deel van de auto's op waterstof rijdt, is daar ook extra elektriciteit voor nodig.

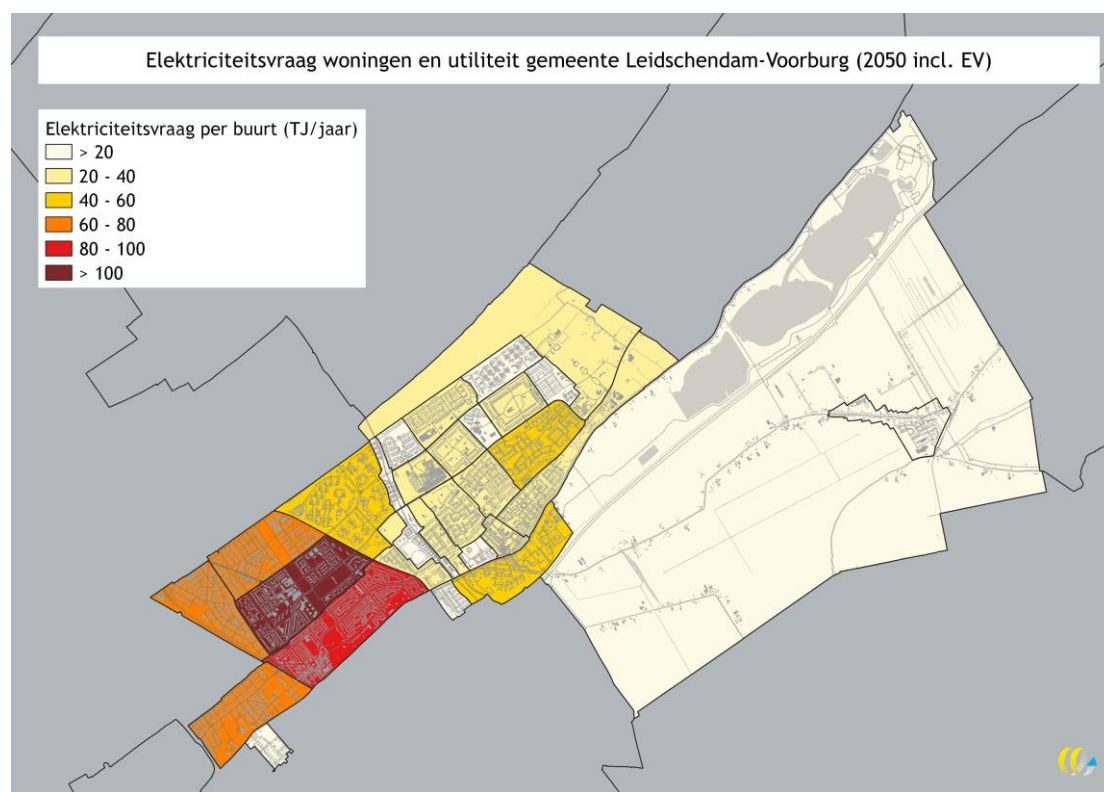
In deze rapportage bepalen we de extra elektriciteitsvraag per buurt wanneer alle personenauto's in 2050 elektrisch zijn. De uitgangspunten die we hierbij hanteren zijn:

- Het aantal auto's is gelijk aan het huidige aantal auto's. Er wordt een correctie gemaakt in buurten met een toename van het aantal woningen, aan de hand van het gemiddeld aantal auto's per woning in die buurt.
- Het gemiddeld aantal km's dat de auto's in 2050 rijden is gelijk aan het aantal km's dat auto's nu gemiddeld rijden. Dit gemiddelde is 12.984 km per jaar.
- Het verbruik van elektrische auto's gaat per gereden km iets omlaag in 2050 ten opzichte van nu. Het huidige verbruik ligt rond de 0,8 MJ per km. Voor 2050 gaan we uit van 0,7 MJ/km.

De totale elektriciteitsvraag als gevolg van de volledige elektrificatie van het personenvervoer, zorgt voor een extra elektriciteitsvraag van 349 TJ per jaar. Dit energieverbruik is ongeveer 68% lager dan het huidige energieverbruik van personenauto's in het bezit van inwoners van de gemeente.

De scope van de energievraag van mobiliteit is anders dan in voorgaande onderzoeken die zijn uitgevoerd voor de gemeente. In dit onderzoek wordt uitgegaan van een bottom-up-benadering. Er wordt gekeken naar de energievraag van de inwoners van de gemeente, in plaats van de uitstoot die binnen de gemeentegrenzen plaatsvindt (inclusief transitverkeer). Het is voor een gemeente gemakkelijker om te sturen op het omlaag brengen van de uitstoot van haar inwoners, dan de uitstoot die plaatsvindt op de wegen binnen de gemeente. De gemeente kan elektrisch vervoer bijvoorbeeld stimuleren door veel laadpalen neer te zetten, maar kan daarmee niet voorkomen dat er benzineauto's over het grondgebied blijven rijden. In Figuur 11 is de elektriciteitsvraag weergegeven per buurt, inclusief elektrisch vervoer.

Figuur 11 - Toekomstige elektriciteitsvraag per buurt inclusief elektrisch vervoer, zonder extra elektriciteitsvraag ten behoeve van warmtepompen



2.3.4 Totale elektriciteitsvraag

De totale elektriciteitsvraag in 2050 voor de gebouwde omgeving in Leidschendam-Voorburg bestaat, zoals gedefinieerd binnen dit onderzoek, uit de elektriciteitsvraag van de woningen en utiliteitsgebouwen en auto's van de inwoners van Leidschendam-Voorburg. In Tabel 2 is weergegeven wat de elektriciteitsvraag is van de verschillende onderdelen. De elektriciteitsvraag van de hybride warmtepomp en elektrische warmtepomp zijn maximale waarden, die bereikt zouden worden wanneer de hele stad op deze techniek over gaat.

Tabel 2 - Elektriciteitsvraag in 2050 van verschillende onderdelen

Onderdeel	TJ/jaar
Apparatuur en verlichting	638
Hybride warmtepomp (in 100% van de woningen en utiliteit)	165
Volledig elektrische warmtepomp (in 100% van de woningen en utiliteit)	389
Elektrische auto's (100% van de personenauto's)	349

De maximale geschatte elektriciteitsvraag van de gemeente Leidschendam-Voorburg in 2050 is 1.376 TJ per jaar, in het geval alle gebouwen in de stad gebruik gaan maken van een volledig elektrische warmtepomp. Indien geen van de gebouwen gebruik gaat maken van een warmtepomp, komt het elektriciteitsgebruik op 987 TJ per jaar. Het is aannemelijk dat een deel van de woningen en utiliteitsgebouwen gebruik zal gaan maken van een warmtepomp, maar niet allemaal. Het is nog niet bekend hoeveel woningen over gaan schakelen op

een warmtepomp, warmtenet of andere duurzame techniek. Bovenop de geschatte elektriciteitsvraag in 2050 komt er nog wat extra elektriciteitsvraag bij wanneer gebruik wordt gemaakt van een LT-net, omdat de watertemperatuur hiervan niet hoog genoeg is voor het verwarmen van tapwater en vaak ook niet voor het verwarmen van woningen. Met een elektrische warmtepomp kan de temperatuur van het water worden verhoogd. De toekomstige elektriciteitsvraag zal, afhankelijk van de toekomstige warmtevoorziening, ongeveer een verdubbeling zijn van de huidige elektriciteitsvraag, net zoals genoemd in de Uitgangspuntennotitie.

De totale, in dit onderzoek berekende, elektriciteits- en warmtevraag in 2050 is moeilijk te vergelijken met waarden uit voorgaande onderzoeken van de gemeente, omdat de scope anders is. In dit onderzoek is industrie buiten beschouwing gelaten. Dit vormt geen onderdeel van de Transitievisie Warmte. Daarnaast zijn hiervan op buurtniveau geen data bekend. Ook is de energievraag van mobiliteit anders bepaald dan in eerdere onderzoeken van de gemeente, zie Paragraaf 2.3.3.

3 Energie uit zon

3.1 Inleiding

De gemeente zet zich al jaren in voor het vergroten van de energie-opwek uit zonnepanelen. In dit hoofdstuk wordt weergegeven hoeveel potentieel er binnen de gemeente is voor energie-opwek uit zon. Hierbij gaat het om elektriciteitsopwekking uit zonnepanelen, maar ook warmte-opwek met zonneboilers en pvt-systemen, die zowel elektriciteit als warmte opwekken. De verschillende mogelijkheden die worden belicht zijn:

- Zon-pv:
 - daken;
 - gevels;
 - geluidsschermen;
 - asfalt.
- Zonthermie;
- Pvt-systeem.

3.2 Zon-pv op daken

3.2.1 Criteria zon op daken

Zonnepanelen (ook wel fotovoltaïsche of pv-panelen) zetten zonne-energie om in elektriciteit. Zonne-energie kan ook worden gebruikt voor de opwek van warmte met behulp van zonneboilers. Voor het toepassen van zonnepanelen of zonneboilers op daken is het van belang te letten op diverse criteria. De belangrijkste criteria worden hieronder op een rijtje gezet, met daarbij vermeld hoe wij deze criteria meenemen in de potentieel-berekening. Meer uitleg over de gebruikte methodes volgt verderop in dit hoofdstuk.

- Oriëntatie van de panelen
De opbrengst van zonnepanelen is het grootst als ze onder een ideale hoek (35 à 40 graden) op het zuiden gericht liggen. Bij ligging op het oosten of westen is de opbrengst bij deze hellingshoek ongeveer 20% lager en op het noorden is die 45% lager. Binnen de berekening van het potentieel, wordt in dit onderzoek rekening gehouden met de oriëntatie, door dit mee te nemen in de gemiddelde factor van het percentage dakoppervlak dat geschikt is voor zonnepanelen en de opbrengst van de panelen.
- Schaduwworming op de panelen
Zonnepanelen behalen het hoogste rendement wanneer ze niet in de schaduw liggen. Schaduwworming kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld aan dakkapel of het dak van een andere woning. Daarnaast kunnen nabije bomen de opbrengst van zonnepanelen omlaag brengen. Binnen dit onderzoek hebben we gekeken naar de invloed van bomen op de opbrengst van zonnepanelen. Dit hangt vooral af van de afstand van de bomen tot het gebouw, de relatieve hoogte van de bomen en het gebouw, het seizoen en de oriëntatie. Voor Leidschendam-Voorburg hebben we een kaart met alle bomen ingeladen in GIS en een schaduw van 5 meter ten noorden van deze bomen getrokken. Vervolgens hebben we kwalitatief bekeken hoeveel schaduw hierdoor op de daken valt. Hieruit is gebleken dat voor enkele rijen daken de schaduw van bomen een invloed zal hebben op de opbrengst van zon-pv. Dit is vooral het geval bij lage woningbouw. Over het algemeen geldt echter dat de bomen voldoende afstand hebben tot de



gebouwen en dat de verwachting is dat de bomen weinig impact hebben op de totale opbrengst van zon-pv op daken per buurt. Op woningniveau is het wel belangrijk om de bomen in de buurt van een dak mee te nemen, maar voor de buurtberekening is het meegenomen in de algemene factor van het te gebruiken dakoppervlak voor zon-pv. Daarnaast zullen er soms bomen tussen nu en 2050 worden gekapt of worden gesnoeid waardoor de schaduwwerking op zonnepanelen wordt verminderd. Ook kunnen er op andere plaatsen nieuwe bomen worden geplant.

- De dakconstructie
In de meeste gevallen is een dakconstructie sterk genoeg om zonnepanelen of een zonneboiler te dragen, zeker als het gaat om schuine daken. Bij platte daken is het wel belangrijk om te letten op de sterkte. Bij voldoende sterkte kunnen de panelen los gelegd worden met gewichten zoals betontegels als ballast. Bij onvoldoende sterkte kunnen de panelen mogelijk aan het dak of een aparte draagconstructie bevestigd worden. Voor het berekenen van het potentieel wordt er in dit onderzoek vanuit gegaan dat alle daken sterk genoeg zijn voor het dragen van zonnepanelen.
- Restricties voor het plaatsen van panelen vanuit beleid
Een deel van de woningen en gebouwen in de gemeente Leidschendam-Voorburg heeft een beschermd status. Op deze panden is het niet zomaar mogelijk om zonnepanelen of boilers te plaatsen. Binnen dit onderzoek wordt rekening gehouden met monumentale panden of panden die vallen onder beschermd stads- en dorpsgezicht, zie Figuur 12 voor de locaties van deze panden.

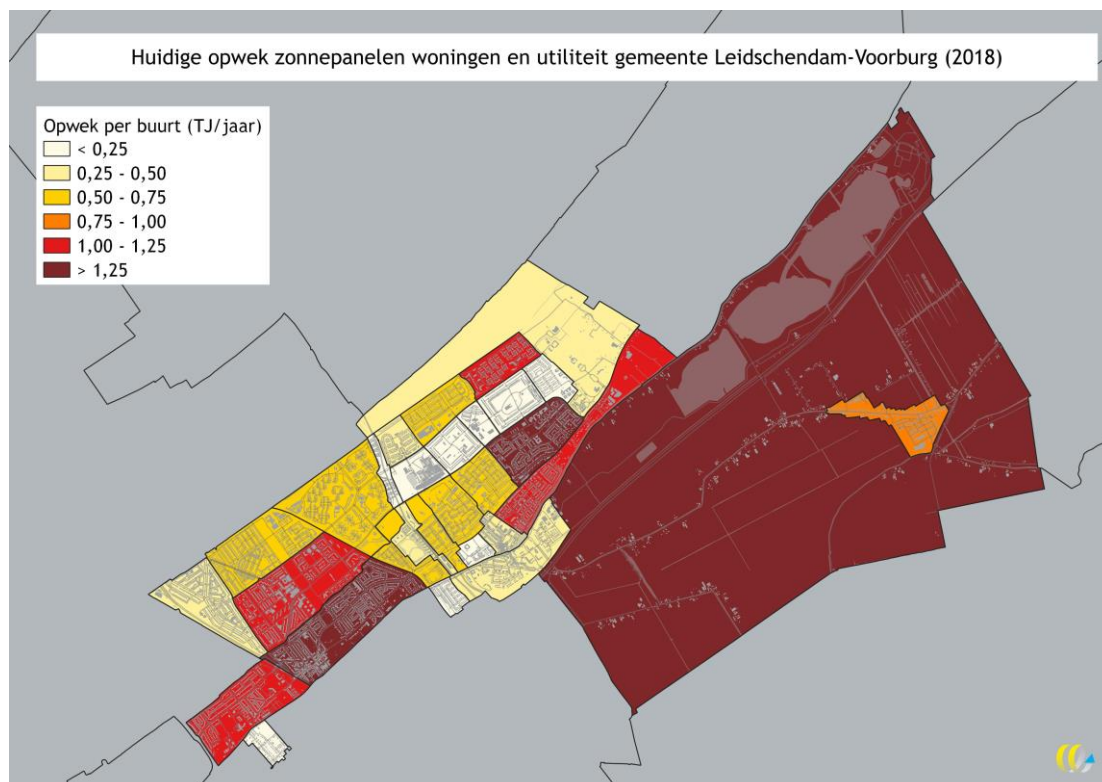
Figuur 12 - Locaties van monumentale panden of panden die vallen onder beschermd stadsgezicht



3.2.2 Huidige opwek zon-pv op daken

De gemeente heeft data aangeleverd van de locaties en het aantal zonnepanelen dat is geplaatst in de gemeente tot en met 2018. In totaal zijn tot dan toe ruim 19.000 zonnepanelen geplaatst. Voor het berekenen van de jaarlijkse opbrengst gaan we uit van een gemiddeld vermogen van 270 Wattpiek per paneel en een opbrengst van 0,88 kilowattuur per wattpiek (solarmagazine.nl). In Figuur 13 is te zien hoeveel elektriciteit er momenteel jaarlijks wordt opgewekt met deze zonnepanelen per buurt.

Figuur 13 - Huidige opwek met zonnepanelen op daken (2018)



De totale huidige opwek aan zon-pv in de gemeente, met zonnepanelen geplaatst tot en met 2018, is 4,5 GWh per jaar, ofwel 16,3 TJ per jaar. Dit is 2,5% van de huidige elektriciteitsvraag van woningen en utiliteit samen, zoals bepaald in Hoofdstuk 2.

3.2.3 Potentiële opwek

Voor het berekenen van het potentieel aan elektriciteit op daken, is er een onderscheid gemaakt tussen kleine (< 15 kWp per dak) en grote daken (> 15 kWp per dak), omdat dit onderscheid ook wordt gemaakt in de RES. Installaties van meer dan 15 kWp worden gezien als grootschalige opwek van zon en kunnen binnen de RES worden meegeteld in de doelstelling uit het klimaatakkoord van 35 TWh opwek aan zon-pv in 2035.

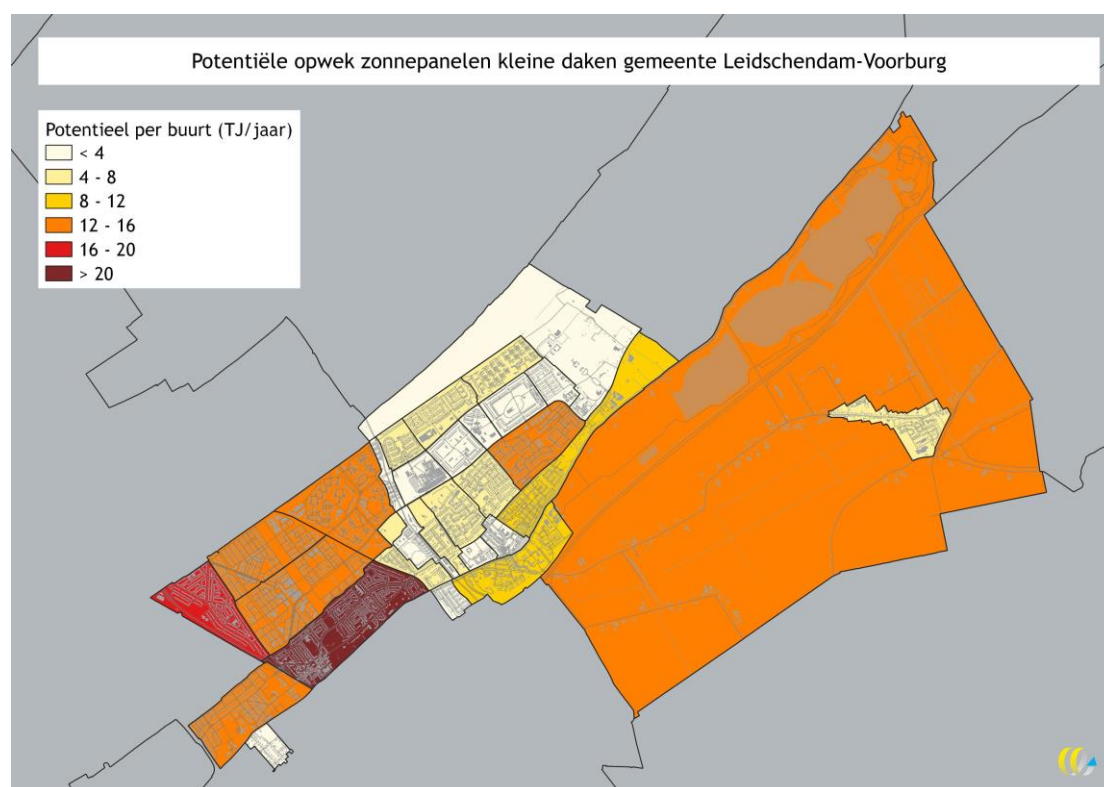
Om te bepalen wat het potentieel per buurt is binnen de gemeente Leidschendam-Voorburg, is gebruik gemaakt van de NPRES-kaart waarin alle gebouwen zijn ingetekend. Er is uitgegaan van de huidige gebouwvoorraad. Op basis hiervan is bepaald wat het vloeroppervlak van de panden is. Er is aangenomen, net als binnen de berekenen voor de

NPRES-kaarten, dat het grondoppervlak gelijk is aan het dakoppervlak. Ook wordt hetzelfde type gebouwen meegenomen, namelijk woningen, utiliteitsbouw, industrie en landbouw. In de berekeningen is rekening gehouden met de verschillende daktypes. Voor kleine daken wordt een benuttingspercentage (het percentage van dakoppervlak wat benut kan worden voor zon-pv) aangehouden van 25%. Hierbij is het uitgangspunt dat kleine woningen schuine daken hebben. Ook is in dit gemiddelde percentage rekening gehouden met de oriëntatie van daken, die niet altijd optimaal is, en eventuele schaduwwerking door bijvoorbeeld bomen. Voor grote daken wordt een benuttingspercentage aangehouden van 30%. Voor monumentale panden of panden die vallen onder beschermd stads- en dorpsgezicht, gaan we uit van een benuttingspercentage van 12,5%.

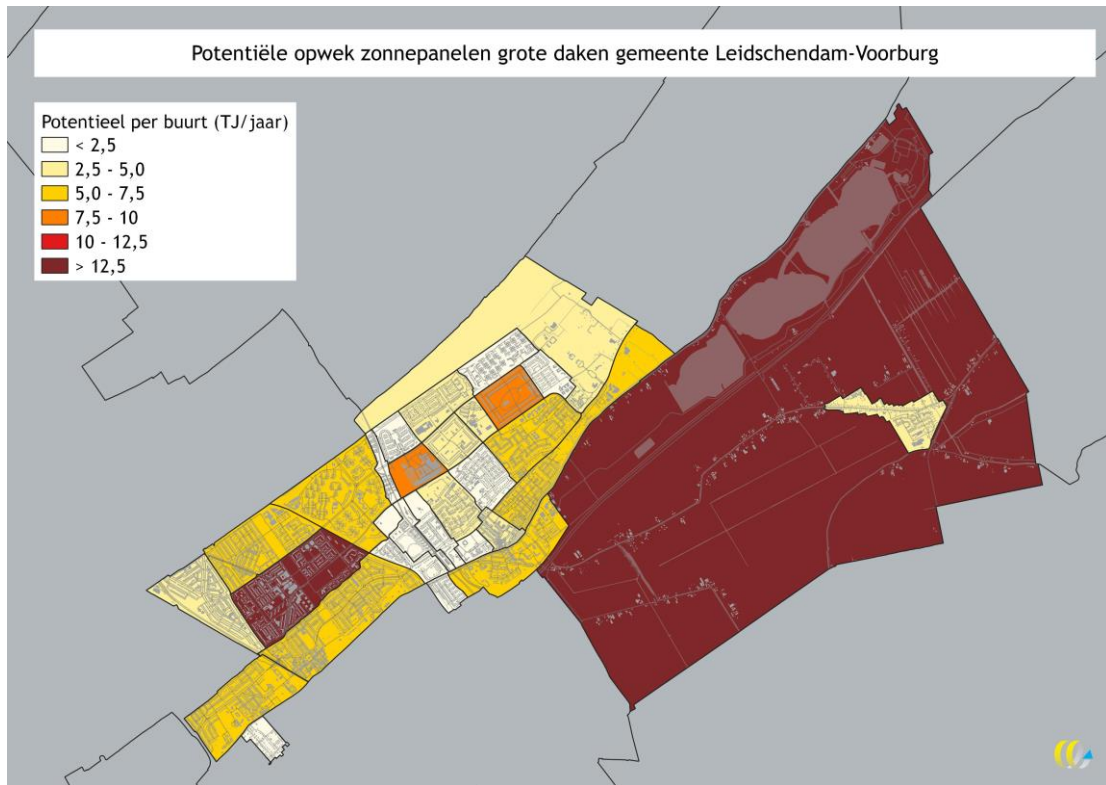
Verder sluiten we ook aan op de berekeningswijze van de NPRES Analysekaarten wat betreft de opwek. Voor zon-pv gaan we uit van een opbrengst van 153 KWh/m², 0,55 GJ/m² en een vermogen van 202 Wp/m². Dit zijn gemiddelde opbrengsten: in werkelijkheid varieert de opbrengst onder andere met de oriëntatie (noord, oost, zuid, west). Panelen met een oriëntatie op het zuiden hebben de hoogste opbrengst.

Figuur 14 toont de potentiële opbrengst van zon-pv op kleine daken per buurt. Figuur 15 toont de potentiële opbrengst van zon-pv op grote daken. Figuur 16 toont het totale potentieel aan opbrengst uit zon-pv van zowel kleine als grote daken.

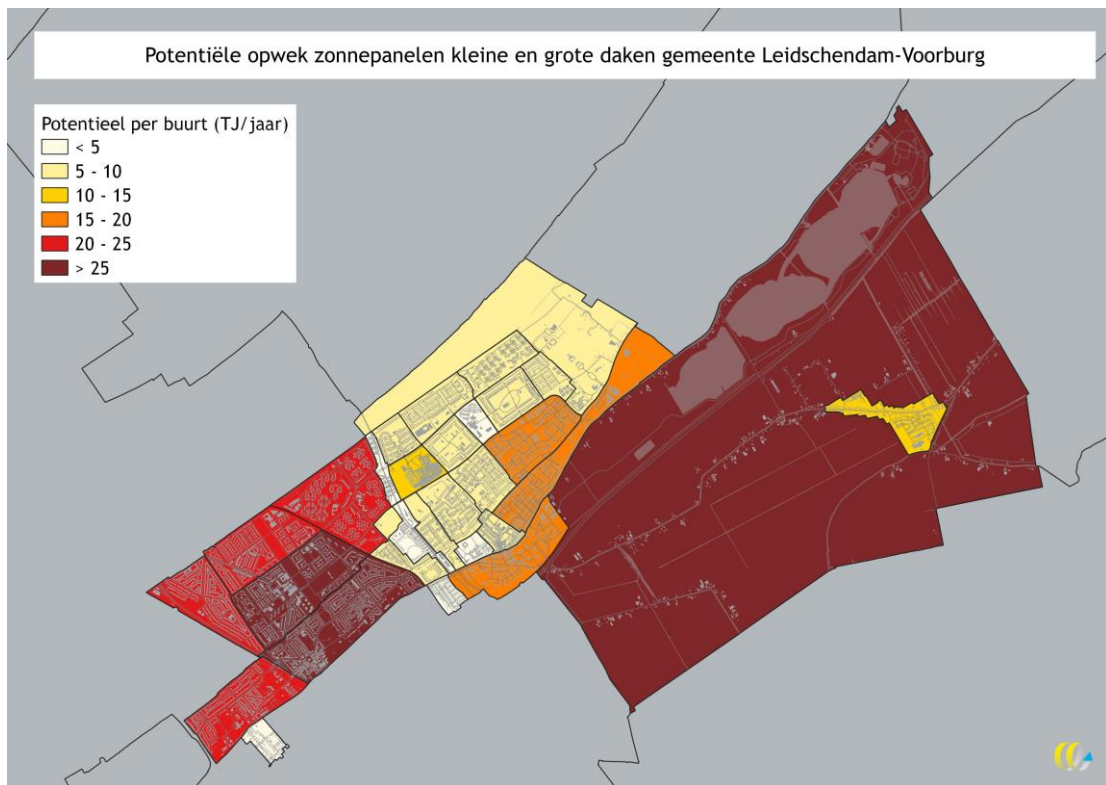
Figuur 14 - Potentiële opbrengst zonnepanelen kleine daken



Figuur 15 - Potentiële opbrengst zonnepanelen grote daken



Figuur 16 - Potentiële opbrengst zonnepanelen kleine en grote daken



In totaal is het potentieel van zon-pv op daken, zowel klein als groot, in de gemeente Leidschendam-Voorburg 98 GWh per jaar, oftewel 352 TJ per jaar. Dit is 56% van de huidige elektriciteitsvraag van woningen en utiliteit samen. Deze 352 TJ per jaar komt nagenoeg overeen met de in de startnotitie genoemde 360 TJ per jaar. De verdeling van het berekende potentieel over de verschillende gebouwfuncties, is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 - Verdeling potentieel zon-pv op daken over verschillende functies van gebouwen

Functie	Opwek (TJ/jaar)	Percentage opwek
Woningbouw	228	65%
Utiliteit	62	18%
Industrie	23	6%
Landbouw	19	5%
Overig	10	3%
Onbekend	9	3%

Wanneer de elektriciteitsvraag toeneemt als gevolg van de toename van warmtepompen en elektrisch vervoer, zal er meer duurzame elektriciteit moeten worden opgewekt. Met het huidige potentieel aan zon-pv, zal een kleiner deel van de vraag kunnen worden opgewekt. Wel is de verwachting dat de vermogensdichtheid van zonnepanelen in 2050 hoger zal zijn dan nu. De stijging van de vermogensdichtheid, en daarmee de opbrengst van elektriciteit, zal rond de 50% liggen bij zonnepanelen op daken (SEAC ; UU ; TKI Urban Energy, 2017). Het berekende potentieel van 352 TJ per jaar is hiermee naar verwachting een onderschatting van het potentieel in 2050. Wanneer de verwachte stijging van de vermogensdichtheid mee wordt genomen, ligt het potentieel van zon-pv op daken in 2050 rond de 530 TJ per jaar. Dit is 39% tot 54% van de totale elektriciteitsvraag van woningen en utiliteitsgebouwen in 2050 (inclusief mobiliteit), afhankelijk van het gebruik van warmtepompen.

3.3 Zon-pv op gevels

Het potentieel voor opwekking van elektriciteit met behulp van zon-pv op gevels is lastiger te bepalen dan dat op daken. Gevels zijn erg verschillend, met een zeer uiteenlopend percentage aan oppervlakte ramen. Daarnaast zijn zonnepanelen op gevels veel zichtbaarder dan die op daken. Het verandert het straatbeeld, wat niet iedereen op prijs stelt. Daarentegen kan het, zeker wanneer gebruik wordt gemaakt van kopgevels, wel een significante bijdrage leveren aan het totale potentieel aan opwekking met zon-pv. In dat geval gaat het vooral om hoge panden, zoals flats of kantoorgebouwen.

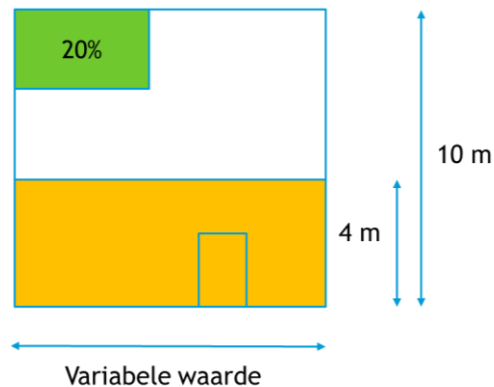
Voor het bepalen van het potentieel binnen deze studie, wordt aangesloten op de methodiek van de NPRES. Hierin is bepaald dat het oppervlak van zon-pv op gevels geschat kan worden op basis van de volgende aannamen:

- 50% van de gevels is geschikt voor zon-pv (vanwege oriëntatie);
- de onderste 4 meter (plint) van een pand is niet geschikt voor zon-pv;
- van het overige oppervlak is gemiddeld 20% geschikt (voornamelijk vanwege ramen).

Vanuit de oppervlaktes van alle gebouwen hebben we bepaald wat de breedte van de gevels is. De hoogte van kleine woningbouw is geschat op 10 meter. Voor overige panden is dit 12 meter. Hier zit hoogbouw tussen, maar ook veel laagbouw. Voor de opbrengst van zon-pv op gevels hebben we gerekend met 0,21 GJ/m² (CE Delft en Generation.Energy, 2019).



Figuur 17 - Aandeel van een gevel dat verondersteld wordt als geschikt voor zon-pv



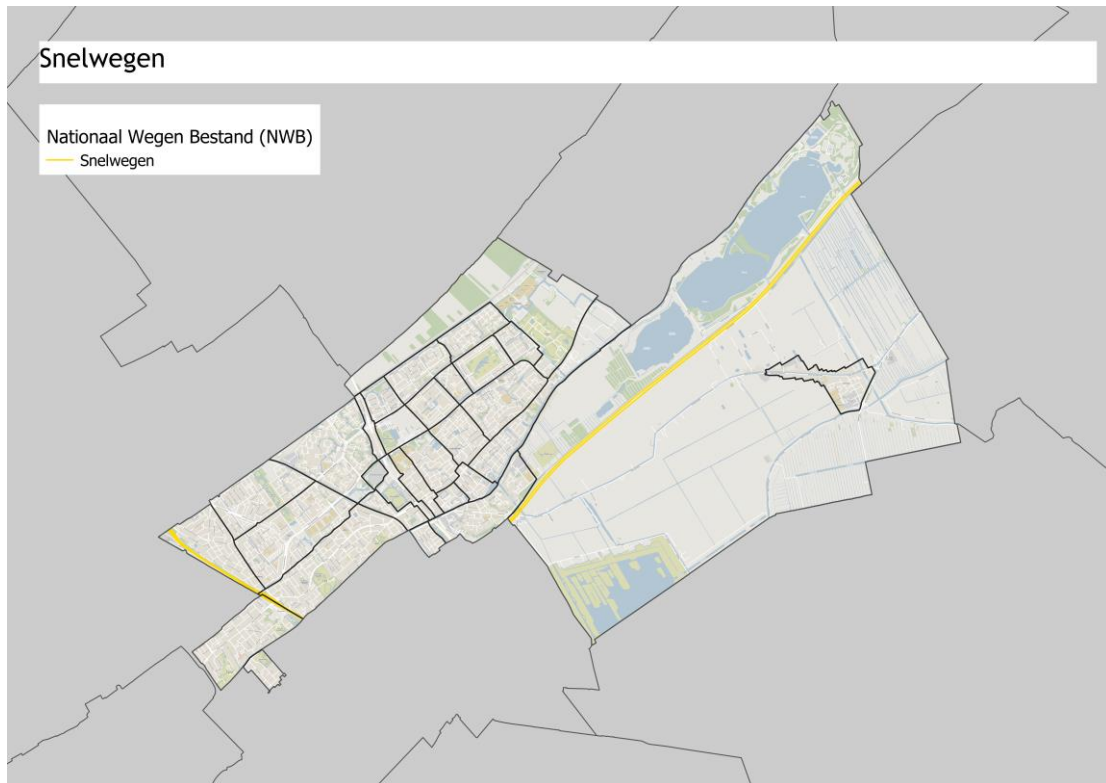
Met behulp van deze methodiek komt het totaal potentieel van zon op gevels voor de gehele gemeente op 18 TJ per jaar. Dit is slechts 3% van de huidige elektriciteitsvraag. Wanneer voor dit potentieel ook de verwachte stijging in vermogensdichtheid naar 2050 toe wordt meegenomen, komt dit potentieel op 27 TJ per jaar uit. Het is interessant om het potentieel nader te onderzoeken, zeker het potentieel op hoogbouw. Hiervoor moet nauwer op gebouwniveau worden gekeken naar de hoogte en het beschikbare percentage van de gevel voor zon-pv.

3.4 Zon-pv in geluidsschermen

Zon-pv in geluidsschermen is een andere vorm van multifunctioneel ruimtegebruik. Bij deze toepassing wordt zon-pv geïntegreerd in het geluidsscherm. Naast ruimtegebruik is hierdoor ook multifunctioneel materiaalgebruik mogelijk, omdat materialen zowel een geluidswerende als zonnepanelen kunnen hebben.

In de gemeente liggen twee snelwegen, de A4 in het oosten en de A12 in het zuidwesten van de gemeente, zie Figuur 18. Snelwegen zijn, naast spoorwegen, het meest geschikt om geluidsschermen langs te plaatsen. De A4 in de gemeente heeft een lengte van ongeveer 6,5 km en de A12 ongeveer 2,2 kilometer. Ervan uitgaande dat de panelen aan beide kanten van de weg geplaatst kunnen worden, komt dit op een totale lengte van 17,4 kilometer. De hoogte van geluidsschermen verschilt per situatie. Voor de potentieel te benutten hoogte van geluidsschermen voor zon-pv, sluiten we aan bij studie in Heiloo, waar uit wordt gegaan van een paneelhoogte van 5 tot 5,5 meter, waarbij de bovenste 4 meter benut kunnen worden voor zonnepanelen (Eerenstein, 2019). Als we ervan uitgaan dat 70% van dit oppervlakte benut kan worden en dat de opbrengst 0,21 GJ/m² is (CE Delft en Generation.Energy, 2019), levert dit een potentiële opbrengst van ongeveer 10 TJ per jaar op. Bij een verwachte stijging van de vermogensdichtheid van 50% naar 2050 toe, komt dit potentieel uit op 15 TJ per jaar.

Figuur 18 - Snelwegen binnen de gemeente Leidschendam-Voorburg



De toepassing van zon-pv in geluidsschermen brengt een aantal uitdagingen met zich mee (SEAC ; UU ; TKI Urban Energy, 2017). Allereerst is een goed ontwerp van belang waarbij materialen een multifunctionele rol hebben. Daarnaast speelt ook zelfbeschaduwing een rol. Anders dan bij zon op dak is er bij geluidsschermen weinig ruimte om een optimale benutbaarheid te behalen met betrekking tot schaduw, oriëntatie en het plaatsen onder een bepaalde hoek. Het minimaliseren van deze opbrengstverliezen en tegelijkertijd maximaliseren van dubbel materiaalgebruik is een uitdaging.

Vanwege de specifieke ligging van geluidsschermen (langgerekte panelen in plaats geclusterd op dak of in een veld) is het ook van belang dat het elektriciteitsnet deze specifieke ligging aankan. Een kans op dit gebied ligt in de ontwikkeling van panelen die aan beide kanten elektriciteit kunnen opwekken, zogenoemde tweezijdige of bifacial panelen. Deze panelen kunnen aan beide kanten energie opwekken. De opbrengst van deze panelen ligt in Nederland zo'n 15% hoger dan enkelzijdige panelen (PBL, 2019).

3.5 Zon-pv in asfalt

De combinatie van zon-pv en infrastructuur komt steeds meer onder de aandacht. Naast de integratie van zon-pv in geluidsschermen, is ook de integratie van zon-pv in het wegdek een oplossingsrichting. Aangezien het wegdek een behoorlijk oppervlak betreft, is dit een interessante optie.

Het belangrijkste aspect bij zon-pv in wegdek is dat er geen risico's ontstaan voor de primaire functie van wegdek. Van belang zijn het effect van weersomstandigheden, de rolweerstand en wrijving, en water op het wegdek (risico op aquaplaning). Tegelijkertijd zijn er meerdere partijen die de mogelijkheden onderzoeken, waaronder het project SolaRoad in Nederland en Solarroadways in de Verenigde Staten. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) onderzoekt de mogelijkheden van zon-pv op dijken en zoekt daarin ook de combinatie met zon-pv in asfalt en de buitenzijde van dijken (STOWA, 2018).

Voor de potentie van zon in wegdek in de gemeente sluiten wij aan bij de berekeningen van de NPRES Analysekaarten. Aangezien de toepassing van zon-pv in wegdek nog volop in de ontwikkelingsfase zit, zijn deze berekeningen een grovere schatting vergeleken met meer doorontwikkelde technieken, zoals zon-pv op dak. De resultaten dienen dan ook meer als een richtlijn wat mogelijk zou kunnen zijn dan een realistisch schatting.

De toepassing van zon-pv in het wegdek wordt in de Analysekaarten aangeduid met een kleine kans. Voor de berekening van de potentie is rekening gehouden met asfalt met een lichte belasting, zoals vluchtstroken en fietspaden buiten de bebouwde kom. Enkel de wegstukken die minimaal 1 kilometer lang zijn, wordt meegerekend als mogelijk potentieel, in verband met rentabiliteit van een project. Over dit wegdek is een benuttingspercentage van 25% genomen, en een opbrengst van 0,1 GJ/m². Volgens deze berekening is er 132.000 m² aan benutbaar oppervlak, wat resulteert in een potentiële opbrengst van 13,2 TJ per jaar. In vergelijking met de zon-pv op geluidsschermen is de potentie dus iets hoger. Het is echter wel een toepassing die nog volop in de ontwikkelingsfase zit en waarbij de onzekerheid veel hoger is dan bij de andere toepassingen. Bij de verwachte stijging van vermogensdichtheid naar 2050 toe, komt dit potentieel uit op zo'n 20 TJ per jaar.

3.6 Zonneboilers

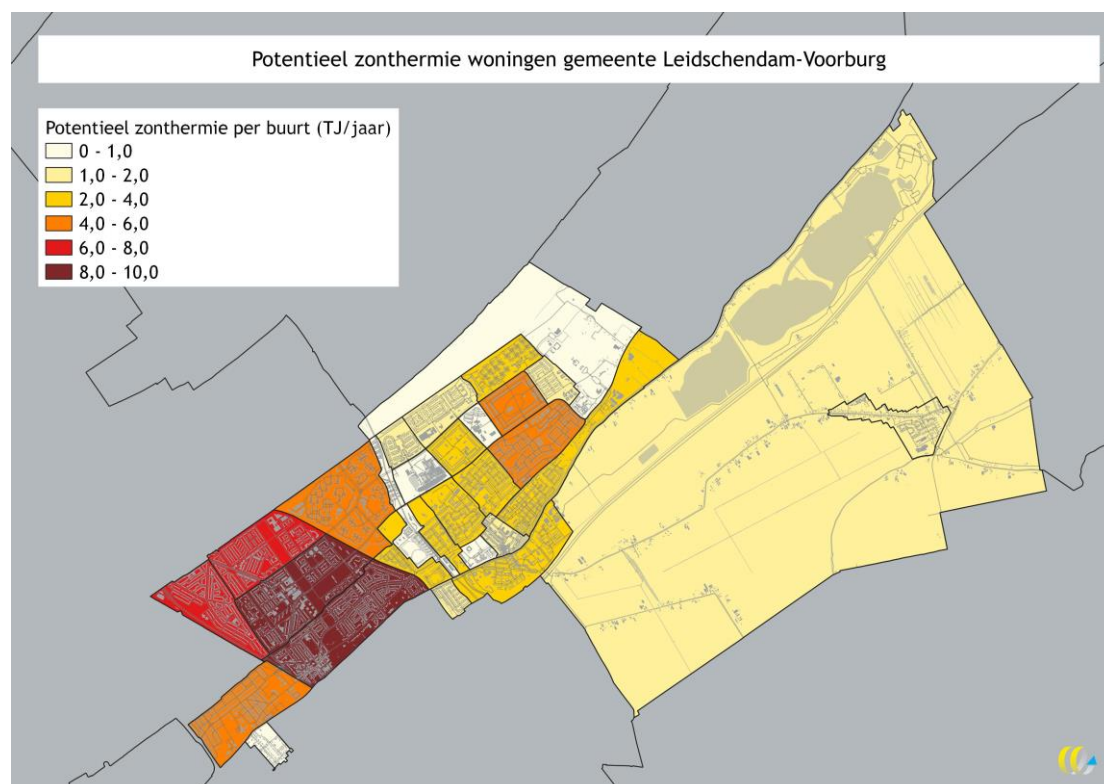
In plaats van het dak te gebruiken voor de opwek van elektriciteit, kan er ook voor worden gekozen om warmte op te wekken met behulp van zonneboilers. Deze warmte kan voornamelijk worden ingezet voor het verwarmen van tapwater. De warmte wordt namelijk voor een groot deel in de zomer opgewekt, wanneer er geen vraag is naar ruimteverwarming. De capaciteit van een zonthermisch-systeem wordt in Nederland over het algemeen ontworpen op het invullen van 50% van de vraag naar warm tapwater. Het bepalen van deze vraag gaat aan de hand van het aantal bewoners per woning. Gemiddeld genomen is hetzelfde dakoppervlak dat geschikt is voor zonnepanelen ook geschikt voor zonneboilers. Eerder is berekend hoeveel dakoppervlak er beschikbaar is voor woningen per buurt. Met behulp van CBS-data is bepaald hoeveel inwoners elke buurt heeft. Op basis hiervan kan het benodigde oppervlak worden bepaald waarmee 50% van het benodigde tapwater per buurt wordt ingevuld met zonneboilers op daken. Het voordeel van het combineren van zonneboilers met zonnepanelen, is dat de belasting op het elektriciteitsnet iets minder hoog is op de piekmomenten, terwijl er wel energie wordt opgewekt. Het nadeel van zonneboilers is dat wanneer er te veel warmte wordt opgewekt om te gebruiken, deze niet kan worden gebruikt voor andere doeleinden.² Een zonneboiler wordt wel gecombineerd met een opslagvat thuis, waardoor de warmte wel tijdelijk wordt opgeslagen.

² Dit zou wel kunnen indien zonneboilers worden gecombineerd met een warmtenet of wko, waardoor het overschot aan warmte kan worden gebruikt door iemand anders of op een later moment. Hier is niet naar gekeken binnen deze studie.



Een zonnecollector voor een huishouden, om 50% van de tapwatervraag mee te vullen, heeft een oppervlak van 2 m² tot 5 m², afhankelijk van het aantal bewoners. Voor het bepalen van het potentieel is per buurt bepaald hoeveel bewoners er gemiddeld per woning wonen. Er wordt vanuit gegaan dat 75% van de daken geschikt is om een zonneboiler op te plaatsen. Hiermee is bepaald hoeveel oppervlak er nodig is per buurt om het volledige potentieel te benutten. In Figuur 19 is de potentiële opbrengst van zonneboilers weer-gegeven per buurt.

Figuur 19 - Potentiële opbrengst zonneboilers op daken van woningen



De totale opbrengst van zonneboilers bij het benutten van het potentieel, is 84 TJ/jaar. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van zonneboilers, heeft dit invloed op het potentieel aan opwek met zonnepanelen. Bij het benutten van het totale potentieel aan opwek met zonthermie, wordt er gebruikgemaakt van 56.000 m² dakoppervlak. Bij zonnepanelen gaan we uit van een opbrengst van 0,55 GJ/m². Wanneer we het benutte oppervlak voor zonneboilers in mindering brengen voor het potentieel aan zonnepanelen, dan kan er met zon-pv 31 TJ/jaar minder worden opgewekt van de in totaal 213 TJ/jaar aan potentiële opwek van zon-pv op kleine daken. De opbrengst van een zonneboiler is dus per m² veel hoger dan dat van zonnepanelen. Daarnaast reduceren zonneboilers direct de inzet van aardgas. Dat doen pv-panelen niet en die zullen juist in de toekomst steeds minder CO₂ reduceren door een aflopende CO₂-intensiteit van elektriciteit. Het is niet bekend wat de stijging van het rendement van een zonneboiler is naar 2050 toe.

3.7 Pvt-panelen

Het grootste deel van de energievraag van de gebouwde omgeving bestaat uit warmte. Tegelijkertijd is er een groot potentieel om de benodigde energievraag (warmte en elektriciteit) uit zonne-energie op te wekken. De combinatie van de opwek van elektriciteit en warmte in één paneel wordt pvt (photovoltaïsch-thermisch) genoemd.

De warmte die wordt opgewekt in pvt-panelen is veelal laagtemperatuurwarmte (lager dan 55°C). Het gebruiken van deze warmte is vooral interessant voor gebouwen die goed geïsoleerd zijn en kunnen worden verwarmd met een laagtemperatuurafgiftesysteem. De opgewekte warmte uit de pvt-panelen kan worden gebruikt als input voor een warmtepomp en daarmee de buitenunit van een warmtepomp vervangen. De warmtepomp kan de warmte vervolgens opwaarderen tot het juiste temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. In sommige gevallen kan warmte uit pvt-panelen rechtstreeks gebruikt worden. De combinatie van pvt en (lucht)warmtepompen is de laatste jaren steeds populairder geworden, vooral omdat door innovatie de prijs is gedaald (SEAC ; UU ; TKI Urban Energy, 2017). Daarnaast zorgt ook de huidige isolatietrend en oplevering van goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen voor toename in de vraag naar pvt-systemen.

Er zijn twee belangrijke categorieën te onderscheiden in pvt-panelen: afgedekte en onafgedekte systemen. Bij onafgedekte panelen staat het paneel in direct contact met de buitenlucht, net als bij reguliere pv-panelen. Deze panelen hebben een lagere warmte-opbrengst, maar een hogere elektriciteitsopbrengst. Bij afgedekte panelen, ook wel zonne-collecteren genoemd, is er een extra transparante afdekking op het paneel geplaatst waardoor er geen direct contact met de buitenlucht is. Door de afdekkende laag ontstaat er een isolerende luchtlag die ervoor zorgt dat er minder warmte verloren gaat. Dit levert echter wel een lagere elektriciteitsproductie op.

De opbrengst hangt af van hoe het systeem geïnstalleerd is, waaronder de hellingshoek. Een ideaal opgesteld paneel heeft een hellingshoek van 30 graden. Bij een studie in Zoetermeer is gemeten wat de opbrengst is van geïnstalleerde pvt-panelen (Helden, et al., 2013). De berekende jaarlijkse opbrengst was 0,59 GJ/m² aan elektriciteit en 1,97 GJ/m² aan thermische energie bij een ideale opstelling. Wanneer in de gemeente Leidschendam-Voorburg het maximaal benutbare dakoppervlak wordt gebruikt voor pvt-panelen (gelijk aan het maximaal benutbare oppervlak voor reguliere zon-pv), kan er 639.000 m² aan pvt-panelen worden geïnstalleerd. Uitgaande van de opbrengsten uit de studie in Zoetermeer, levert dit een technisch potentieel op van 377 TJ elektriciteit en 1259 TJ warmte. Hierbij is geen rekening gehouden met of het dak geschikt is (pvt-panelen zijn zwaarder dan reguliere pv-panelen) en of de gebouwen geschikt zijn voor lage temperatuur verwarming.

In vergelijking tot het totale technische potentieel van zon-pv op dak (351 TJ) in de gemeente, dan ligt de elektrische opbrengst van pvt-panelen ongeveer 7% hoger. Dit komt omdat het rendement van pv-panelen afneemt bij stijging van de temperatuur. Bij een pvt-systeem wordt de warmte weggenomen en opgeslagen, waardoor de panelen minder heet worden. Daarnaast wordt er ook nog veel warmte opgewekt, waardoor het totale rendement van pvt-systemen veel hoger ligt dan dat van pv-panelen. Het is niet bekend wat de stijging van het rendement van pvt-panelen is naar 2050 toe.

4 Energie uit wind

4.1 Inleiding

CE Delft heeft binnen dit onderzoek geen berekeningen gemaakt van het potentieel aan windenergie. De gemeente heeft gevraagd om toch een hoofdstuk in deze rapportage op te nemen over windenergie, zodat het potentieel van alle verschillende bronnen in één rapport staat. Om deze reden volgt een paragraaf over het potentieel aan energie uit grote windturbines en kleine windturbines.

Grote windturbines hebben een veel hogere energieopbrengst dan kleinere turbines. De opbrengst van windenergie is namelijk afhankelijk van de rotordiameter en de hoogte. Wanneer wieken 2x zo groot worden, verviervoudigt de opbrengst.

4.2 Grote windturbines³

Voor het plaatsen van windturbines gelden veel wettelijke ruimtelijke beperkingen. Daarnaast is het van belang dat er in de directe omgeving draagvlak is. Collectief eigendom van een windmolen kan bijdragen aan het realiseren van draagvlak in de directe omgeving. Hierbij kan gedacht worden aan initiatieven vanuit de samenleving. Bijvoorbeeld inwoners die verenigd in een energie coöperatie een windmolen in eigendom hebben en zodoende profiteren van de opgewekte windenergie.

Door Bosch & van Rijn is eind 2019 een objectieve verkennende studie (Bosch & van Rijn, 2019) uitgevoerd naar de harde wettelijke en zachtere (beleidsmatige) belemmeringen voor windenergie in Leidschendam-Voorburg. Grotere windturbines tot 5 MW (150 meter hoge ashoogte) kunnen binnen bestaande regelgeving alleen in het buitengebied van Stompwijk/Leidschendamhout geplaatst worden. Op dat gebied ligt (nu nog) een provinciale bescherming tegen windturbines wegens het belang voor de ecologische hoofdstructuur van het Groene Hart en de trekvogelgebieden.

Door aanpassing van de provinciale beleidsregels is, in combinatie met ontheffing van regels voor natuurbescherming, het beperkt mogelijk om grote windturbines te plaatsen. Er zouden dan maximaal 11 turbines van ongeveer 5 MW in het buitengebied geplaatst kunnen worden. De opbrengst hiervan is ongeveer $11 \cdot 17,5 \text{ GWh} = 192,5 \text{ GWh}$ per jaar, ofwel 693 TJ per jaar. Hiermee kan het huidige elektriciteitsgebruik van woningen en utiliteit volledig worden opgewekt. Van de toekomstige elektriciteitsvraag in 2050 kan hiermee 50% tot 70% worden opgewekt (incl. mobiliteit), afhankelijk van het gebruik van warmtepompen. Dit vergt echter een belangenafweging tussen ruimtelijke-, natuur- en energie-doelstellingen. Het college wil meewerken aan de plaatsing van 1 tot maximaal 4 windturbines indien er sprake is van draagvlak bij onze inwoners en minimaal 50% collectief eigendom. Wanneer er 4 windturbines worden geplaatst, met elk een vermogen van 5 MW, kan hiermee 252 TJ per jaar worden opgewekt. De gemeenteraad heeft echter in juni 2020 besloten niet te willen inzetten op windturbines in het buitengebied.

³ Deze tekst is grotendeels afkomstig uit de Visie en uitgangspuntennotitie Lokale Energie Strategie van de gemeente Leidschendam-Voorburg (Gemeente Leidschendam-Voorburg, 2020).

4.3 Kleine windturbines

Kleinere windturbines zijn er in verschillende soorten en maten. Buurtmolens zijn turbines met een vermogen van minder dan 1 MW, die ongeveer 10 keer minder stroom opwekken dan molens van 5 MW. Dit soort molens kunnen bijvoorbeeld op een boerenerf worden geplaatst of in een buurt worden gerealiseerd met behulp van een buurtcollectief. Daarnaast zijn er mini-windturbines die op daken van huizen kunnen worden geplaatst. De aanschafkosten zijn echter zo hoog dat de investering zich vaak niet terugverdient. Daarnaast leveren mini-windturbines alleen op locaties waar het voldoende waait meer energie dan ze hebben gekost bij de productie ervan. De energieopbrengst is vaak groter wanneer wordt gekozen voor zonnepanelen in plaats van mini-windturbines (NP RES, 2020).

5 Warmtenet

5.1 Criteria

Voor de economische haalbaarheid van een warmtenet, is er een aantal criteria. Eén van die criteria is de warmtevraagdichtheid. De warmtevraagdichtheid hangt voornamelijk af van de bebouwingsdichtheid en het isolatieniveau van de gebouwen. Hoe hoger de bebouwingsdichtheid, hoe minder meter leiding er nodig is voor het distributienet. Daarbij moet er ook voldoende ruimte in de straat zijn om het distributienet aan te leggen. Ten derde moeten de kosten van het aanleggen van een warmtenet niet te hoog oplopen doordat er archeologisch onderzoek moet worden verricht. Deze laatste twee criteria heeft Wareco recentelijk uitgezocht in een onderzoek naar ondergrondse ruimte voor warmtenetten in de gemeente Leidschendam-Voorburg (Wareco, 2020).

5.1.1 Warmtevraag

RVO heeft in 2013 in het Afwegingskader Locaties eisen opgesteld voor de minimale warmtevraag en warmtevraagdichtheid voor collectieve installaties met omgevingswarmte, ZLT-restwarmte (zeer lage temperatuur restwarmte) of wko als bron. Ook voor hogetemperatuur warmtenetten zijn soortgelijke criteria aan de orde. Het verschil met hogetemperatuur restwarmte is dat de warmte verder kan worden getransporteerd en vaak voor een groter aantal woningen en utiliteitsgebouwen wordt ingezet. In Tabel 4 zijn de criteria op het gebied van warmtevraag weergegeven. Dit zijn minimumeisen; hoe hoger de warmtevraagdichtheid, hoe geschikter de buurt voor een warmtenet.

Tabel 4 - Geschiktheidseis voor collectieve warmte

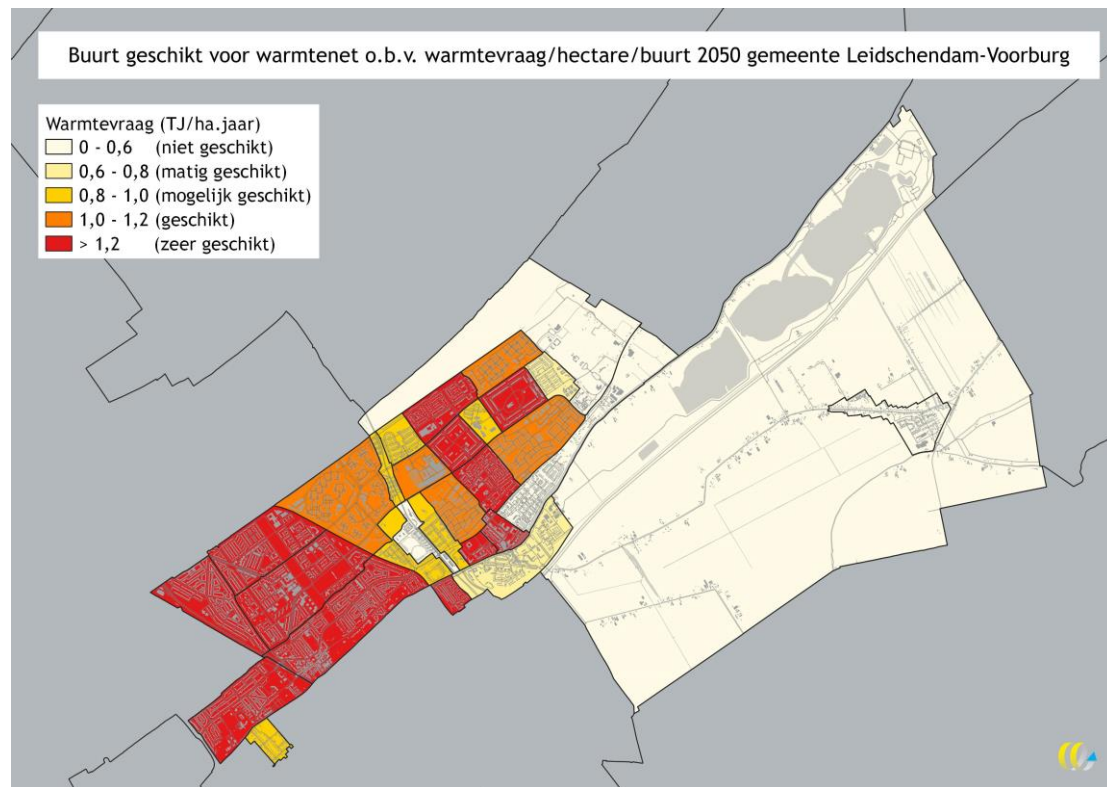
Eis voor collectieve warmte	Criterium
Voldoende warmtevraag voor potentieel rendabel project	Warmtevraag buurt > 2,0 TJ
Warmtevraagdichtheid	> 0,6 TJ/ha

In Figuur 20 is per buurt weergegeven of de buurt op basis van de warmtevraag geschikt is voor de uitrol van een warmtenet. Hiervoor hebben wij een geschiktheidsscore opgesteld. Er is uitgegaan van de warmtevraag in 2050, waarbij de gebouwen minimaal naar label B zijn geïsoleerd. Bij monumentale panden is het vaak moeilijk om, zonder al te hoge kosten, isolatiemaatregelen te treffen. Om deze reden zijn monumentale panden over het algemeen minder geschikt voor een lagetemperatuurwarmtenet. Aansluiting op een hogetemperatuurwarmtenet is voor monumentale panden wel een optie.

Tabel 5 - Geschiktheidsscore warmtenet o.b.v. warmtevraagdichtheid

Warmtevraagdichtheid	Geschiktheidsscore	Betekenis
> 1,2 TJ/ha	5	Zeer geschikt
1,0 tot 1,2 TJ/ha	4	Geschikt
0,8 tot 1,0 TJ/ha	3	Mogelijk geschikt
0,6 tot 0,8 TJ/ha	2	Matig geschikt
< 0,6 TJ/ha	1	Niet geschikt

Figuur 20 - Buurt geschikt voor collectieve warmte, op basis van warmtevraag per hectare per buurt in 2050 (criteria RVO)

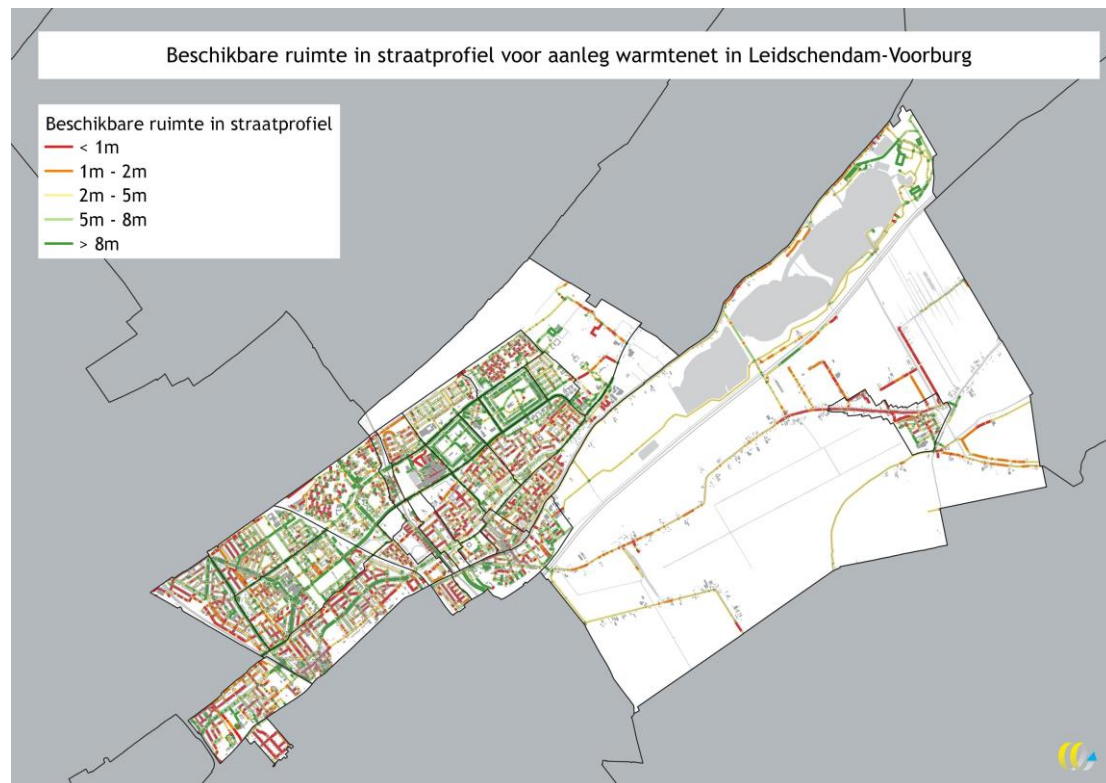


Naast de minimumeis voor warmtevraagdichtheid, is er ook de eis voor een minimale warmtevraag om een warmtenet rendabel te maken. Alle buurten in de gemeente Leidschendam-Voorburg hebben in 2050 een hogere warmtevraag dan deze minimumeis van 2,0 TJ/jaar. Hiermee hebben alle buurten in de gemeente in principe genoeg warmtevraag om, op basis van enkel dit criterium, een warmtenet rendabel uit te rollen. Het moet echter per buurt, stukje buurt of cluster van buurten worden bekeken of een warmtenet inderdaad een rendabele optie is op basis van andere criteria en hoe een warmtenet zich verhoudt tot andere duurzame opties, zoals warmtepompen. Daarnaast hangt de schaal van een warmtenet vaak samen met het temperatuurniveau. Lagetemperatuurnetten worden vaak ingezet op kleinere schaal dan op buurtniveau. Voor hogetemperatuurwarmtenetten geldt juist dat er vaak meer dan één buurt is aangesloten op het warmtenet.

5.1.2 Ondergrondse ruimte voor warmtenetten

Bij de aanleg van een warmtenet worden leidingen in de grond gelegd voor de aanvoer en afvoer van warm water. Deze leidingen hebben een bepaald ruimtegebruik. Wanneer er in een straatprofiel weinig ruimte is voor de aanleg van een warmtenet, zal dit zorgen voor extra inspanningen en daarmee kosten. Hierdoor is het economisch mogelijk niet gunstig om te kiezen voor het toepassen van een warmtenet. In Figuur 21 is te zien hoeveel ruimte er momenteel in het straatprofiel over is.

Figuur 21 - Beschikbare ruimte in het straatprofiel voor aanleg van een warmtenet



Bron: (Wareco, 2020).

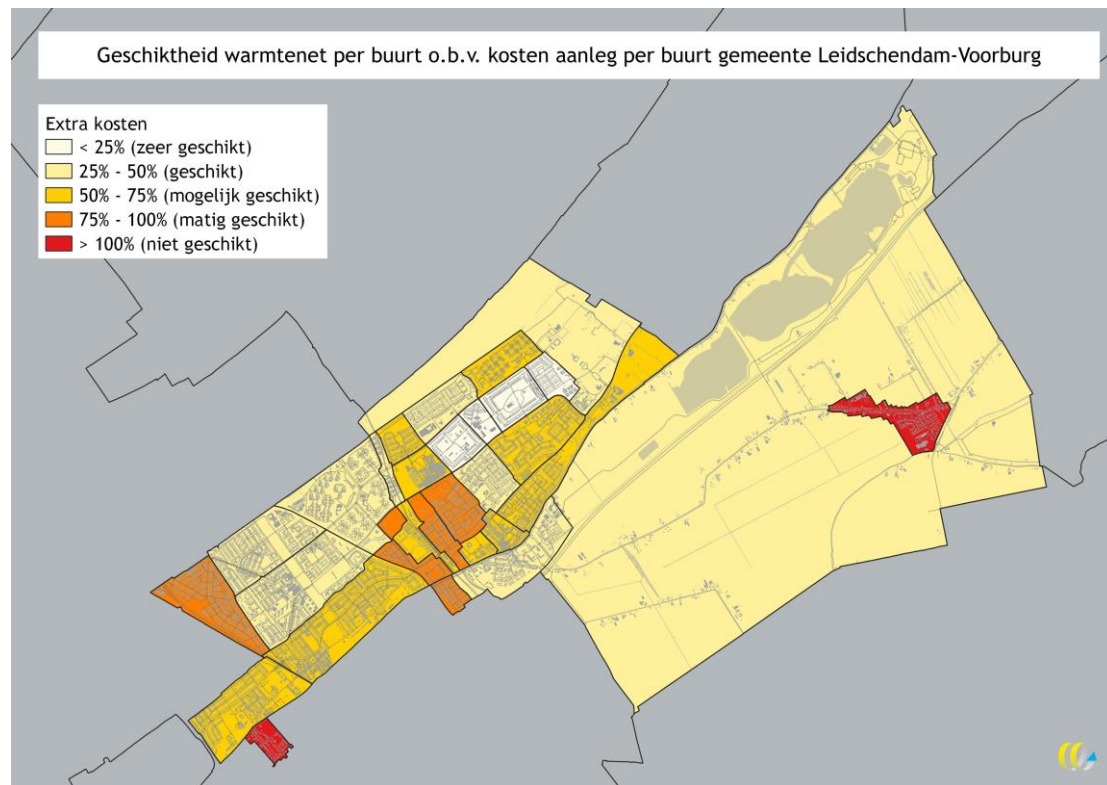
Bij een beperkte ruimte, is de aanleg van een warmtenet duurder dan wanneer er veel ruimte is in het straatprofiel. De door Wareco berekende extra kosten hebben wij vertaald in een geschiktheidsscore voor de aanleg van een warmtenet, zie Tabel 6.

Tabel 6 - Geschiktheidsscore warmtenet op basis van extra aanlegkosten

Extra kosten	Geschiktheidsscore	Betekenis
0-25%	5	Zeer geschikt
25-50%	4	Geschikt
50-75%	3	Mogelijk geschikt
75-100%	2	Matig geschikt
Meer dan 100%	1	Niet geschikt

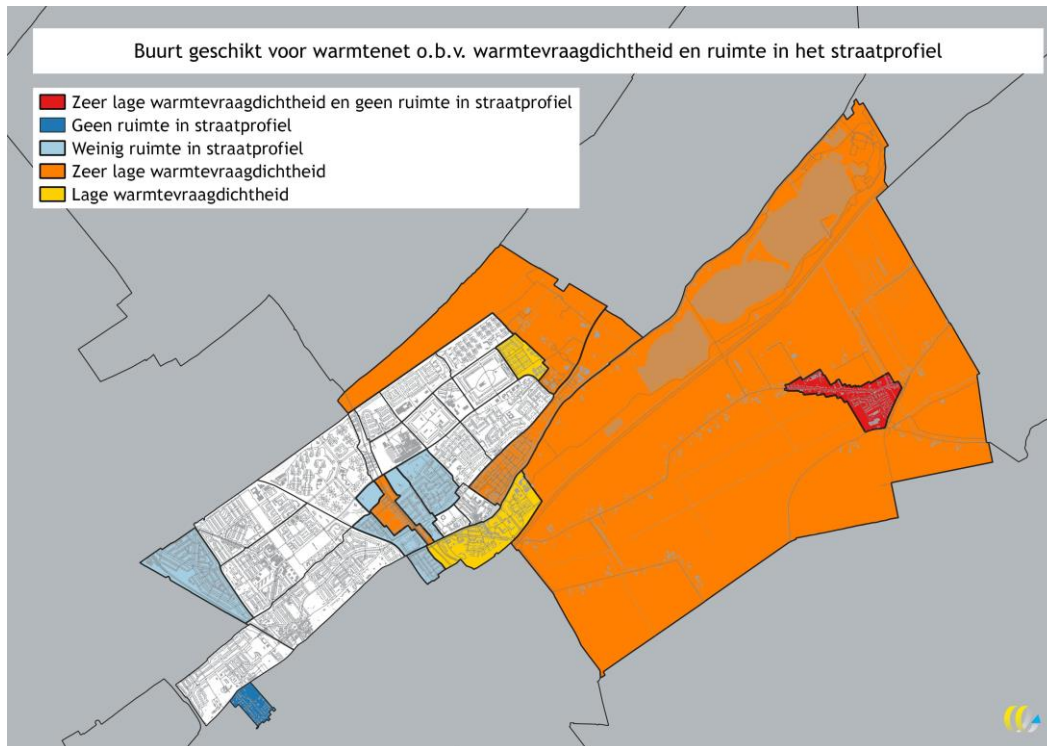
In Figuur 22 is weergegeven in welke buurten de kosten voor aanleg van een warmtenet laag liggen en in welke buurten de aanleg hoog is. Dit is enkel gebaseerd op ruimte in het straatprofiel. Andere factoren die hier een rol in spelen zijn bijvoorbeeld de huidige situatie in de ondergrond en het type bestrating (asfalt versus klinkers).

Figuur 22 - Geschiktheid warmtenet op basis van ruimte in het straatprofiel voor de aanleg

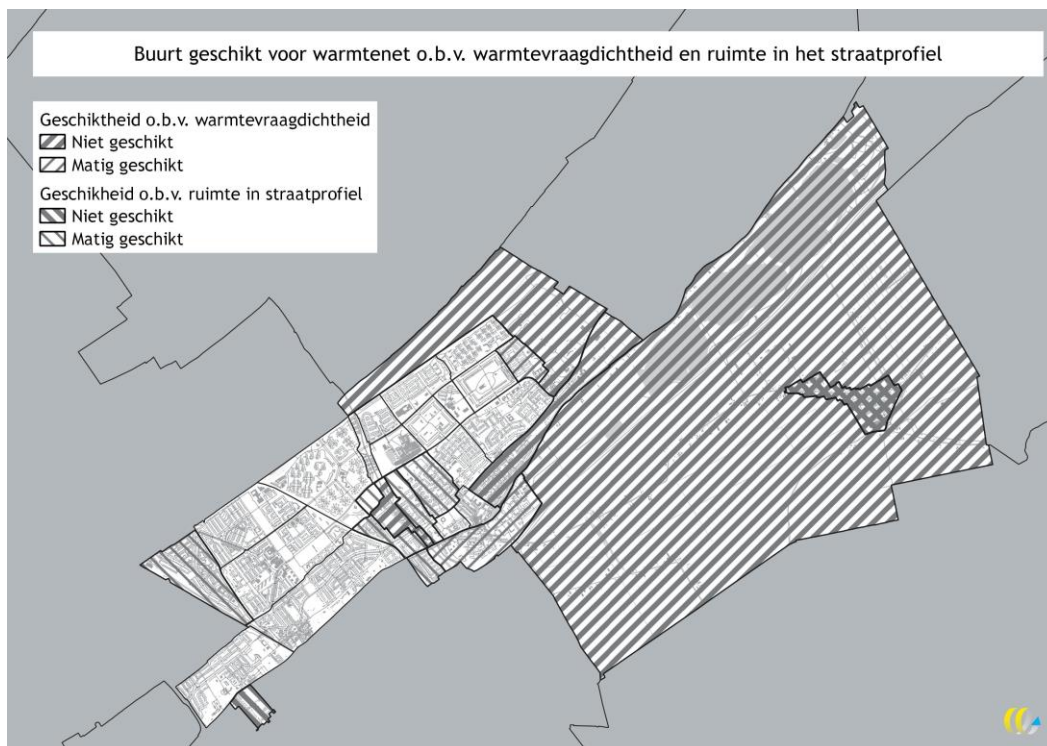


In Figuur 23 en Figuur 24 zijn de twee criteria die hierboven zijn beschreven samen weergegeven in een kaart. In Figuur 23 zijn de minder geschikte buurten aangegeven met verschillende kleuren (zie legenda). Deze figuur hebben wij vertaald naar Figuur 24, waarbij de buurten die op een van de criteria ‘Niet geschikt’ of ‘Matig geschikt’ scoren gearceerd zijn. Wij hebben een arcering gebruikt om de kaart zo over andere kaarten te kunnen leggen, waarbij de kleuren van de andere kaart nog goed leesbaar zijn. De figuur wordt in de rest van de rapportage gebruikt in de kaarten met potentieel aan warmte om aan te geven dat buurten in sommige gevallen wel een hoog technisch potentieel hebben, maar op basis van andere criteria niet of matig geschikt zijn voor een warmtenet. In de tabel in Bijlage B is per buurt weergegeven hoe de buurt scoort op bovenstaande criteria.

Figuur 23 - Geschiktheid buurten voor warmtenet op basis van warmtevraagbaarheid en ruimte in het straatprofiel (kleurtjes)



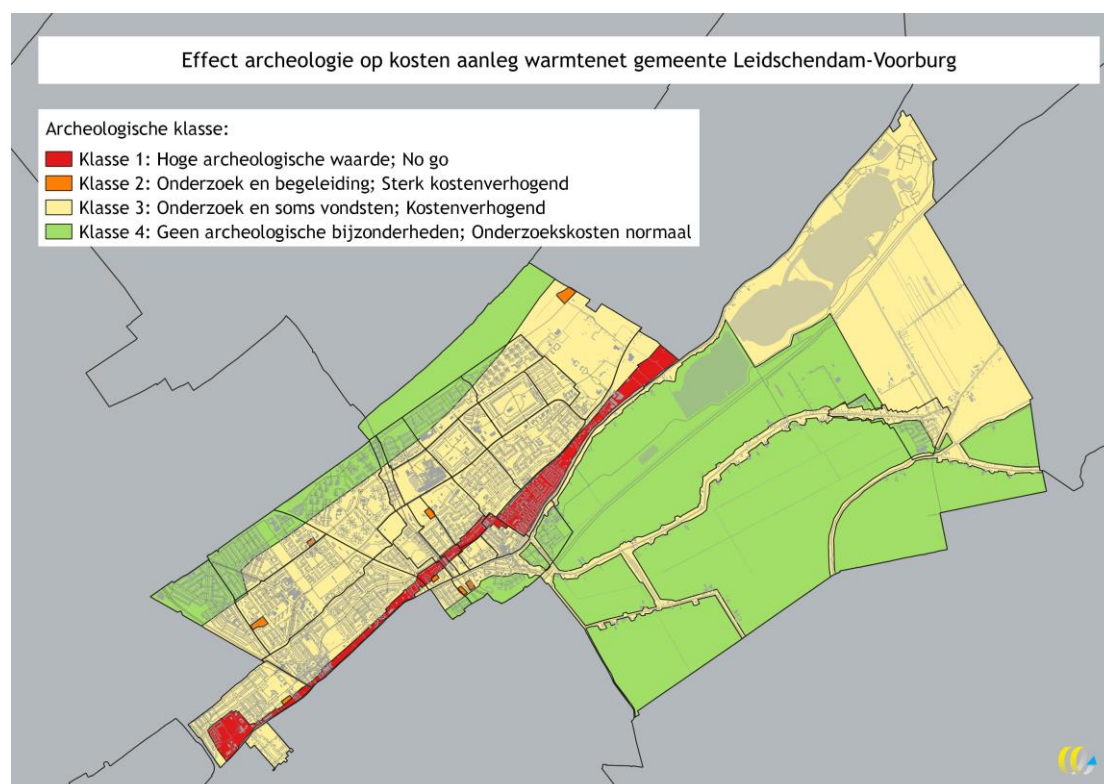
Figuur 24 - Geschiktheid buurten voor warmtenet op basis van de warmtevraagbaarheid en ruimte in het straatprofiel (gearceerd)



5.1.3 Archeologische waarde

In de gemeente Leidschendam-Voorburg zijn veel gebieden met archeologische bijzonderheden. In deze gebieden is voorafgaand aan de aanleg van een warmtenet eerst archeologisch onderzoek nodig. Er zijn zelfs gebieden met een hoge archeologische waarde, die om deze reden niet geschikt zijn voor een warmtenet. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is weergegeven welke archeologische klassen verschillende gebieden in Leidschendam-Voorburg hebben. Wareco heeft aan deze verschillende klassen categorieën gekoppeld met betrekking tot eventuele extra kosten voor de aanleg van een warmtenet. Meer informatie hierover is te vinden in het Wareco-rapport (Wareco, 2020). In Bijlage B is per buurt aangegeven onder welke archeologische klasse deze buurt valt.

Figuur 25 - Aandachtgebieden archeologie met daarbij het effect op kosten aanleg warmtenet

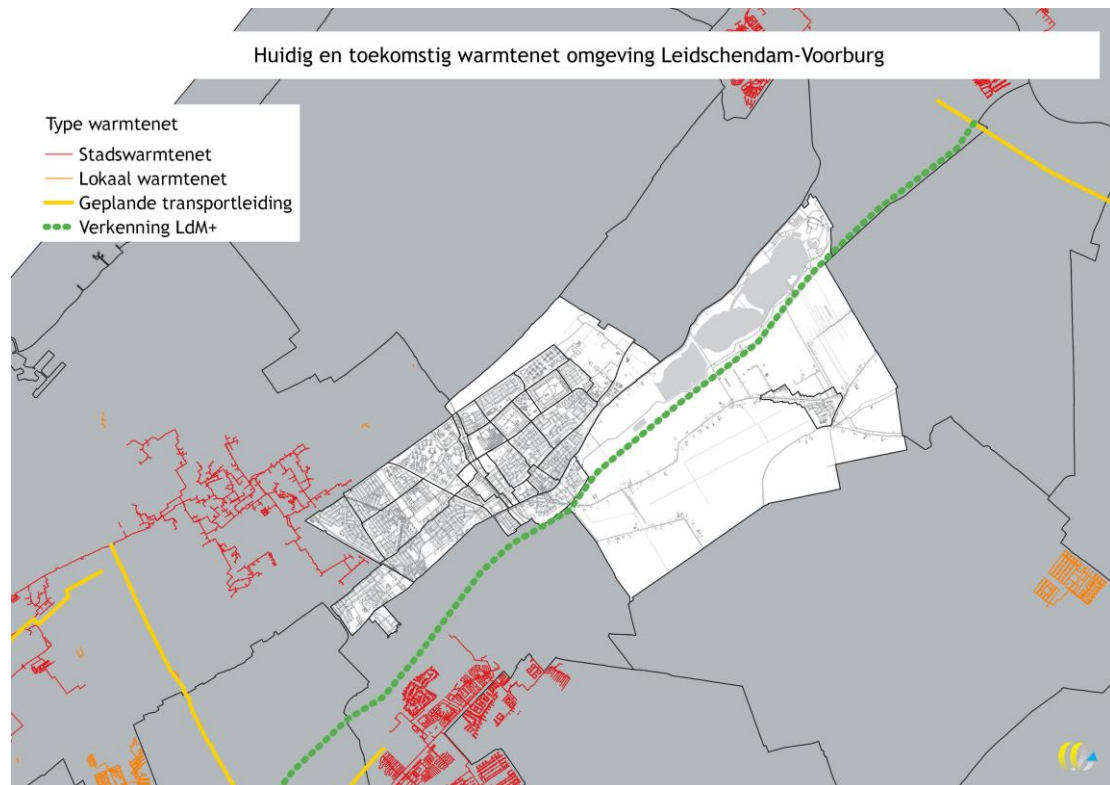


Bron: (Wareco, 2020).

5.2 Warmtenet Den Haag

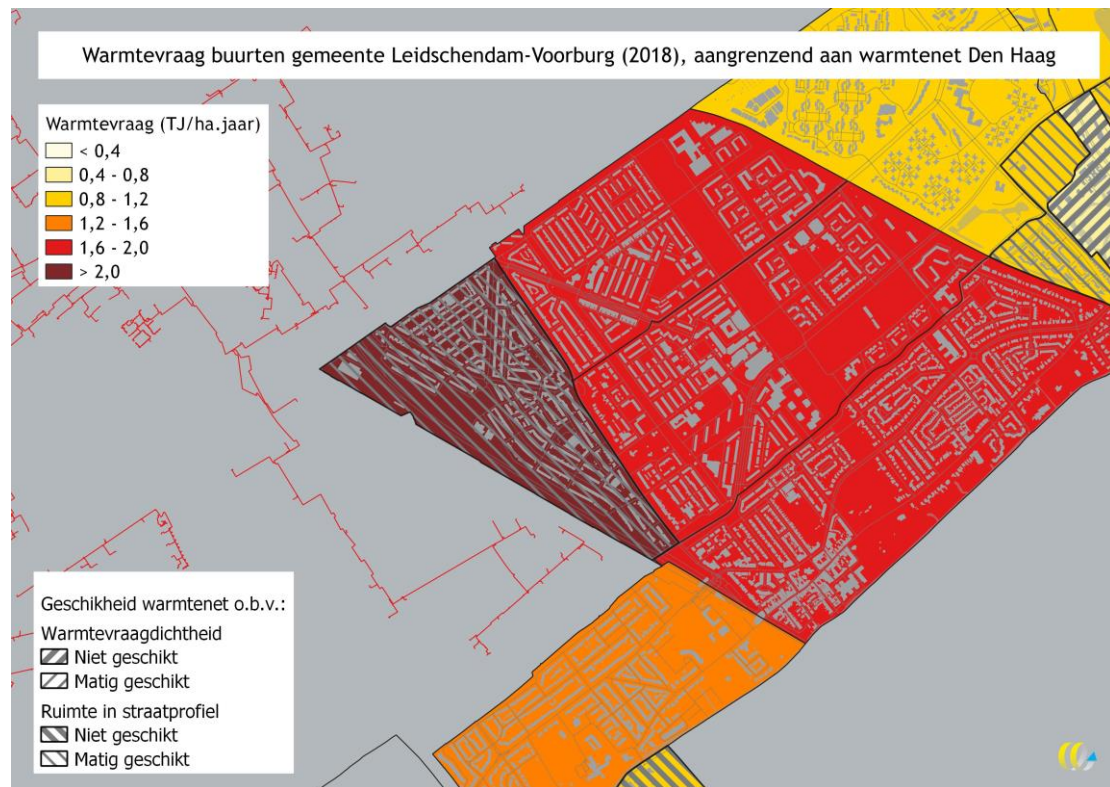
Eneco heeft in Den Haag een uitgebreid warmtenetwerk en wil dit nog verder uitbreiden. Daarnaast wordt door diverse partijen (onder andere provincie, gemeenten, Gasunie, EZK) in het project WarmtelinQ gewerkt aan het transporteren van restwarmte uit de haven in Rotterdam naar de stedelijke gebieden van onder meer Den Haag en Leiden.

Figuur 26 - Huidig en toekomstig warmtenet omgeving Leidschendam-Voorburg



Voor het aantakken op het warmtenet in Den Haag, is het wenselijk dat gebouwblokken of buurten die gebruik gaan maken van het warmtenet, hieraan grenzen. Daarnaast is een algemene voorwaarde voor het gebruikmaken van een warmtenet, dat de vraagdichtheid hoog is en dat het mogelijk is een distributienet aan te leggen in een buurt. Voor gestapelde bouw is een warmtenet rendabeler dan voor grondgebonden bouw, omdat er minder lengte leiding nodig is om de warmte te transporteren. Voldoende afname en de zekerheid van afname zijn ook belangrijke factoren. Omdat het warmtenet van Den Haag er al ligt, zou het voor Leidschendam-Voorburg en voor de leverancier van de warmte, ook al interessant kunnen zijn bij beperkte warmteafname, bijvoorbeeld van één bouwblok.

Figuur 27 - Warmtenet Den Haag aangrenzend aan buurten Leidschendam-Voorburg, met warmtevraagdichtheid per buurt



In Figuur 27 is ingezoomd op de buurten van Leidschendam-Voorburg die grenzen aan het warmtenet van Den Haag. Er is te zien dat deze buurten een hoge tot zeer hoge warmtevraag hebben, vooral Voorburg Noord, maar ook Bovenveen, Voorburg Midden en Voorburg oud. Voorburg West is, lettende op de warmtevraag, ook nog geschikt zijn voor aansluiting op het warmtenet, of in ieder geval delen van deze buurt. Voorburg Noord is minder geschikt voor een warmtenet op basis van het gebrek aan ruimte in het straatprofiel voor de aanleg van het warmtenet. Hierdoor zullen de kosten 75 tot 100% duurder zijn dan in buurten waar wel veel ruimte is.

5.3 WarmtelinQ (LdM+)

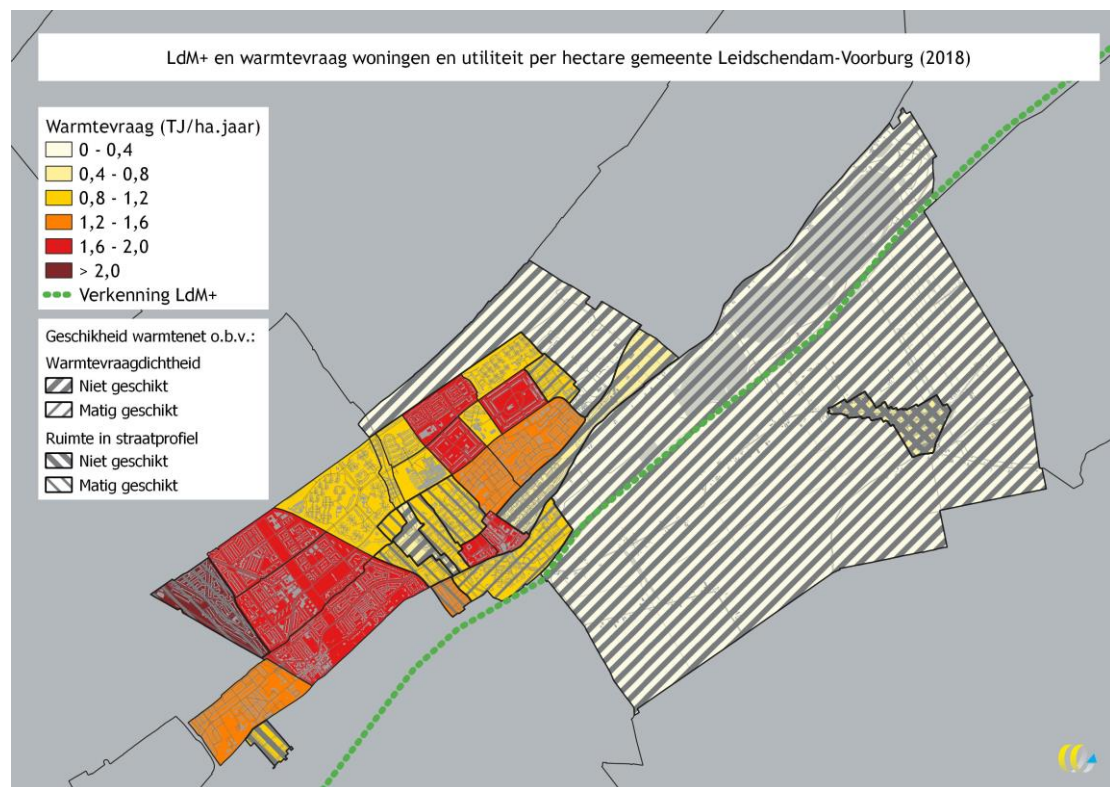
Gasunie, EZK, PZH en de Leidse regio zijn in gesprek over de aanleg en warmteafname van de LdM+, een transportleiding waarvan het tracé mogelijk dwars door de gemeente Leidschendam-Voorburg komt te lopen. Dit tracé-ontwerp zit in de verkennende fase en ligt nog niet vast. Vanuit het bestaande warmtenet in Leiden wordt ingezet op levering vanaf 2026.

Voor Leidschendam-Voorburg zijn de ontwikkelingen rond LdM+ op twee manieren relevant:

1. Als de LdM+ er komt kan dit ook een warmtebron zijn voor warmtenetten in Leidschendam-Voorburg.
2. De kans is groot dat het tracé van de LdM+ uiteindelijk ook over grondgebied van Leidschendam-Voorburg gaat. Hierover moeten afspraken worden gemaakt met de gemeente omtrent vergunningen en dergelijke.

In Figuur 28 is de potentiële locatie van de Leiding door het Midden + van de WarmtelinQ weergegeven. Daarnaast is ook weergegeven wat de dichtheid van warmtevraag is van de buurten in Leidschendam-Voorburg. Wanneer er voldoende warmte beschikbaar is, zou de gemeente hier ook gebruik van kunnen maken. De buurten met een hoge warmtevraag-dichtheid, in ieder geval degene in het rood en wellicht ook delen van oranje- of geelgekleurde buurten, komen in aanmerking. Hiervoor moet ook worden gekeken naar de ruimte op straatniveau om de leidingen te kunnen aanleggen en de kansen met betrekking tot andere duurzame warmte-opties. Het is natuurlijk ook van belang dat de warmte niet te ver hoeft te worden getransporteerd. Hier gaat het echter om een leiding met een heel groot warmte-aanbod van hoge temperatuur, die bij een aftakking wel enkele kilometers kan afleggen tot de locatie van het distributienet. Dit brengt natuurlijk wel hogere kosten met zich mee en extra warmteverliezen. Daarnaast kunnen obstakels zoals spoorwegen en snelwegen het extra moeilijk maken om een bepaald tracé te volgen. Het moet daarom nog worden onderzocht of het haalbaar is om warmte uit de LdM+ te gebruiken voor buurten in Leidschendam-Voorburg.

Figuur 28 - LdM+ en warmtevraag buurten



6 Bodemenergie

In deze analyse kijken we naar het potentieel van wko en geothermie voor de gemeente. Dit potentieel wordt vertaald naar buurniveau. Het uitgangspunt is het technisch potentieel in de bodem. Of dit technisch potentieel benut kan worden hangt af van verschillende factoren. Zo zijn er aandachts- en verbodsgebieden aangewezen vanwege juridische en beleidsmatige beperkingen. Daarnaast moeten voor de benutting van de warmte in een bepaalde buurt in ieder geval de criteria uit Hoofdstuk 5 worden meegenomen, te weten de warmtevraagdichtheid van een buurt en de ruimte in het straatprofiel voor de aanleg van een warmtenet. Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met de ruimte die nodig is voor de winning van aardwarmte. Wanneer de gewonnen warmte in een lagetemperatuurwarmtenet wordt ingevoerd, moeten de woningen voldoende kunnen worden geïsoleerd voor een lagetemperatuurafgiftesysteem.

6.1 Aandachtsgebieden bij winning

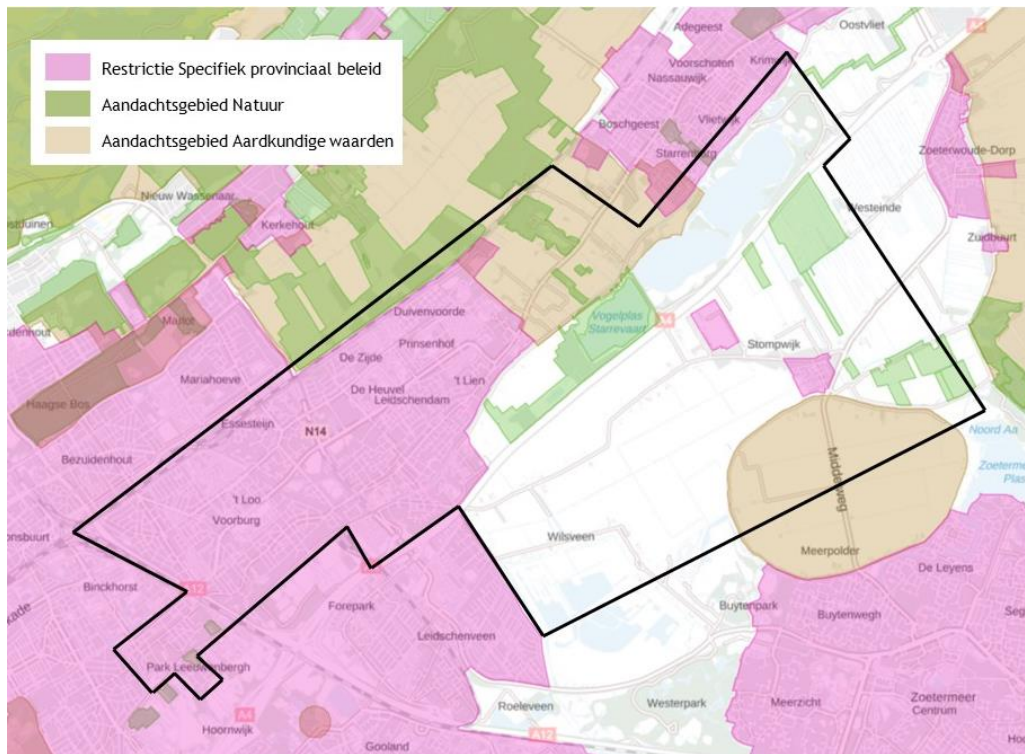
Voor beide vormen van bodemenergie kunnen er juridische en beleidsmatige beperkingen zijn. Het gaat dan om verbodsgebieden of aandachtsgebieden die moeten worden meegenomen bij het besluit of er in een gebied een boring mag worden uitgevoerd. In Tabel 7 zijn de verschillende type verbods- en aandachtsgebieden weergegeven, met hierin vermeld of deze van toepassing zijn op de gemeente.

Tabel 7 - Aandachts- en verbodsgebieden voor bodemenergiesystemen (wko-tool)

Verbods- of aandachtsgebied	Relevant voor Leidschendam-Voorburg
Drinkwaterbescherming (verbod)	Niet van toepassing binnen gemeente
Risicogebieden aantasting zoetwatervoorraden (aandachtsgebied)	Ja
Specifiek provinciaal beleid (aandachtsgebied)	Ja
Dieptebeperking (aandachtsgebied)	Niet van toepassing binnen gemeente
Ordering (aandachtsgebied)	Niet van toepassing binnen gemeente
Natuur (aandachtsgebied)	Ja
Aardkundige waarden (aandachtsgebied)	Ja
Archeologie (aandachtsgebied)	Ja

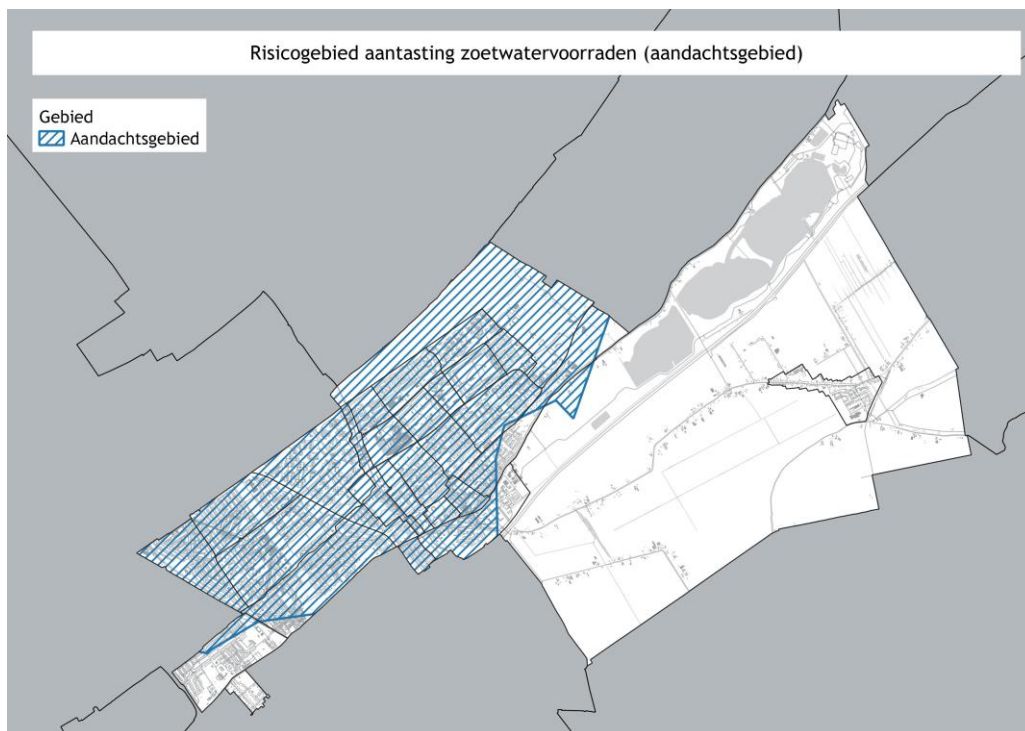
In Figuur 29 zijn drie van de vijf voor de gemeente van toepassing zijnde aandachtsgebieden voor het winnen van bodemenergie weergegeven. In Figuur 30 is het aandachtsgebied weergegeven met betrekking tot aantasting van de zoetwatervoorraden.

Figuur 29 - Aandachtsgebieden bodemenergie



Bron: (RVO, lopend-a).

Figuur 30 - Aandachtsgebied voor winnen bodemwarmte met betrekking tot aantasting zoetwatervoorraden



Bron: (Provincie Zuid-Holland, 2019).

Per aandachtsgebied moet worden bekeken wat de invloed hiervan is op het potentieel van de te winnen bodemwarmte. Bij aandachtsgebieden wordt getoetst op de aanwezigheid van kwetsbare gebieden en/of omliggende grondwaterbelangen. Deze aandachtsgebieden dienen meegenomen te worden bij het ontwerp, de realisatie en het doen van een melding en/of het aanvragen van de vergunning voor het beoogde bodemenergiesysteem. Bijvoorbeeld door de grondwaterstandsveranderingen zoveel mogelijk te minimaliseren in natuurgebieden bij open systemen of voldoende afstand te houden tot bodemenergiesystemen bij open en gesloten systemen. Meer informatie over de verschillende aandachtsgebieden is te vinden op de WKO-bodemenergietool (RVO, lopend-a).

6.2 Bodemenergiesystemen

Als we kijken naar bodemenergiesystemen, onderscheiden we twee verschillende vormen: gesloten en open bodemenergiesystemen. Warmte-koudeopslag (wko) is een open bodemenergiesysteem dat werkt op lage temperatuur. De opgeslagen warmte mag maximaal 25 °C bedragen. Door de lage temperatuur is het meestal niet rendabel om deze warmte ver te transporteren, dus is het potentieel beperkt door de lokale warmtevraag. Daarnaast is in de bestaande bouw vrijwel altijd een aanvullende elektrische warmtepomp nodig om de temperatuur op gewenst niveau te krijgen. De opgave voor duurzame elektriciteit wordt daardoor groter als deze lagetemperatuursystemen worden ingezet.

Het potentieel voor gesloten bodemenergiesystemen (bodemwarmtewisselaar) en open bodemenergiesystemen (warmte-koudeopslag, wko) is gebaseerd op de potentieelkaarten van de RVO-Warmteatlas. Deze potentieelkaarten geven per buurt de maximale theoretische warmte of koude die de bodem kan opslaan en leveren. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de uitsluiting van gebieden door juridische en beleidsmatige beperkingen. Daarnaast kunnen de reeds aanwezige open wko's beperkend werken voor het benutten van het maximale potentieel. In de potentieelberekening is geen rekening gehouden met de al aanwezige wko's.

Open bodemenergiesystemen maken gebruik van de watervoerende pakketten, gesloten systemen van de temperatuur in de ondergrond. Dit betekent dat de uitvoering over het algemeen op verschillende dieptes plaatsvindt, maar dat dit niet per definitie zo is. Interferentie tussen de typen systemen is mogelijk. Echter, in de praktijk worden open wko-systemen en bodemwarmtewisselaars niet tegelijk ingezet voor dezelfde warmtevraag. Daarom is de warmtevraag beperkend voor het totaalpotentieel.

6.2.1 Wko (open bodemenergiesystemen)

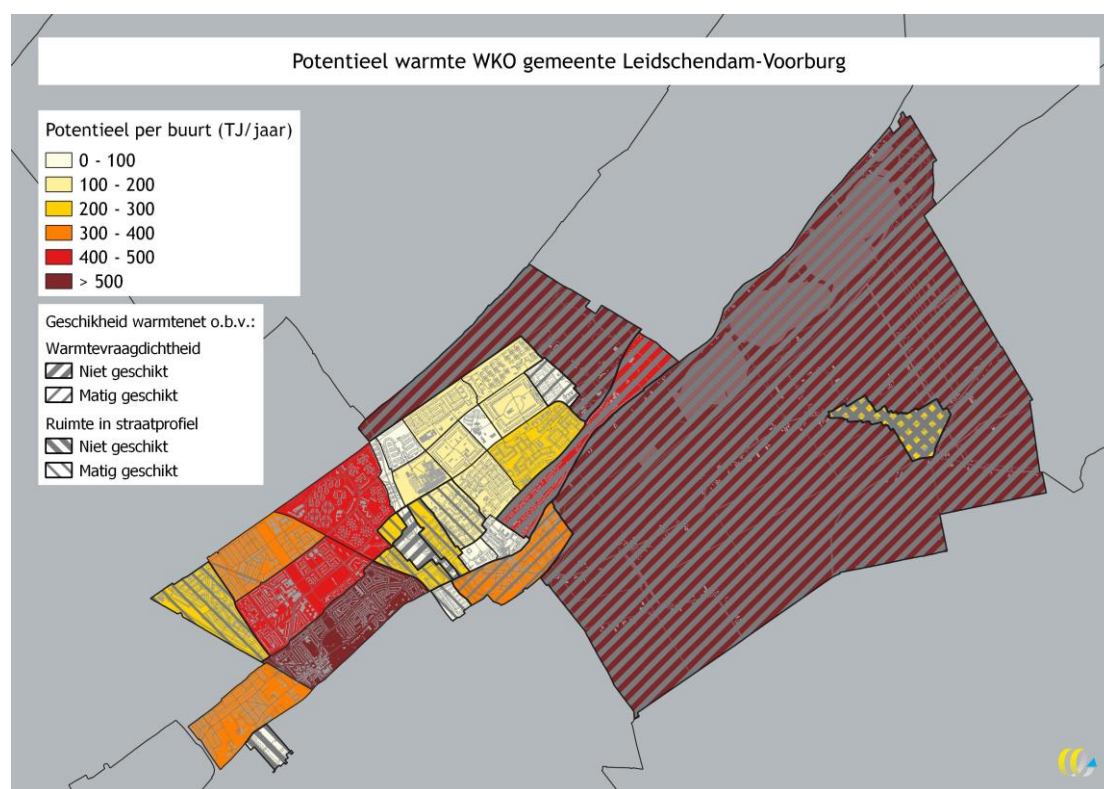
De potentieelkaarten van de Warmteatlas (RVO, 2019) geven per buurt de maximale theoretische warmte of koude die de bodem kan opslaan en leveren tot een maximale diepte van 250 meter beneden maaiveld in GJ/(ha.jaar). Het uitgangspunt van deze kaarten is een doublet-systeem waarbij 's zomers uit één koude bron wordt onttrokken (om te koelen) en in één warme bron wordt geïnfiltrerd (opslag van de onttrokken warmte). In de winter gebeurt voor verwarming precies het omgekeerde. Hierbij wordt uitgegaan van een energiebalans. Voor meer (technische) details over de bepaling van het potentieel in deze kaarten verwijzen we naar de Warmteatlas (RVO, lopend-b).

De potentieelkaarten van de Warmteatlas houden geen rekening met de uitsluiting van gebieden door juridische en beleidsmatige beperkingen. Daarnaast wordt in deze kaarten ook nog geen rekening gehouden met de geschiktheid van buurten voor het gebruik van bodemwarmte op basis van warmtevraagdichtheid en de geschiktheid van een buurt voor de

aanleg van een warmtenet op basis van de ruimte in het straatprofiel. Om de kaarten zo volledig mogelijk te maken, zijn de twee laatst genoemde aspecten er aan toegevoegd.

Door het potentieel per hectare te vermenigvuldigen met het oppervlakte van elk gebied ontstaat het potentieel in TJ/jaar. Het totaal hiervan voor de gemeente Leidschendam-Voorburg is 16.000 TJ/jaar.

Figuur 31 - Potentieel warmte WKO in TJ per buurt per jaar



Dit potentieel voor warmte- en koudeopslag ligt een factor 10 hoger dan de huidige warmtevraag in de gemeente. Daarom is het potentieel in werkelijkheid niet hoger dan de warmtevraag van 1.700 TJ/jaar. Daarnaast zit het grootste potentieel in buurten waar de minste bebouwing staat. Het is niet rendabel om de warmte ver te transporteren, dus een mismatch in vraag en aanbod kan dit potentieel nog verder verlagen.

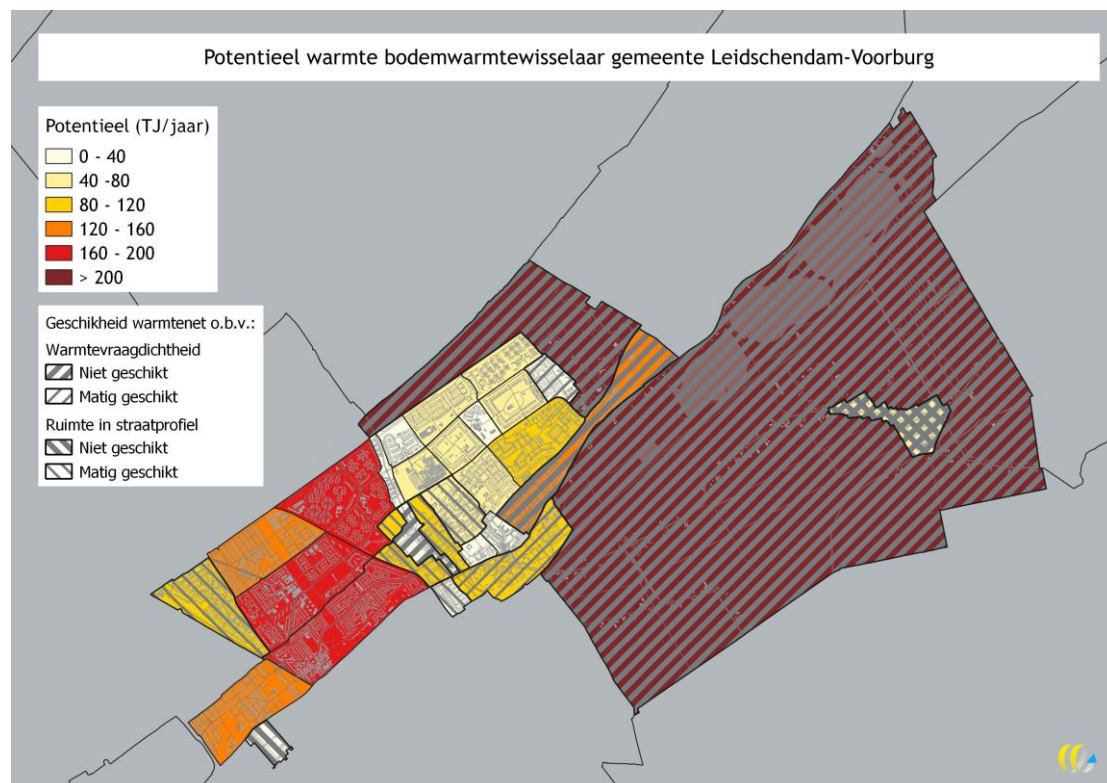
6.2.2 Bodemwarmtewisselaar (gesloten bodemenergiesystemen)

Gesloten bodemenergiesystemen worden ook wel bodemwarmtewisselaars genoemd. Voor de potentieelbepaling gaat RVO uit van een verticale bodemwarmtewisselaar met een onderlinge afstand van tien meter en een maximale diepte per lus van 150 meter beneden maaiveld. Voor de energielevering wordt uitgegaan van een standaard woning (zie de Warmteatlas (RVO, lopend-b) voor meer details). Het energetisch rendement van een gesloten bodemenergiesysteem is gemiddeld iets lager dan bij open systemen. Gesloten systemen worden meestal per huis aangelegd, maar een collectief systeem voor een appartementencomplex of meerdere woningen kan ook.

De potentieelkaarten van de Warmteatlas geven per buurt de maximale theoretische warmte of koude die de bodem kan opslaan en leveren in GJ/(ha.jaar). Ook hiervoor geldt, net als bij de open wko, dat er geen rekening is gehouden met andere factoren, behalve het technisch potentieel.

Door het potentieel per hectare te vermenigvuldigen met het oppervlakte van elk gebied ontstaat het potentieel in TJ/jaar. Het totaal hiervoor voor de gemeente Leidschendam-Voorburg is 6.000 TJ/jaar. Het potentieel aan koude is 1.700 TJ/jaar. Ook dit potentieel is hoger dan de totale warmtevraag van de gemeente. Per buurt kan het potentieel wel lager zijn dan de warmtevraag van de desbetreffende buurt.

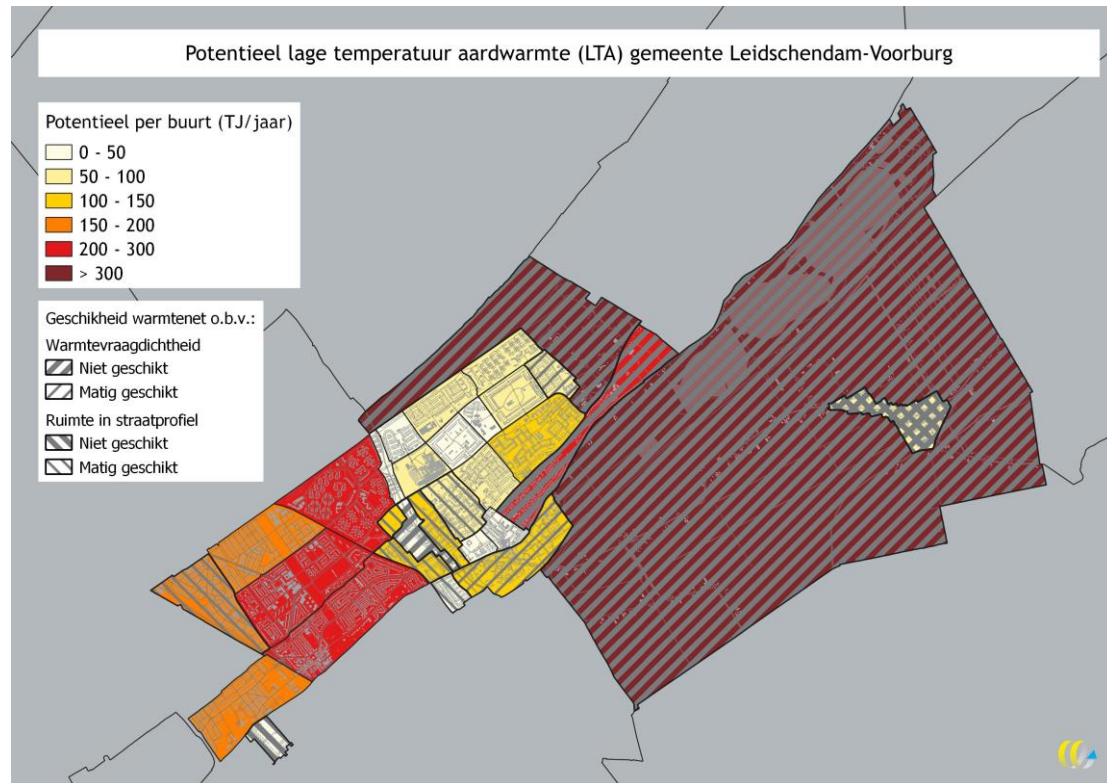
Figuur 32 - Potentieel warmte bodemwarmtewisselaar in TJ per buurt per jaar



6.3 Lagetemperatuuraardwarmte (LTA)

Een andere vorm van bodemenergie is lagetemperatuuraardwarmte (LTA), ook wel ondiepe geothermie genoemd. Deze warmte wordt gewonnen op dieptes tussen de 250 en 1.500 meter en ligt hiermee tussen het winningsgebied van wko en geothermie. In deze bodemlagen ligt de temperatuur van de aardwarmte tussen de 20 en 55°C. De Warmteatlas geeft per buurt het technisch potentieel, zie Figuur 33. Het totale potentieel voor de gemeente Leidschendam-Voorburg is 6.900 TJ/jaar. Ook dit potentieel is hoger dan de totale warmtevraag van de gemeente.

Figuur 33 - Potentieel lage temperatuur aardwarmte (LTA) in TJ per buurt per jaar



Voor warmte dieper dan 500 meter geldt de Mijnbouwwet. Ondieper dan 500 meter geldt de Waterwet. Deze zijn niet beperkend op ruimtelijke toepassing van LTA, maar stellen wel eisen aan de exploitatie.

6.4 Geothermie

Wanneer aardwarmte wordt gewonnen op een diepte tussen de 1.500 meter en 4 km, wordt er meestal gesproken van geothermie. Voor het winnen van deze warmte zijn er twee putten (één doublet) nodig: de productieput en de injectieput. De productieput pompt het warme water omhoog. Vervolgens wordt de warmte via een warmtewisselaar afgegeven aan een warmtenet. Het afgekoelde water wordt via de injectieput terug naar dezelfde aardlaag gepompt. Hoe dieper de boring, hoe hoger de temperatuur van het water, en hoe hoger de kosten van de boring. Geothermie is alleen mogelijk op locaties waar voldoende potentie is in de ondergrond. Een geothermieput levert het hele jaar door warmte, deze kan dus niet 'aan' of 'uit' gezet worden. Vandaar dat er altijd een back-upinstallatie nodig is om de piekwarmtevraag in koudere periodes te leveren. Een geothermieput kan warmte leveren aan een warmtenet.

Criteria voor het realiseren van een geothermieboring op 2-4 km diepte:

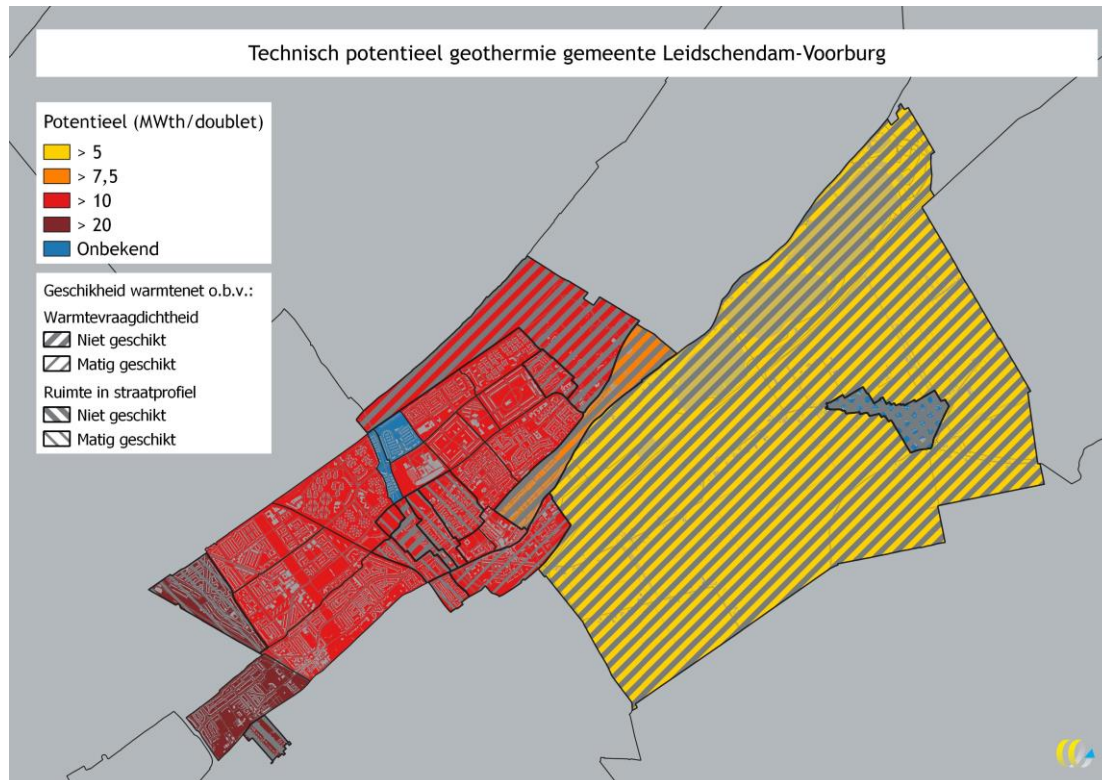
- Vergunning valt onder Mijnbouwwet.
- Potentie in de ondergrond > 7 MWth per doublet.
- Voldoende warmtevraag nodig (ca. 4.000 woningen).
- Ruimte voor boring: ongeveer één voetbalveld, met tijdelijk een toren van ca. 50 m hoog. Uiteindelijk resteert enkel een gebouw voor de pompen (ca. 100 m²).

- Uitgebreid geologisch onderzoek is nodig voor de boring van start kan gaan. Een belangrijk onderdeel hiervan is de risicoanalyse op onder andere de kans op trillingen in de ondergrond en de kwaliteit van de bodem en het grondwater.

Een gemiddeld conventioneel doublet met een (thermisch) vermogen van 10 MWth en 8.000 vollasturen per jaar, produceert ongeveer 300 TJ per jaar. Dit staat gelijk aan de warmtevraag van meer dan 6.000 woningen. Een geothermieput levert een constante warmte, terwijl de warmtevraag van woningen en utiliteit niet constant is. Om ook genoeg warmte te kunnen leveren als het heel erg koud is, is een piekinstallatie nodig. Dit is vaak een gasgestookte ketel. Omdat een geothermieput samen met een piekinstallatie wordt ingezet, kan het aantal woningen dat is aangesloten op een dergelijke put oplopen tot circa 8.500.

Figuur 34 geeft het technisch potentieel van geothermie in de gemeente weer (bron: ThermoGIS). Als van een gebied het potentieel aan geothermie onbekend is, geeft dit aan dat er te weinig informatie beschikbaar is over de geschiktheid van de ondergrond voor geothermie. De mogelijkheid tot het benutten van het potentieel dat er wel is, hangt samen met of het in een gebied is toegestaan om te boren (zie aandachtsgebieden begin Hoofdstuk 5) en het ruimtegebruik voor zowel de boring als het warmtenet. Daarnaast moet er voldoende warmtevraag zijn. Deze warmtevraag hoeft zich niet te concentreren rond de geothermieput; een transportleiding kan de warmte ook vervoeren naar een ander gebied. Hoe verder warmte wordt vervoerd, hoe hoger de aanlegkosten en het warmteverlies. De warmtevraagdichtheid is van belang in verband met de distributieleidingen van het warmtenet.

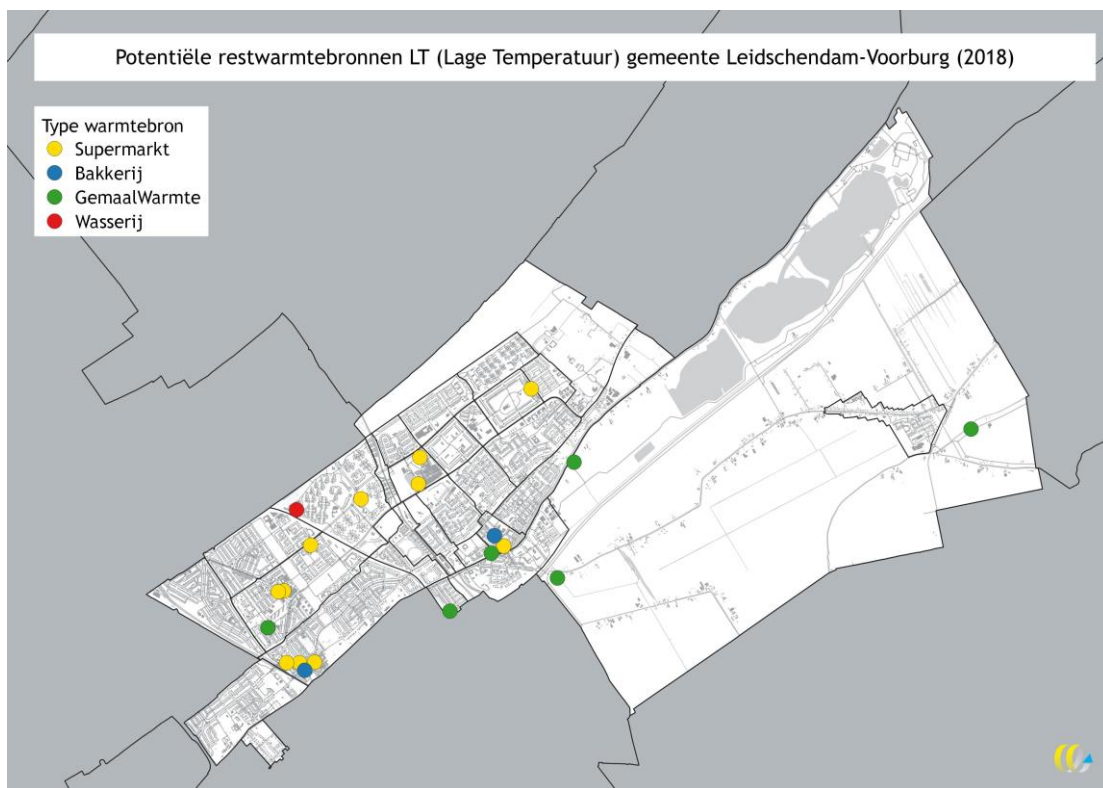
Figuur 34 - Technisch potentieel geothermie per doublet



7 Restwarmte

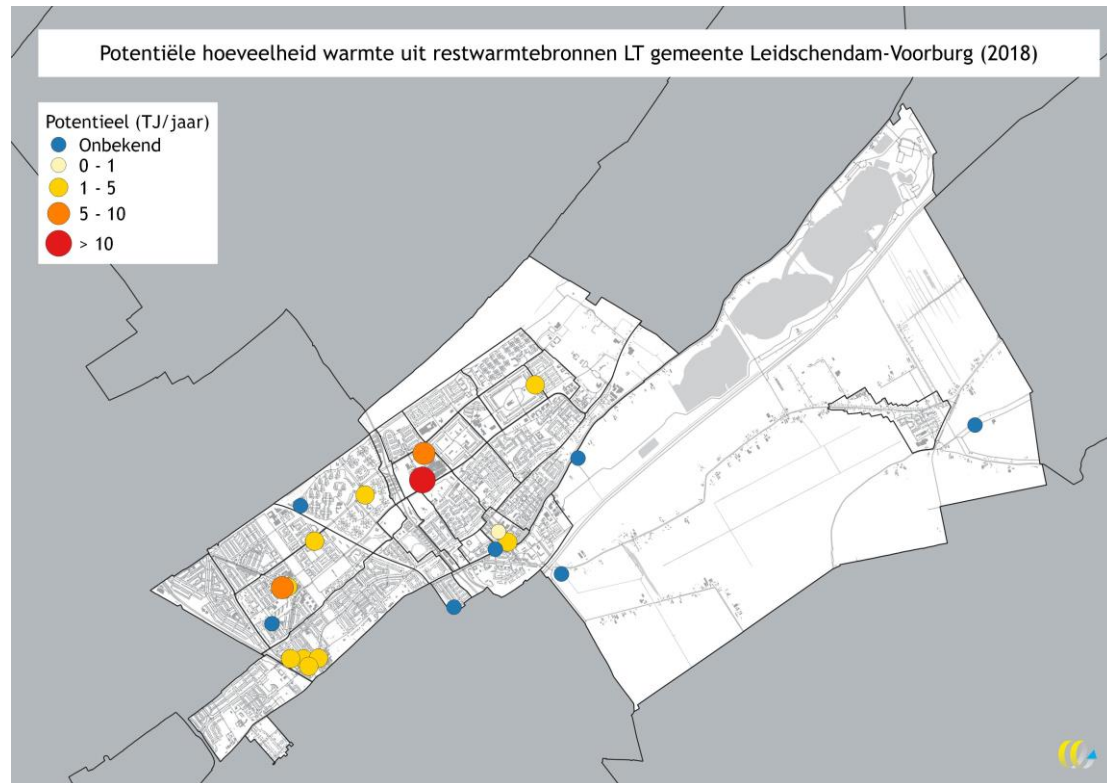
De gemeente Leidschendam-Voorburg heeft aangegeven dat er weinig potentieel is aan hoge temperatuurrestwarmtebronnen en dat dit potentieel niet mee hoeft te worden genomen in deze studie. Wel zijn er kansen voor lage temperatuur restwarmte. Deze warmte kan afkomstig zijn uit LT-restwarmtebronnen en kan, net als aquathermie, warmte leveren aan een LT-net, al dan niet gecombineerd met wko. Het potentieel van de LT-bronnen in Leidschendam-Voorburg wordt weergegeven in onderstaande kaarten. De bron van deze gegevens is de Warmteatlas van RVO.

Figuur 35 - Potentiële lagetemperatuur-restwarmtebronnen



Het potentieel van een restwarmtebron wordt uitgedrukt in het vermogen in MWth en het potentieel in TJ/jaar. Het vermogen kan omgerekend worden in TJ/jaar als men weet hoeveel uur per jaar de bron warmte kan leveren. Voor een aantal type bronnen is dit goed in te schatten, omdat deze vrijwel het gehele jaar door warmte kunnen leveren, zoals supermarkten. Voor andere bronnen, zoals gemalen, is dit niet zo gemakkelijk in te schatten. Van deze bronnen is de potentiële warmtelevering bij ons onbekend.

Figuur 36 - Potentiële hoeveelheid warmte uit LT-restwarmtebronnen



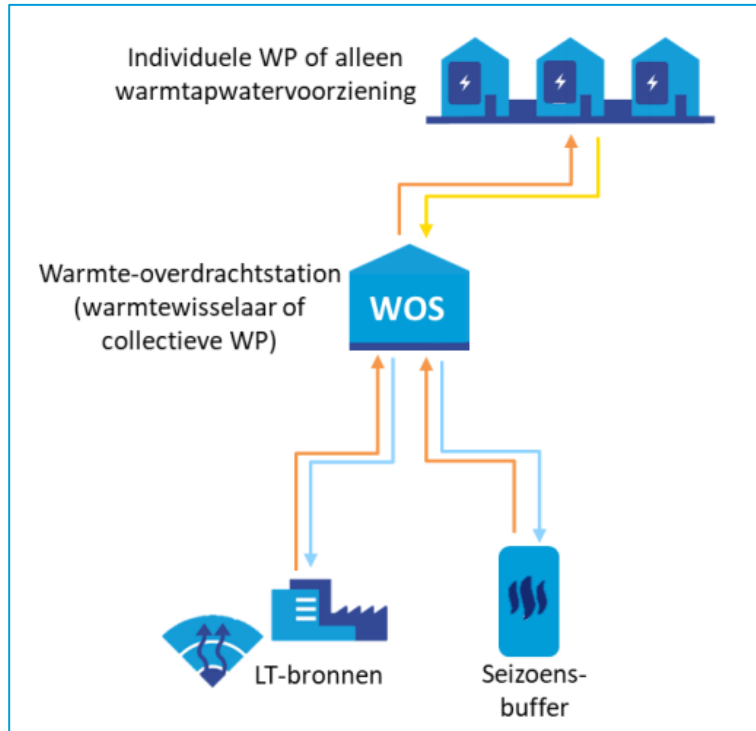
Voor alle restwarmtebronnen geldt dat het te verwachten is, dat zij eerst intern op zoek gaan naar mogelijkheden voor besparing en hergebruik van hun warmte. Per locatie moet worden onderzocht of zij daadwerkelijk restwarmte over hebben om in te voeden in een warmtenet.

Het benutten van het potentieel aan LT-warmte kan door dit in te voeden in een LT-warmtenet. Het gebruik van lage temperatuur warmte zorgt voor minder energieverlies in het distributienet dan het gebruik van hoge temperatuur warmte, maar vraagt wel om een andere manier van verwarmen van het gebouw, namelijk een LT-warmte-afgiftesysteem, zoals LT-radiatoren of vloerverwarming. Bovendien moet het gebouw goed geïsoleerd zijn; hoe lager de temperatuur van het net, hoe beter het isolatieniveau moet zijn. Voor warm tapwater is een minimale temperatuur van 55°C aan het tappunt wettelijk vereist; bij LT-netten is daarom altijd een extra systeem nodig voor het verwarmen van tapwater. Wanneer de warmte uit een LT-net te laag is voor het verwarmen van woningen, kan dit met een warmtepomp worden verhoogd. Dit kan een individuele warmtepomp zijn bij elke woning, of een collectieve warmtepomp voordat het warme water het distributienet in gaat. Zie Figuur 37 voor een schematisering van een LT-net.

Een hoeveelheid restwarmte van 5 TJ/jaar kan ongeveer 150 goed geïsoleerde woningen verwarmen. De warmte zal wel naar een hoger niveau moeten worden gebracht met behulp van een warmtepomp. In totaal zal er daardoor wel meer warmte worden opgewekt en kunnen ook meer woningen worden verwarmd. De warmte van één restwarmtebron is niet voldoende om een hele buurt van warmte te voorzien.

Het is ook mogelijk een HT-net te combineren met een LT-net, waarbij eerst warmte geleverd wordt aan gebouwen die een hogere temperatuur nodig hebben en daarna aan gebouwen die aan een lagere temperatuur genoeg hebben. Dit concept wordt toegepast om binnen een bestaand HT-net ook LT-afnemers en eventueel LT-opwekkers aan te sluiten.

Figuur 37 - Algemene opzet van een LT-warmtesysteem



Net als bij een warmtenet met hoge temperatuur warmte, is de bebouwingsdichtheid een belangrijke factor. Hoe hoger de bebouwingsdichtheid, hoe minder meter leiding er nodig is voor het distributienet. Daarbij moet er ook voldoende ruimte in de straat zijn om het distributienet aan te leggen.

8 Aquathermie

Bij aquathermie wordt thermische energie gewonnen uit water. Het water heeft hierbij temperaturniveaus tussen 7 en 25 °C en is daarmee een zeer lage temperatuur (ZLT) warmtebron. De warmte wordt primair gewonnen wanneer het water warm is, dus voornamelijk tijdens de zomermaanden en deels in het voor- en naseizoen. Deze warmte moet worden ingezet in de winter, waardoor de combinatie met wko voor de hand ligt. Eerder in het rapport is het potentieel van wko in Leidschendam-Voorburg bekeken.

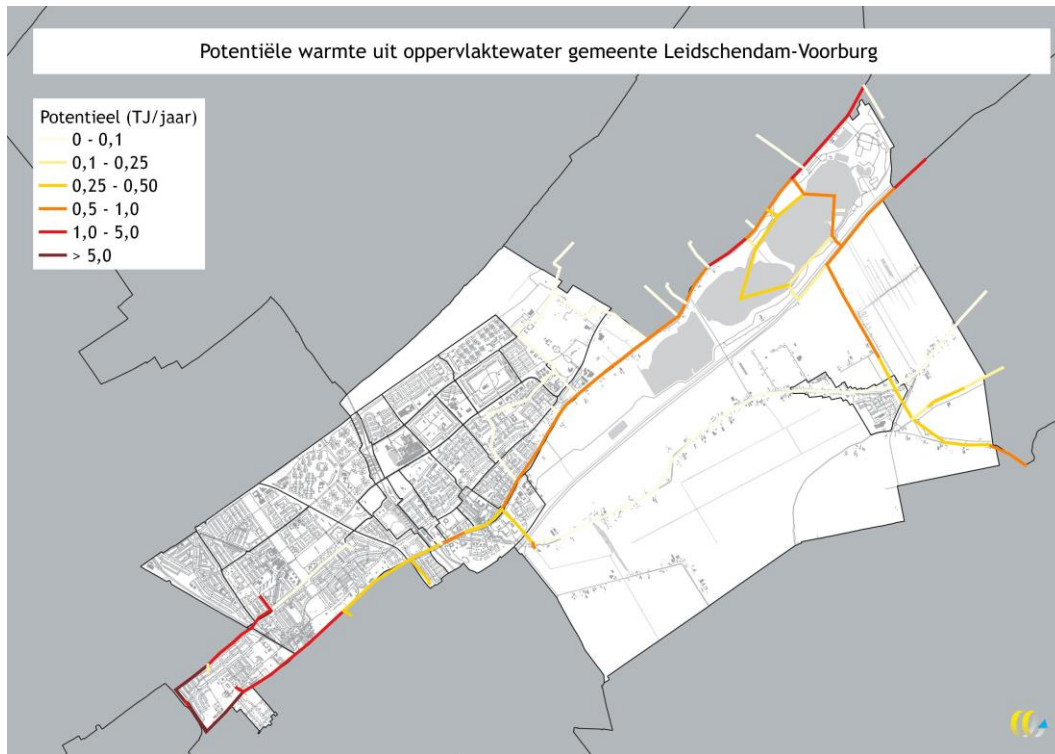
Voor het toepassen van aquathermie in een LT-warmtenet, gelden dezelfde voorwaarden als bij het gebruik van LT-restwarmte, zie Tabel 4. Ook is het van belang dat de warmte niet ver hoeft te worden getransporteerd, dus dat deze bij voorkeur wordt opgewekt in dezelfde buurt als dat de warmte wordt gebruikt. Ook moeten woningen voldoende zijn geïsoleerd. Voor vergunningaanvragen en ontwerp/haalbaarheidsstudies is aanvullend onderzoek nodig.

8.1 Oppervlaktewater

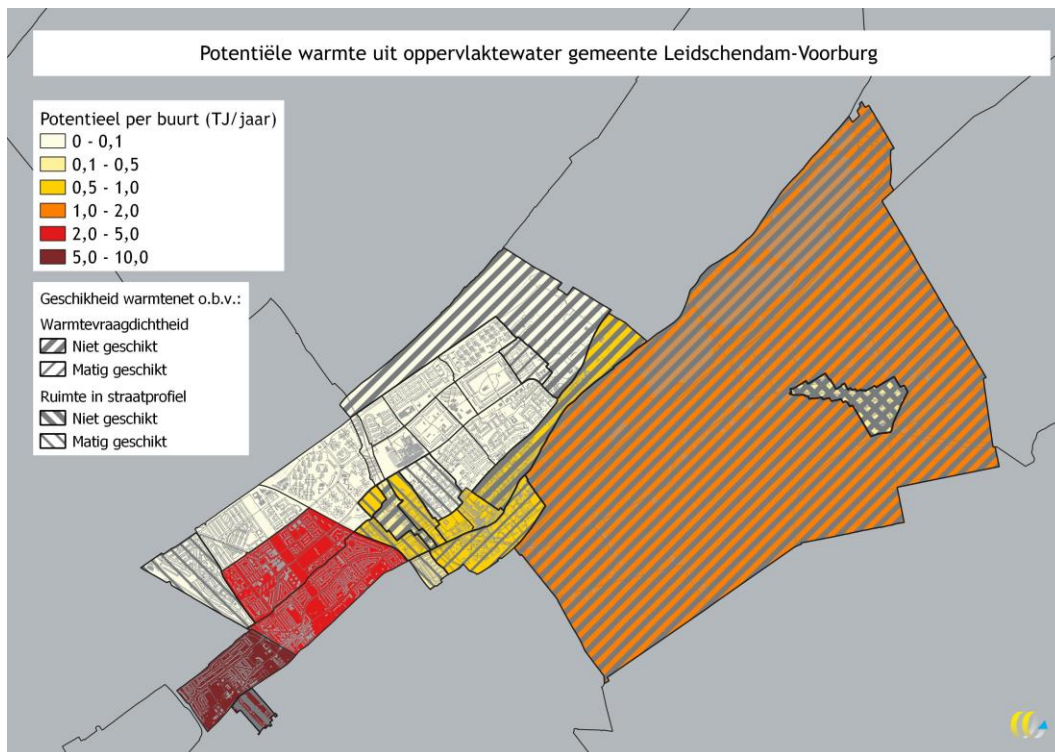
Door de gemeente Leidschendam-Voorburg stroomt watergang 'de Vliet'. Het is mogelijk om in de zomer warmte uit deze rivier te winnen en dit op te slaan in een wko. In de winter kan de warmte gebruikt worden om woningen of andere panden mee te verwarmen. In

Figuur 38 is de potentiële warmte uit 'de Vliet' en overig oppervlaktewater ingetekend. Het is belangrijk te beseffen dat het potentieel op de ene plek, invloed heeft op het potentieel verderop. Wanneer er bovenstrooms warmte wordt onttrokken, zal de potentiële hoeveelheid te winnen warmte benedenstrooms lager zijn. De stroming in 'de Vliet' is binnen de gemeentegrenzen van Leidschendam-Voorburg beperkt. Om deze reden is het warmtepotentieel van deze watergang ook beperkt.

Figuur 38 - Potentiële warmte uit oppervlakte water



Figuur 39 - Potentiële warmte uit oppervlaktewater per buurt



Bij goed geïsoleerde woningen is de warmtevraag per woning gemiddeld 35 GJ per jaar. Een hoeveelheid warmte van 5 TJ/jaar kan ongeveer 150 goed geïsoleerde woningen verwarmen. De warmte zal wel naar een hoger niveau moeten worden gebracht met behulp van een warmtepomp. In totaal zal er daardoor wel meer warmte worden opgewekt en kunnen ook meer woningen worden verwarmd. Het totaal aantal woningen dat verwarmd kan worden met warmte uit 'de Vliet' zal nog steeds niet buurtdekkend zijn, tenzij andere warmtebronnen worden ingezet om warmte te leveren aan het warmtenet, zoals LT-restwarmte.

8.2 Drinkwater

Door de gemeente Leidschendam-Voorburg lopen twee ruwwaterleidingen van Dunea, die gebruikt worden om water uit de rivieren naar de duinen te transporteren. Het debiet in deze leidingen is 4.000 m³ per uur. De temperatuur varieert jaarlijks van minder dan 5 °C in de winter tot meer dan 20 °C in de zomer. Het theoretisch potentieel van warmte uit deze leidingen is daarmee heel hoog. De technische mogelijkheid is echter lager. Warmte kan uit een leiding worden gewonnen door deze leiding om te leiden en warmtewisselaars door de leiding te laten lopen.

Met deze techniek zal er in de Mall of the Netherlands 200 m³ water per uur worden omgeleid door het winkelcentrum, wat 3,2 TJ aan koeling per jaar oplevert.

De warmte die kan worden gewonnen door het water met 1 °C te koelen is:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 4.000.000 \cdot 4.180 \cdot 1 = 16,7 \text{ GJ/uur}$$

Q = benodigde warmte in J

m = massa van het water (4.000.000 kg/uur)

c = soortgelijke warmte van water (4.180 J/°C/kg)

ΔT = verschil in temperatuur (1 °C)

Er wordt aangenomen dat alleen warmte aan het water wordt onttrokken gedurende de zomermaanden en in het voor- en naseizoen. Ongeveer 5 maanden per jaar is het water meer dan 15 °C. Wanneer in deze periode de totale hoeveelheid van 4.000 m³ rivierwater wordt omgeleid om hier warmte uit te winnen, door het water met 1 graad af te koelen, kan hier 4.000.000 * 4.180 * 1 * 150 * 24 = 60 TJ/jaar uit worden gewonnen. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit om een zeer grote hoeveelheid water gaat die moet worden omgeleid en die van een grote hoeveelheid warmtewisselaars moet worden voorzien. De vraag is of dat praktisch en planologisch wenselijk is.

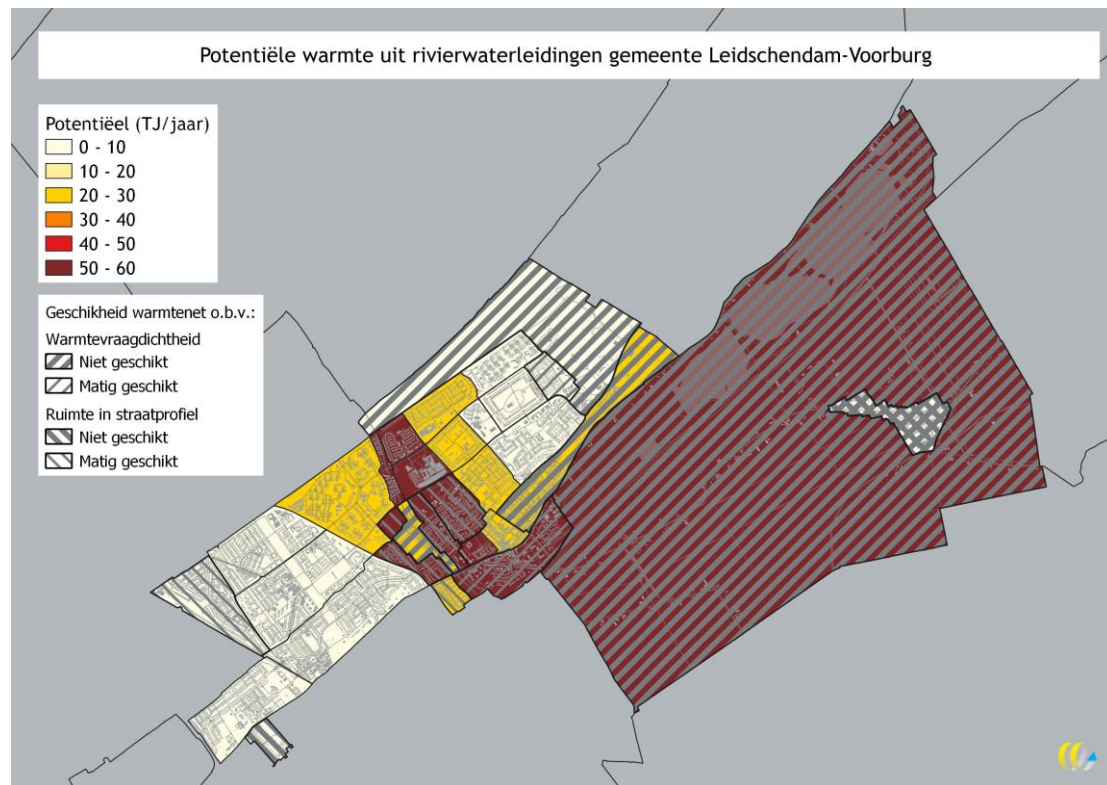
Deze warmte kan worden benut in buurten met een hoge warmtevraag en warmtevraag-dichtheid, die zich dichtbij de ruwwaterleiding bevinden. Ook moeten de woningen en andere gebouwen gemiddeld naar label B geïsoleerd zijn en moet het mogelijk zijn om een wko toe te passen in de buurt. Daarnaast heeft het winnen van warmte uit de leidingen gevolgen voor het potentieel benedenstrooms. Zie Figuur 42 voor een schematisering van het energiesysteem wanneer gebruik wordt gemaakt van warmte uit drinkwater.

De exacte locatie van de ruwwaterleidingen van Dunea is vertrouwelijk. CE Delft heeft geanalyseerd welke buurt grenzen aan de leidingen of in de nabijheid liggen van de leidingen. In



Figuur 40 is weergegeven wat het potentieel aan warmte is uit de ruwwaterleidingen, waarbij de buurten waar de leidingen doorheen lopen het volledig potentieel toegewezen hebben gekregen, en de buurten die binnen een straal van 500 meter van de leiding liggen, 50% van het potentieel hebben toegewezen gekregen.

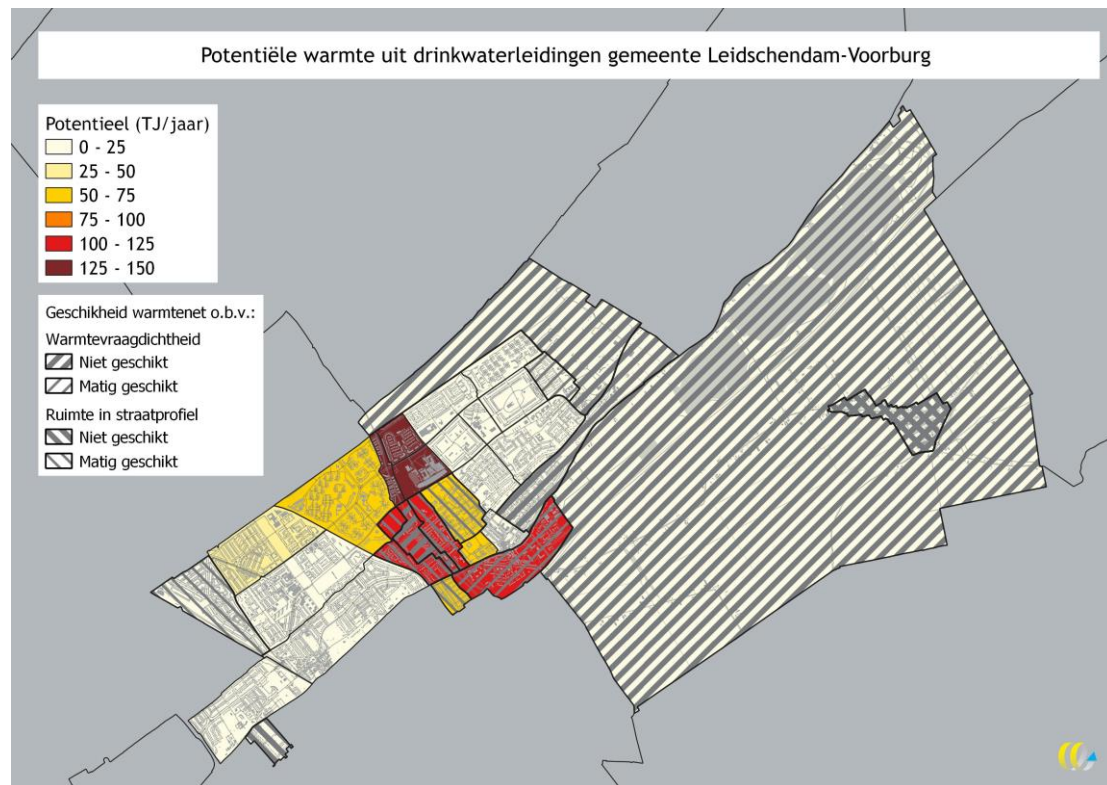
Figuur 40 - Potentieel warmte uit ruwwaterleidingen



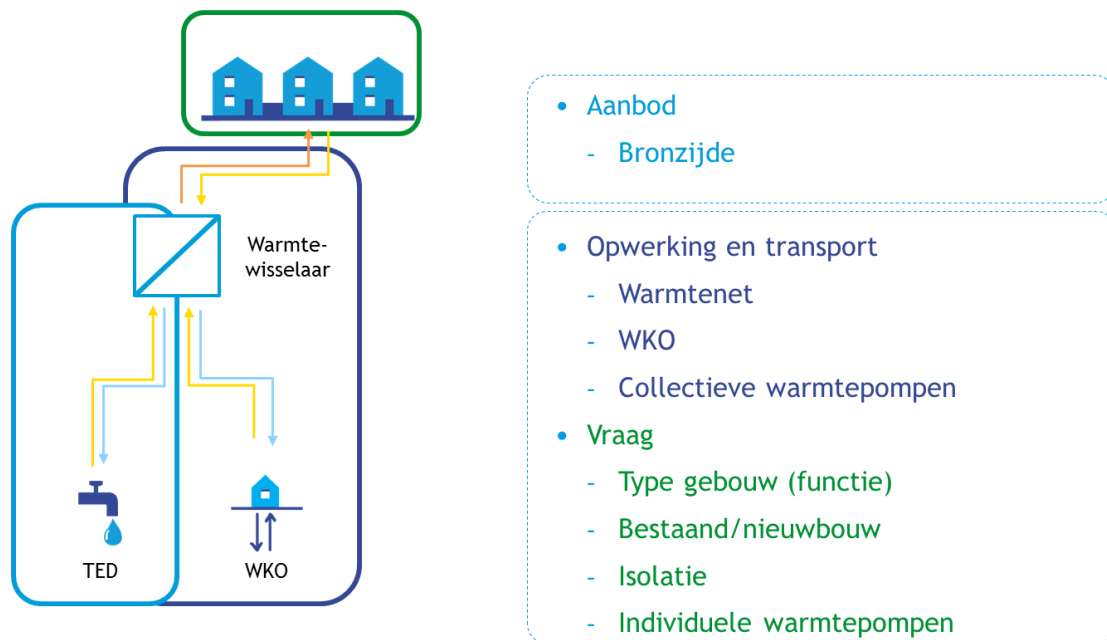
Naast ruwwaterleidingen, heeft de gemeente Leidschendam-Voorburg een netwerk aan drinkwaterleidingen liggen. Er zitten strenge kwaliteitseisen aan de levering van drinkwater. Het te veel opwarmen van dit water draagt risico's met zich mee, maar het afkoelen van dit water in de zomer heeft juist voordelen voor de kwaliteit van het water. Ruwwaterleidingen zijn minder risicovol, aangezien dit rivierwater betreft dat in de duinen wordt geïnfiltreerd voor zuivering tot drinkwater.

Ook de locatie van drinkwaterleidingen is vertrouwelijk. Dunea heeft een kaart met CE Delft gedeeld waarin de drinkwaterleidingen staan ingetekend, met daarbij het potentieel aan aantal woningen dat gebruik zou kunnen maken van warmte uit de drinkwaterleidingen. CE Delft heeft per buurt geanalyseerd hoeveel potentieel er aan warmte in de leidingen zit per buurt, waarbij ook weer in een straal van 500 meter 50% van het potentieel is toegekend aan buurten die grenzen aan buurten met een hoog potentieel, zie Figuur 41. Ook hiervoor geldt dat het winnen van warmte uit de leidingen invloed heeft op het potentieel benedenstrooms.

Figuur 41 - Potentieel warmte uit drinkwaterleidingen



Figuur 42 - De drie componenten van een energiesysteem dat gebruik maakt van energie uit drinkwater



Bron: (CE Delft, 2019).

Conclusies

In de gemeente Leidschendam-Voorburg is de warmtevraagdichtheid op de meeste plekken zeer hoog, zeker in Voorburg en in delen van Leidschendam. Alleen Stompwijk, Schakenbosch, De Rietvink en een aantal buurten op de grens van Leidschendam-Voorburg kennen een lage warmtevraagdichtheid. De gemeente zet in op een reductie van de warmtevraag van 35%. Wanneer, zoals de gemeente voor ogen heeft, alle woningen en utiliteit naar gemiddeld schillabel B worden geïsoleerd, wordt er echter maar een reductie van zo'n 21% van de huidige warmtevraag verwacht. Wanneer alle gebouwen naar gemiddeld schillabel A worden geïsoleerd, wordt wel een reductie in de warmtevraag van rond de 35% verwacht.

Het technisch potentieel aan hogetemperatuuraardwarmte in de gemeente is zeer hoog. De vraag of dit potentieel benut kan worden hangt voornamelijk af van de warmtevraag-dichtheid, de ruimte in het straatprofiel voor de aanleg van een warmtenet en van eventuele aandachtsgebieden in de ondergrond, zoals gebieden met kans op archeologische vondsten. Daarnaast kan de aanleg van een warmtenet worden beperkt door bijvoorbeeld de aanwezigheid van een spoorlijn of snelweg. Naast de geschiktheid van een warmtenet in een buurt moeten ook alle alternatieven voor een warmtenet worden uitgezocht, voordat een keuze kan worden gemaakt voor een bepaalde warmtevoorziening.

Het huidige warmtenet van Den Haag grenst aan verschillende buurten in Leidschendam-Voorburg met een hoge warmtevraagdichtheid. Het aangrenzende Voorburg Noord is waarschijnlijk minder geschikt voor aantakking, vanwege de beperkte ruimte in het straatprofiel. Of het interessant is om aan te takken op het warmtenet Den Haag hangt, naast de in de vorige alinea genoemde aspecten, voornamelijk af van of er extra warmte en capaciteit in het net beschikbaar is voor Leidschendam-Voorburg. Omdat dit warmtenet er al ligt, kan het wel rendabel zijn om slechts één of enkele gebouwblokken te voorzien van warmte in plaats van een hele buurt.

Er is een mogelijk tracé uitgedacht voor het leggen van de leiding LdM+ van de WarmteliQ langs de A4, dwars door de gemeente Leidschendam-Voorburg. Dit betreft hogetemperatuur warmte, waar de gemeente mogelijk ook gebruik van kan maken. Dit is voornamelijk eventueel interessant voor de buurten Bovenveen, Voorburg Midden en Voorburg Oud, omdat deze aan elkaar grenzen, in de buurt liggen van de LdM+ en allen een hoge warmtevraagdichtheid hebben, zonder dat het ruimte in het straatprofiel te beperkt is voor aanleg van een warmtenet.

Naast kansen voor een hogetemperatuurwarmtenet, liggen er in de gemeente ook kansen voor een LT-warmtenet. Zo is het technisch potentieel aan lagetemperatuuraardwarmte in de gemeente zeer hoog. Dit potentieel kan worden benut in een LT-net. Daarnaast zou een LT-net in Leidschendam-Voorburg gevoed kunnen worden met LT-restwarmte of met warmte uit 'de Vliet' of uit waterleidingen van Dunea. Vooral de warmte uit de ruwwaterleidingen en één van de drinkwaterleidingen heeft een heel hoog technisch potentieel. Dit potentieel bevindt zich voornamelijk op de grens van Voorburg en Leidschendam. Wanneer gebruik wordt gemaakt van water uit aquathermie, zal dit wel moeten worden gecombineerd met een wko. In de meeste buurten in de gemeente is het potentieel aan wko groter dan de warmtevraag. Of een wko kan worden toegepast hangt voornamelijk af van de eventuele aandachtsgebieden en de ruimte voor de aanleg van een wko-systeem. Daarnaast is een thermisch evenwicht belangrijk: er moet evenveel warmte- als koudevraag



zijn of er moet voldoende extra koude of warmte aan de bron worden toegevoegd om deze in evenwicht te houden.

De toekomstige elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving zal voornamelijk bestaan uit de huidige elektriciteitsvraag voor apparaten en verlichting, de te verwachten elektrificatie van de personenauto's en de extra elektriciteitsvraag ten gevolge van de inzet van warmtepompen voor de warmtevoorziening. Hoe hoog de elektriciteitsvraag in 2050 zal zijn, hangt vooral af van dit laatste, hoeveel huishoudens en utiliteit er in de toekomst gaan verwarmen met behulp van warmtepompen. De elektriciteitsvraag van de gemeente zal in 2050, afhankelijk van de toekomstige warmtevoorziening, ongeveer een verdubbeling zijn van de huidige elektriciteitsvraag.

Deze elektriciteitsvraag kan lokaal worden ingevuld met zonnepanelen en windturbines. Wanneer het volledig benutbare dakoppervlak wordt bedekt met zon-pv, kan zo'n 40% tot 50% van de toekomstige elektriciteitsvraag van huishoudens en utiliteit hiermee worden gedekt. Naast zon-pv op daken, kunnen panelen ook worden geïntegreerd in gevels, op geluidsschermen of in het asfalt. Het potentieel hiervan is een stuk onzekerder dan dat van zon-pv op daken. Bij benutting van het volledig technisch potentieel, kan hiermee ongeveer 5% van de elektriciteitsvraag worden ingevuld in 2050. Het technisch potentieel van windturbines is vrij hoog in de gemeente Leidschendam-Voorburg, omdat er in het buitengebied theoretisch plek is voor 11 turbines van 5 MW. Er zijn echter meerdere argumenten waardoor het erg moeilijk wordt, en niet wenselijk is, om dit totale potentieel te benutten. Het college wil maximaal meewerken aan plaatsing van 4 windturbines, wat bij kan dragen aan de invulling van zo'n 20% van de elektriciteitsvraag van huishoudens en utiliteit in 2050. In totaal kunnen zon-pv en windturbines zorgen voor de invulling van 60% tot 85% van de toekomstige elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving. De gemeenteraad heeft echter in juni 2020 besloten niet te willen inzetten op windturbines in het buitengebied.

In plaats van het opwekken van elektriciteit uit zon, kan ook warmte worden opgewekt met behulp van zonneboilers. Dit is vooral interessant voor het invullen van de tapwatervraag van huishoudens, maar kan ook eventueel bijdragen aan het leveren van warmte aan een warmtenet. Per m² oppervlak produceert een zonneboiler bijna drie keer zoveel energie als een zonnepaneel. Met zonneboilers kan zo'n 50% van de tapwatervraag worden ingevuld. Naast zonneboilers zijn er ook pvt-systemen die zowel elektriciteit als warmte produceren. Het gebruiken van deze warmte is vooral interessant voor gebouwen die goed geïsoleerd zijn en kunnen worden verwarmd met een lagetemperatuurafgiftesysteem. De opgewekte warmte uit de pvt-panelen kan worden gebruikt als input voor een warmtepomp en daarmee de buitenunit van een warmtepomp vervangen. Het rendement van opwek van elektriciteit van pvt-panelen ligt net iets hoger dan dat van pv-panelen. Daarnaast wekken ze ook veel warmte op, dus in totaal hebben ze een veel hoger rendement.

Bibliografie

Bosch & van Rijn, 2019. *Windenergie gemeente Leidschendam-Voorburg*, Utrecht: Bosch & van Rijn.

CBS, 2018. *Statline: Kerncijfers wijken en buurten 2018*. [Online]
Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2018/30/kerncijfers-wijken-en-buurten-2018>
[Geopend 2020].

CBS, 2019. *Statline: Verkeersprestaties personenauto's; eigendom, brandstof, gewicht, leeftijd*. [Online]
Available at:
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/71107NED/table?ts=1595339828391>
[Geopend 2020].

CE Delft en Generation.Energy, 2019. *Analysekaarten NP RES : verantwoording bronnen en methoden*. [Online]
Available at: <https://www.regionale-energiestrategie.nl/toolbox/analysekaarten+np+res/default.aspx>
[Geopend 2019].

CE Delft, 2019. *Afwegingskader TED : Strategische afwegingen voor thermische energie uit drinkwater*, Delft: CE Delft.

Eerenstein, 2019. *Inventarisatie mogelijkheden zonnepanelen-geluidswal langs de A9 bij Heiloo*, sl: Renergize consultancy.

Gemeente Leidschendam-Voorburg, 2020. *Visie en uitgangspuntennotitie Lokale Energie Strategie*, Leidschendam-Voorburg: Gemeente Leidschendam-Voorburg.

Helden, v., Roossien & Mimpfen, 2013. Maximalisering zonne-energie per vierkante meter met PVT. Duurzaam verwarmingssysteem Rijksgebouwendienst Zoetermeer. *Verwarming en Ventilatie*, 2013(70), pp. 82-85, 87.

Majcen, D. & Itard, L., 2014. *Relatie tussen huishoudenskenmerken en -gedrag, energielabel en werkelijk energiegebruik in Amsterdamse corporatiewoningen*, Delft: TU Delft, OTB-onderzoek.

NP RES, 2020. *Factsheet Elektriciteit : Achtergrondinformatie per elektriciteitsbron*. [Online]
Available at: <https://regionale-energiestrategie.nl/bibliotheek/elektriciteit/1654079.aspx?t=NP-RES-Factsheet-Elektriciteit>
[Geopend 2020].

PBL, 2019. *Advies Voorjaarsronde SDE+ 2020*, Den Haag: Sander Lensink (Redactie).

Provincie Zuid-Holland, 2019. *Signaleringskaarten Bodem en Ondergrond*. [Online]
Available at:
<https://pzh.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=6d2ce193ab7d4bc3a15aae>



b5240df0bc
[Geopend 2020].

RVO, 2014. *Opbrengst van zonnestroomsystemen in Nederland : Een analyse ten behoeve de bepaling van een nieuw kengetal zon-PV voor het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

RVO, 2019. *WarmteAtlas*. [Online]
Available at: <http://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>
[Geopend 3 juli 2019].

RVO, lopend-a. *WKO-bodemenergietool : Ontdek de mogelijkheden van bodemenergie*. [Online]
Available at: <https://wkotool.nl/>
[Geopend 2020].

RVO, lopend-b. *On-line Tool Warmteatlas*. [Online]
Available at:
<https://pzh.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=6d2ce193ab7d4bc3a15aaeb5240df0bc>
[Geopend 2020].

SEAC ; UU ; TKI Urban Energy, 2017. *ROADMAP PV Systemen en Toepassingen*. [Online]
Available at: <https://www.uu.nl/sites/default/files/roadmap-pv-systemen-en-toepassingen-final.pdf>
[Geopend 2020].

Sipma, 2014. *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector*, Amsterdam/Petten: ECN.

STOWA, 2018. *Zon op Dijken. Verkennend en ontwerpelijk vooronderzoek*, Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

Wareco, 2020. *Ondergrondse ruimte voor warmtenetten Leidschendam-Voorburg*, Amstelveen: Wareco Ingenieurs.

A Kengetallen energievraag

Tabel 8 - Warmtevraag ruimteverwarming utiliteit, bron Functioneel Ontwerp Vesta 4.0

BAG-functie	Huidige warmtevraag (GJ/m ² /jaar)				
	0-1919	1920-1974	1975-1989	1990-1994	1995-2017
Winkel	0,394	0,394	0,312	0,281	0,24
Logies	0,432	0,432	0,432	0,394	0,32
Gezondheidszorg	0,429	0,429	0,384	0,362	0,343
Kantoor	0,433	0,433	0,357	0,32	0,268
Bijeenkomst	0,645	0,645	0,598	0,583	0,505
Onderwijs	0,356	0,356	0,307	0,27	0,262
Sport	0,437	0,437	0,388	0,386	0,329
Cel	0,543	0,543	0,517	0,499	0,451
Overig	0,301	0,301	0,228	0,22	0,177

Tabel 9 - Huidige functionele vraag elektriciteit utiliteit

Functionele vraag	BAG-functie	Vraag (GJ/m ² /jaar)
Warm tapwater	Winkelfunctie	0,006
Warm tapwater	Logiesfunctie	0,065
Warm tapwater	Gezondheidszorgfunctie	0,095
Warm tapwater	Kantoorfunctie	0,006
Warm tapwater	Bijeenkomstfunctie	0,065
Warm tapwater	Onderwijsfunctie	0,0073
Warm tapwater	Sportfunctie	0,0789
Warm tapwater	Celfunctie	0,065
Koude	Winkelfunctie	0,011
Koude	Logiesfunctie	0,077
Koude	Gezondheidszorgfunctie	0,03
Koude	Kantoorfunctie	0,034
Koude	Bijeenkomstfunctie	0,077
Koude	Onderwijsfunctie	0,002
Koude	Sportfunctie	0
Koude	Celfunctie	0,077
Ventilatie	Winkelfunctie	0,008
Ventilatie	Logiesfunctie	0,048
Ventilatie	Gezondheidszorgfunctie	0,046
Ventilatie	Kantoorfunctie	0,019
Ventilatie	Bijeenkomstfunctie	0,048
Ventilatie	Onderwijsfunctie	0,009
Ventilatie	Sportfunctie	0,081
Ventilatie	Celfunctie	0,048
Apparatuur	Winkelfunctie	0,546
Apparatuur	Logiesfunctie	0,361
Apparatuur	Gezondheidszorgfunctie	0,312
Apparatuur	Kantoorfunctie	0,292
Apparatuur	Bijeenkomstfunctie	0,361
Apparatuur	Onderwijsfunctie	0,145

Functionele vraag	BAG-functie	Vraag (GJ/m ² /jaar)
Apparatuur	Sportfunctie	0,187
Apparatuur	Celfunctie	0,361
Hulpenergie	Winkelfunctie	0,01
Hulpenergie	Logiesfunctie	0,019
Hulpenergie	Gezondheidszorgfunctie	0,016
Hulpenergie	Kantoorfunctie	0,007
Hulpenergie	Bijeenkomstfunctie	0,019
Hulpenergie	Onderwijsfunctie	0,0085
Hulpenergie	Sportfunctie	0,0422
Hulpenergie	Celfunctie	0,019

Bron: SWING (RVO).

Tabel 10 - Percentages energiebesparing woningbouw, van huidig label naar label B

Huidig label	Besparing naar label B
G	-32%
F	-29%
E	-24%
D	-16%
C	-9%
B	0%
A	0%

Bron: (Majcen & Itard, 2014).

Tabel 11 - Warmtevraag ruimteverwarming utiliteit na besparing naar schillabel B

BAG-functie	Warmtevraag schillabel B (GJ/m ² /jaar)				
	0-1919	1920-1974	1975-1989	1990-1994	1995-2017
Winkel	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11
Logies	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
Gezondheidszorg	0,39	0,37	0,34	0,31	0,3
Kantoor	0,27	0,24	0,22	0,22	0,21
Bijeenkomst	0,21	0,34	0,41	0,4	0,34
Onderwijs	0,16	0,15	0,13	0,12	0,12
Sport	0,32	0,34	0,31	0,3	0,28
Cel	0,38	0,38	0,33	0,3	0,3
Overig	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11

Bron: (Sipma, 2014).

B Uitkomsten per buurt

In deze bijlage staan de uitkomsten per buurt voor warmte en elektriciteit. De uitkomsten voor warmte bevatten de volgende onderdelen:

- Warmtevraag. Zowel de huidige (2018) als de toekomstige warmtevraag zijn berekend van zowel woningen als utiliteit per buurt, zoals beschreven in Paragraaf 2.2.1 en 2.3.1. De huidige warmtevraag is weergegeven met de gele stippellijn.
- Potentieel warmteaanbod. Het potentieel van het warmteaanbod geeft de gegevens weer per buurt van bodemenergie wat beschreven staat in Hoofdstuk 6. De potentie van vier typen bodemenergie worden individueel weergegeven. Indien de potentie meer is dan 150% van de huidige warmtevraag, wordt de potentie afgekapd op 150% van de huidige warmtevraag. Dit wordt weergegeven met de blauwe stippellijn.
- Potentieel warmteaanbod in combinatie met wko. Aquathermie is een warmtebron die met name ingezet wordt in combinatie met wko-systemen. Om van deze bron gebruik te kunnen maken dient de bodem geschikt te zijn voor een wko-systeem, en moet er bij een eventuele verdere planningsfase en kostenberekening ook rekening worden gehouden met de aanleg van een wko (of een andere seizoensopslag).

De uitkomsten van elektriciteit bevatten de volgende onderdelen:

- Elektriciteitsvraag. Dit betreft de huidige en toekomstige elektriciteitsvraag van zowel woningen als utiliteit, zie Hoofdstuk 2. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen de elektriciteitsvraag van apparaten en verlichting, en de potentiële extra vraag als gevolg van de verduurzaming van de warmtevoorziening en mobiliteit. Voor de verduurzaming van de warmtevoorziening is gerekend met de maximale elektriciteitsvraag als alle gebouwen over zouden gaan op een hybride warmtepomp of een all electric warmtepomp. Dit geeft de maximale extra elektriciteitsvraag weer, wat inzicht geeft in wat er nodig zou zijn voor elektriciteitsopwekking als alle gebouwen een warmtepomp krijgen. In werkelijkheid zullen waarschijnlijk niet alle gebouwen overgaan op een (hybride) warmtepomp.
- De verduurzaming van mobiliteit weerspiegelt de elektrificatie van het personenvervoer.
- Huidig zon-pv geeft weer hoeveel er momenteel wordt opgewekt aan elektriciteit met geïnstalleerde zonnepanelen.
- Potentieel zon-pv geeft de potentie weer van de toepassingen zon op kleine daken, zon op grote daken en zon op gevels, zie Hoofdstuk 3.

Op de volgende pagina wordt eerst een tabel getoond met alle buurten met daarbij de geschiktheid voor een warmtenet op basis van de volgende criteria:

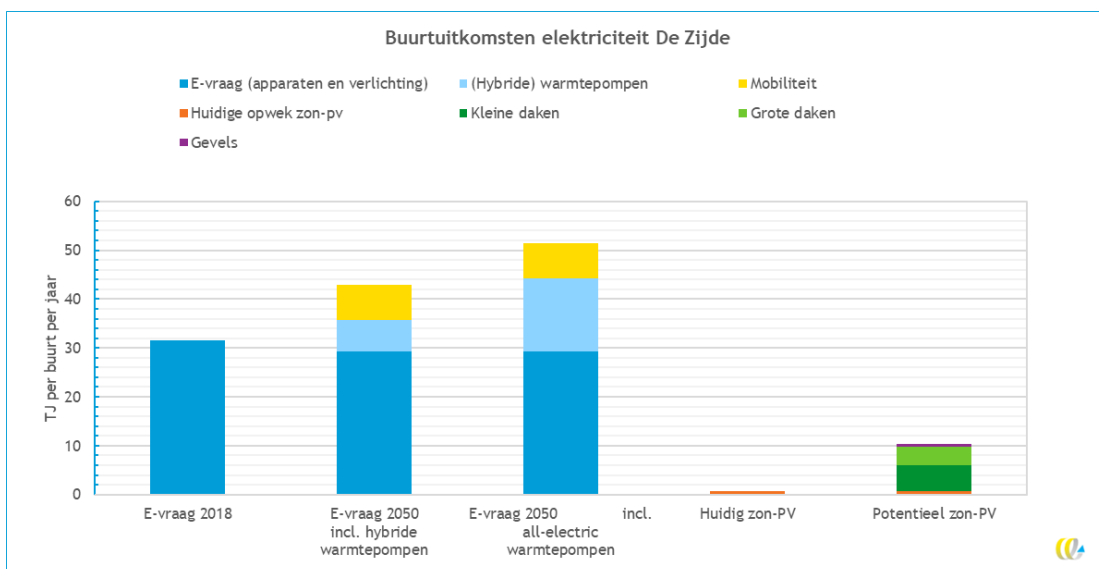
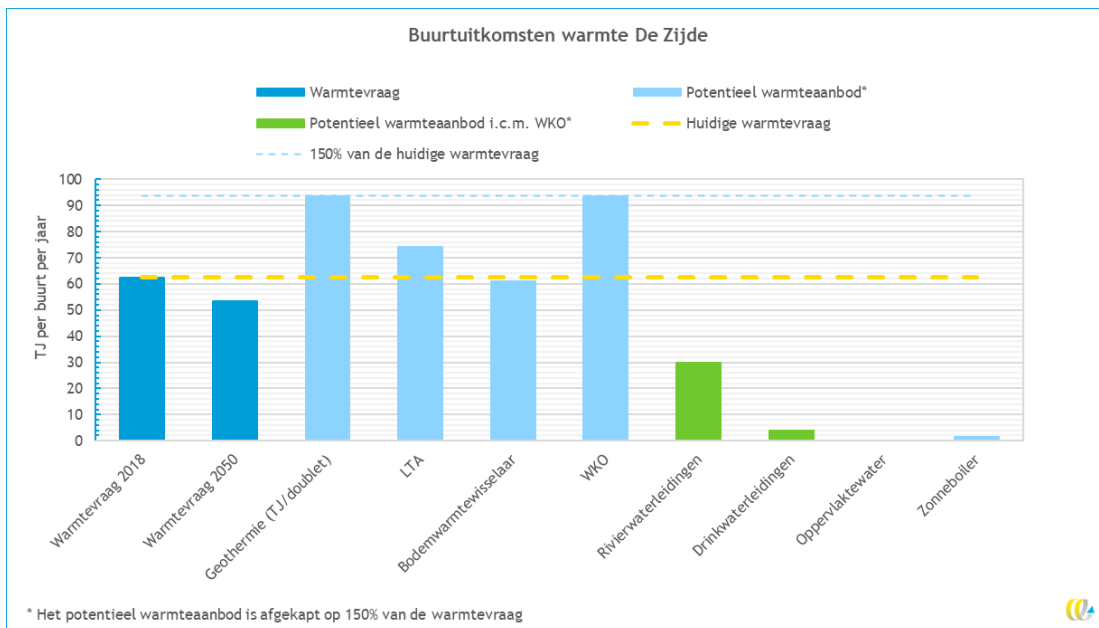
- warmtevraagdichtheid;
- ruimte in het straatprofiel;
- kosten voor archeologisch onderzoek.

Tabel 12 Buurten met geschiktheid warmtenet op basis van een aantal criteria

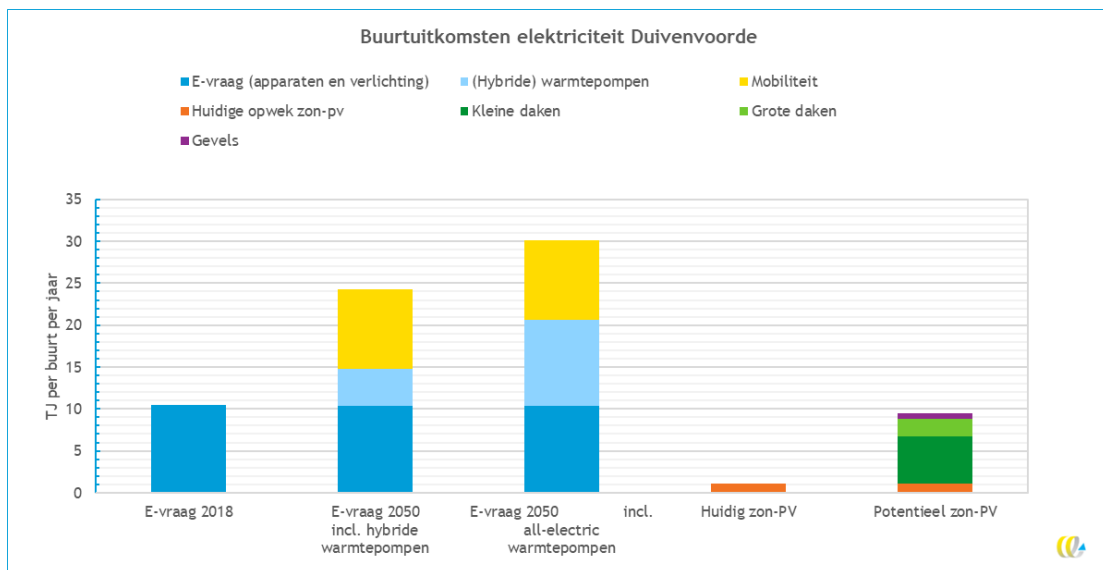
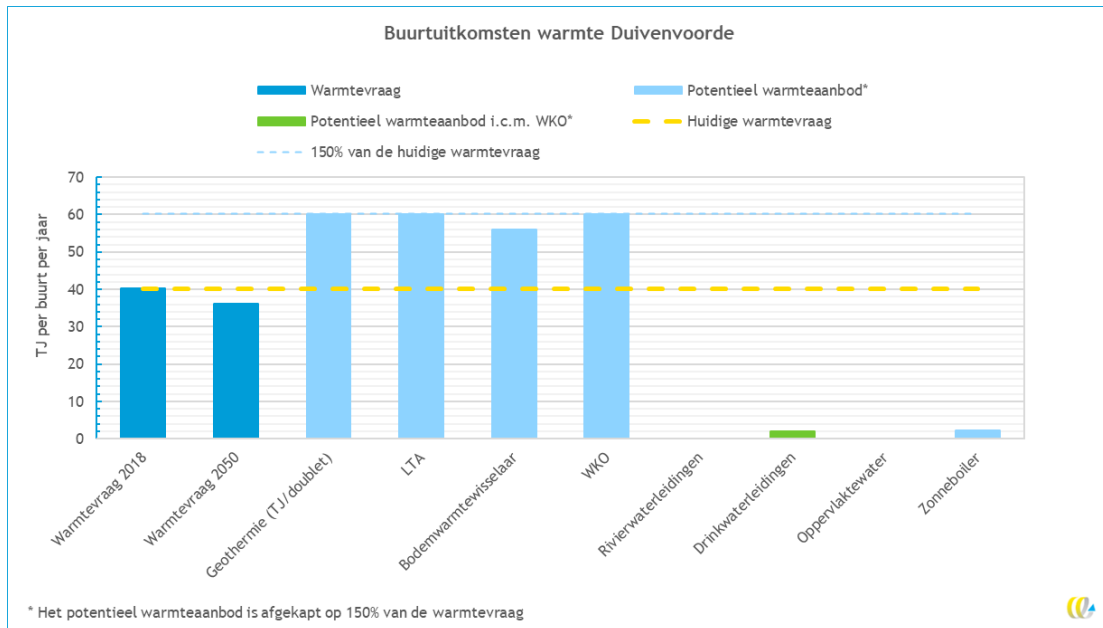
Buurtnaam	CBS-buurtcode	Warmtevraag- dichtheid	Ruimte in het straatprofiel	Kosten archeologisch onderzoek ⁴
De Zijde	BU19160100	Zeer geschikt	Geschikt	Normaal/kostenverhogend
Duivenvoorde	BU19160101	Geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend/normaal
Park Veursehout	BU19160102	Mogelijk geschikt	Mogelijk geschikt	Normaal/kostenverhogend
Leidsenhage	BU19160103	Niet geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend
Schakenbosch	BU19160104	Niet geschikt	Geschikt	Kostenverhogend
Prinsenhof hoogbouw	BU19160200	Zeer geschikt	Zeer geschikt	Kostenverhogend
Prinsenhof laagbouw	BU19160201	Matig geschikt	Zeer geschikt	Kostenverhogend
't Lien	BU19160300	Geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend
De Rietvink	BU19160301	Niet geschikt	Mogelijk geschikt	No go
Kern Stompwijk	BU19160400	Niet geschikt	Niet geschikt	Kostenverhogend/normaal
Landelijk gebied Stompwijk	BU19160401	Niet geschikt	Geschikt	Normaal/Kostenverhogend
Damcentrum	BU19160500	Zeer geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend/no go
Klein Plaspoelpolder	BU19160501	Zeer geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend
Leidschendam-Zuid	BU19160502	Matig geschikt	Geschikt	Normaal/kostenverhogend
Zeeheldenwijk	BU19160503	Zeer geschikt	Matig geschikt	Kostenverhogend/normaal
De Heuvel	BU19160600	Zeer geschikt	Zeer geschikt	Kostenverhogend
Amstelwijk	BU19160601	Mogelijk geschikt	Zeer geschikt	Kostenverhogend
Damsigt	BU19160700	Mogelijk geschikt	Matig geschikt	Kostenverhogend/no go
Verzetsheldenwijk	BU19160701	Geschikt	Matig geschikt	Kostenverhogend/no go
Raadhuiskwartier	BU19160702	Zeer geschikt	Geschikt	Kostenverhogend
Sijtwende 3 t/m 5	BU19160703	Niet geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend/no go
Essesteijn	BU19160800	Geschikt	Geschikt	Kostenverhogend/normaal
Nieuw Essesteijn / Zijdezigt	BU19160801	Mogelijk geschikt	Geschikt	Kostenverhogend/normaal
Voorburg Midden	BU19160900	Zeer geschikt	Geschikt	Kostenverhogend
Voorburg Oud	BU19160901	Zeer geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend/no go
Bovenveen	BU19161000	Zeer geschikt	Geschikt	Normaal/kostenverhogend
Voorburg Noord	BU19161100	Zeer geschikt	Matig geschikt	Normaal/kostenverhogend
Voorburg West	BU19161200	Zeer geschikt	Mogelijk geschikt	Kostenverhogend/no go
Park Leeuwenbergh	BU19161201	Mogelijk geschikt	Niet geschikt	Kostenverhogend

⁴ De eerstgenoemde term betekent dat dit voor het grootste gedeelte van de buurt geldt. Wanneer er een tweede term wordt genoemd, betekent dit dat dit voor een significant gedeelte van de buurt geldt. Wanneer een buurt voor een heel klein deel binnen een bepaalde categorie valt, is dit niet genoemd.

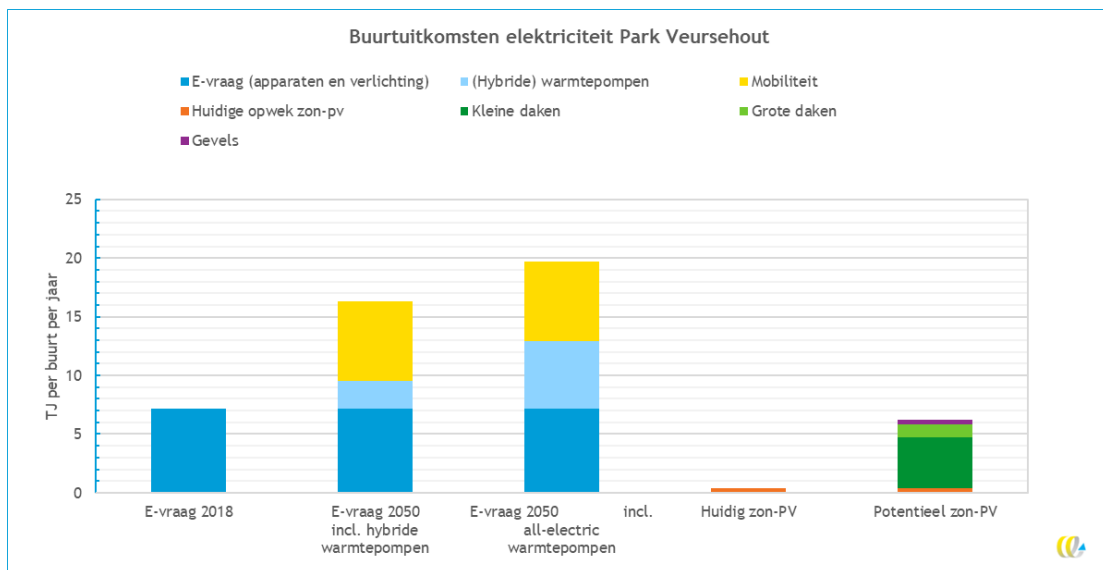
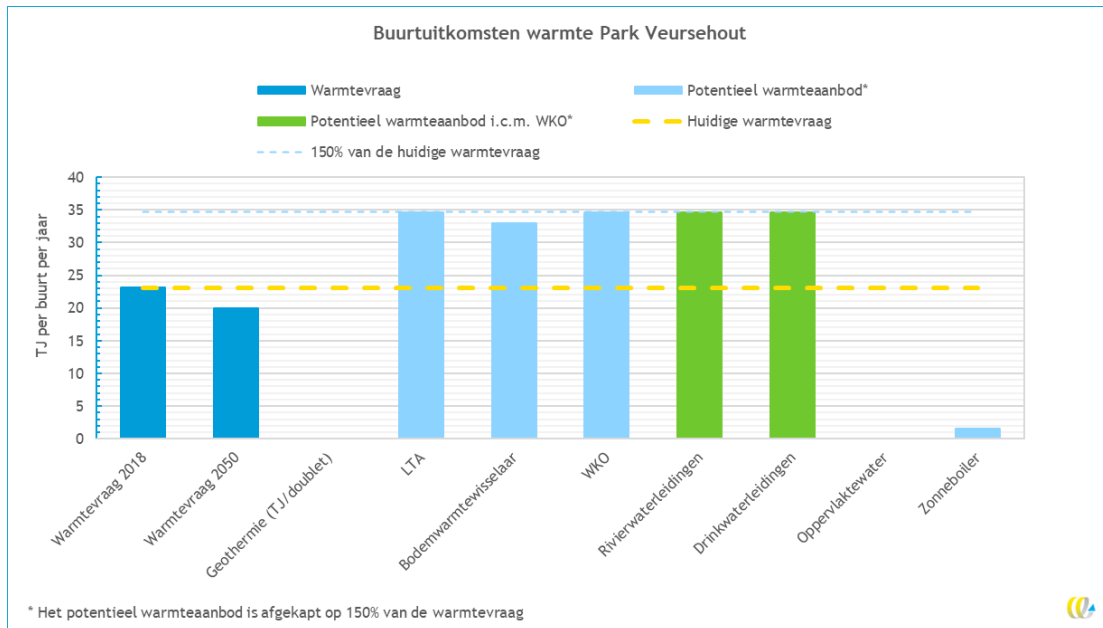
De Zijde



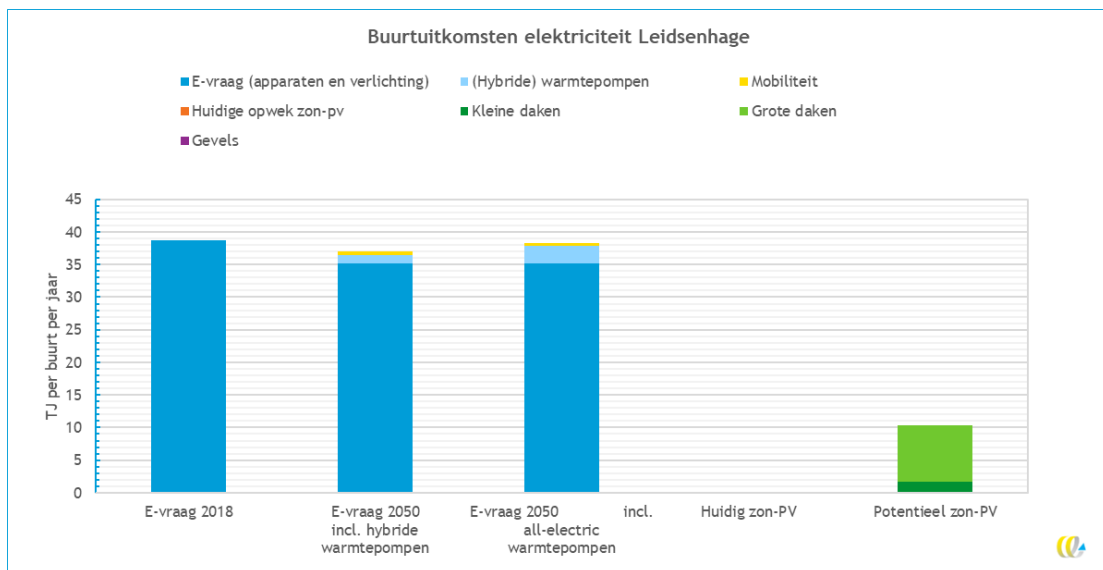
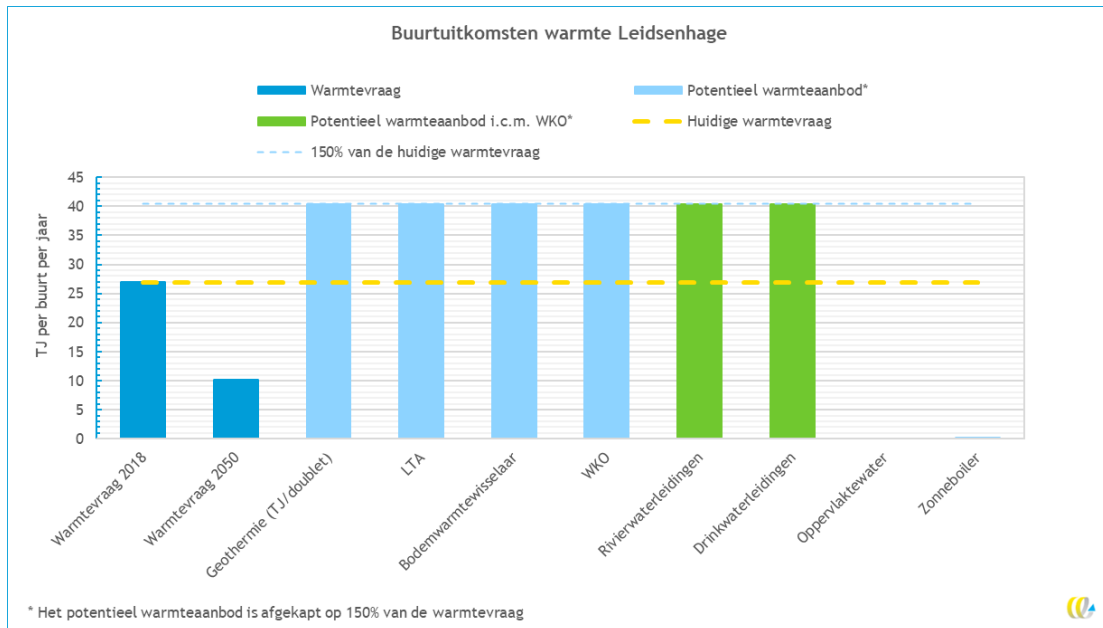
Duivenvoorde



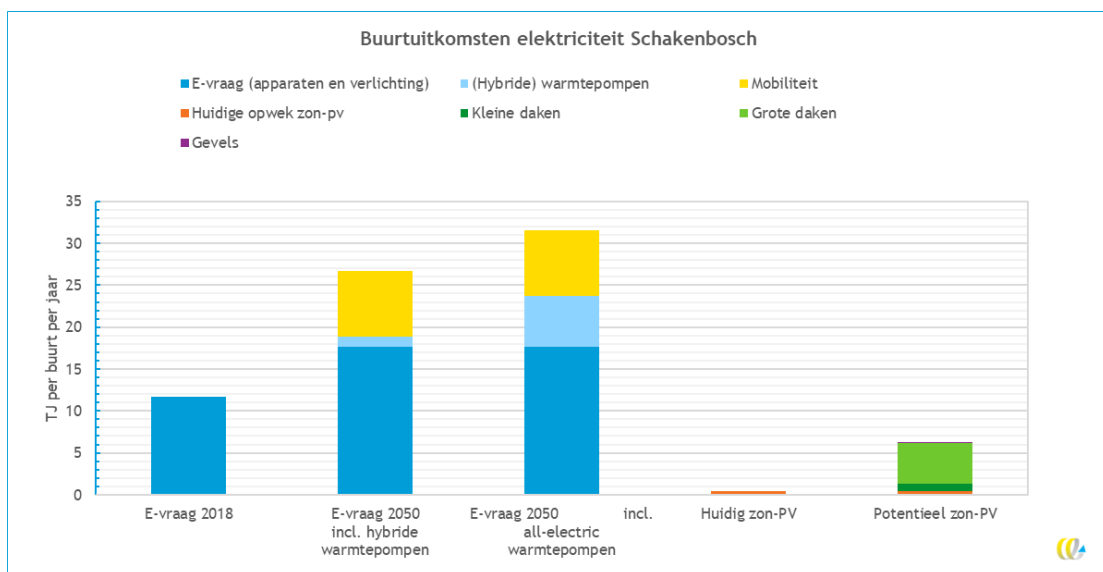
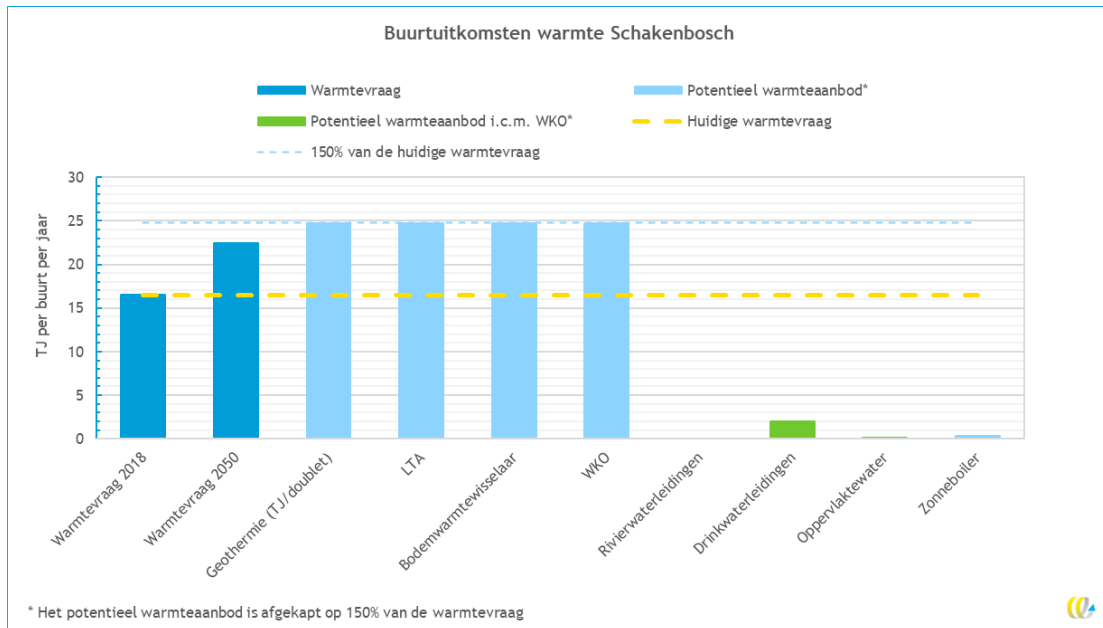
Park Veursehout



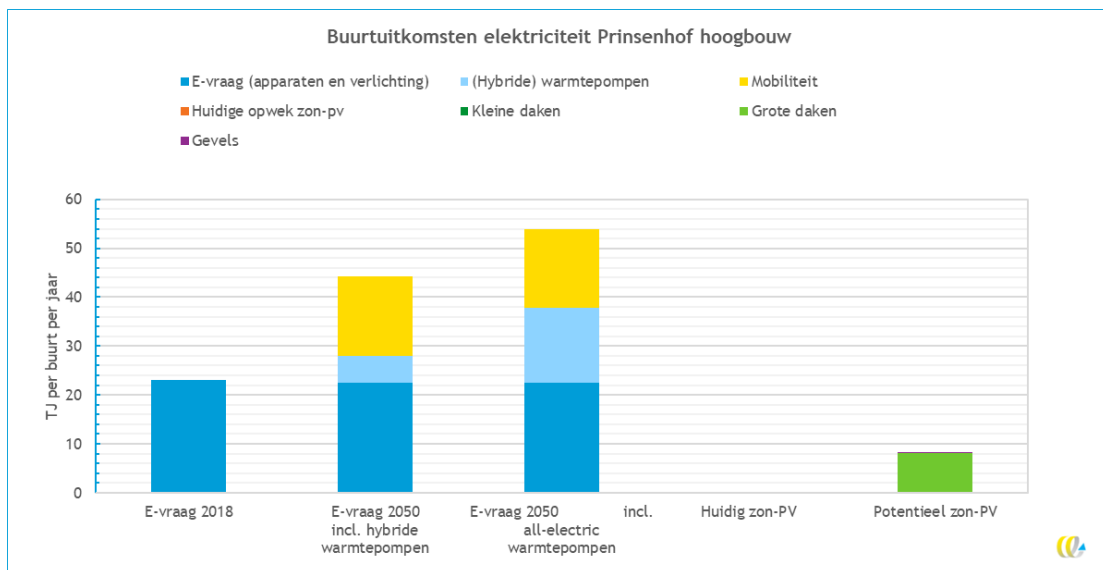
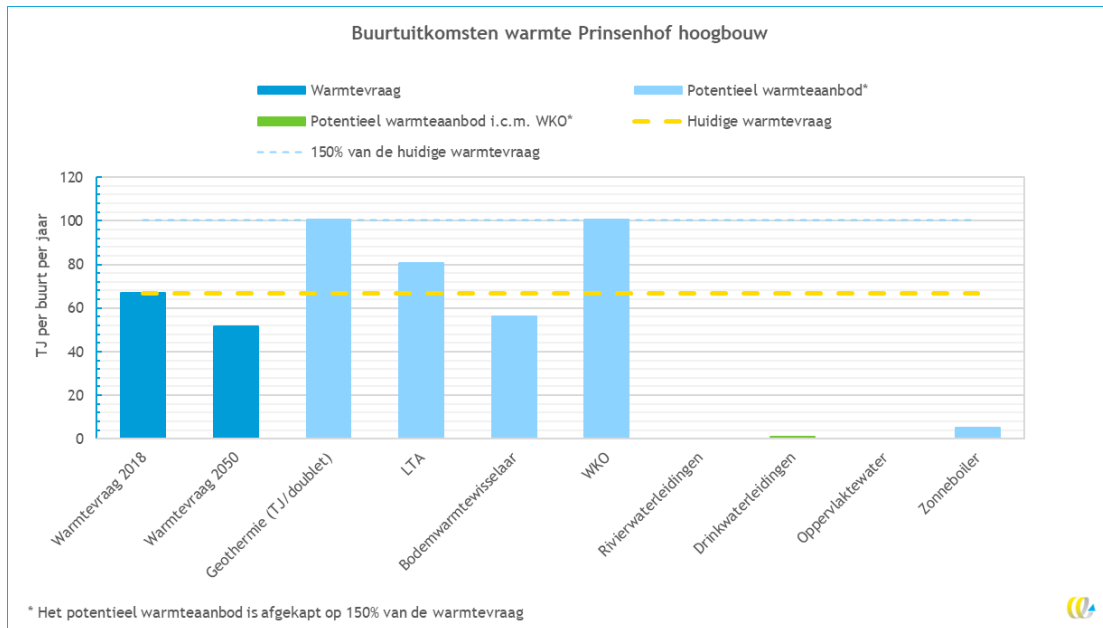
Leidsenhage



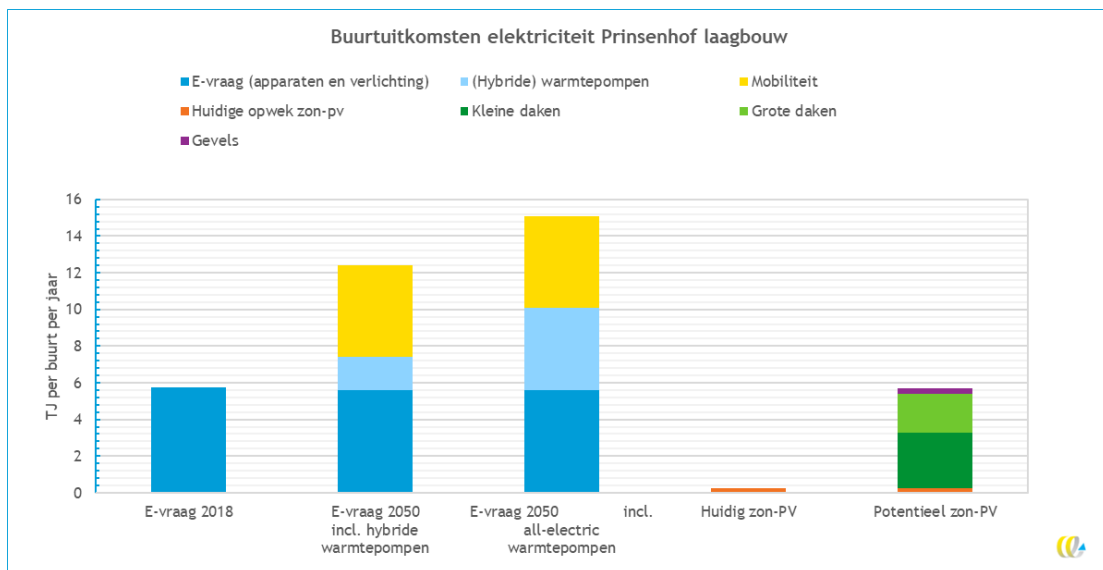
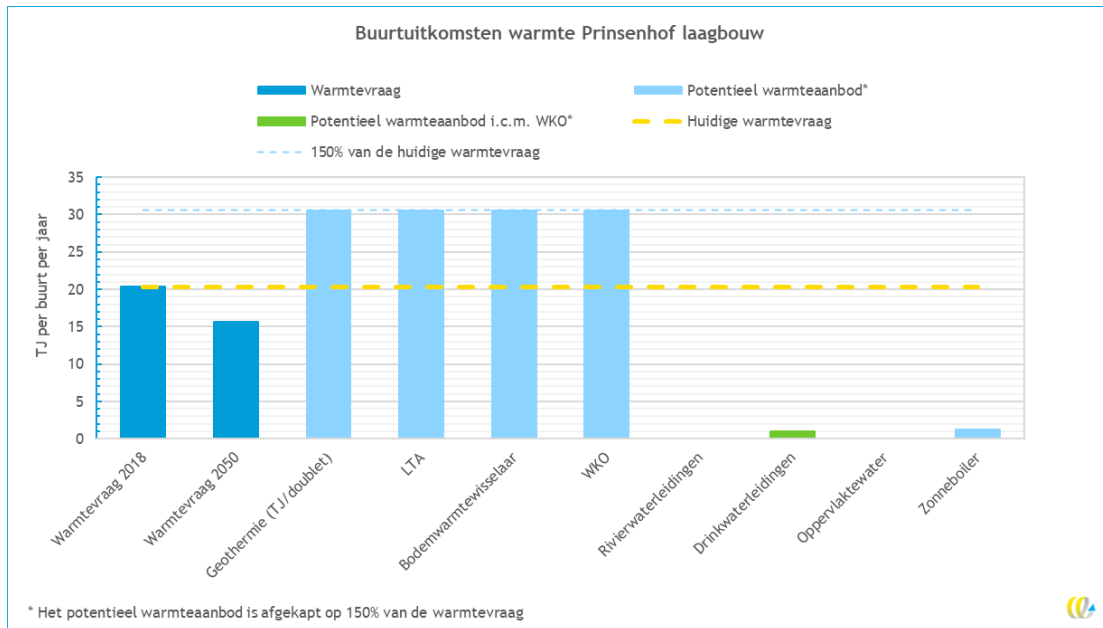
Schakenbosch



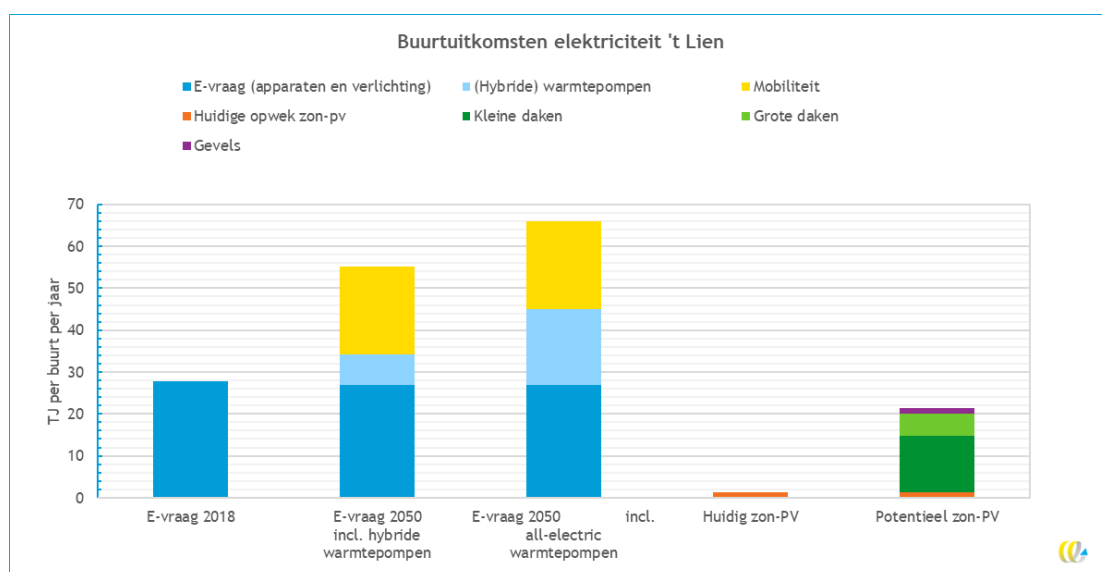
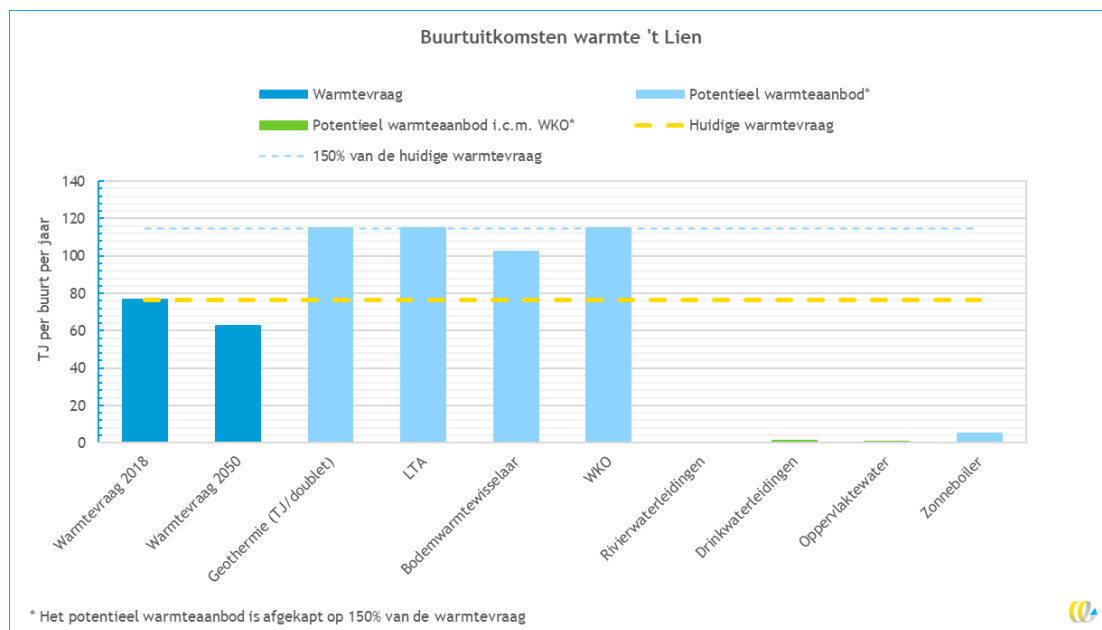
Prinsenhof hoogbouw



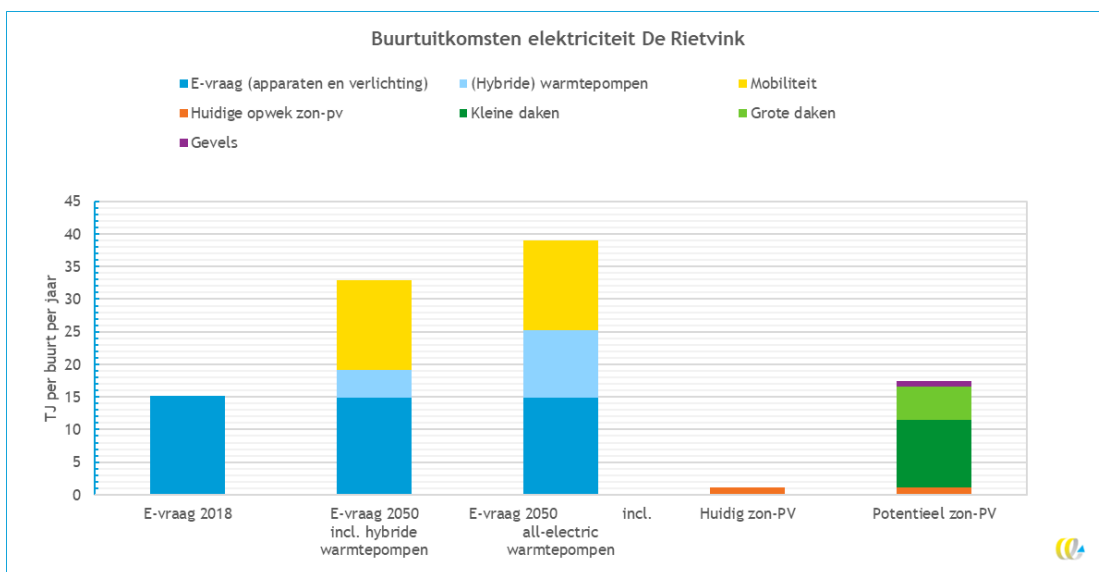
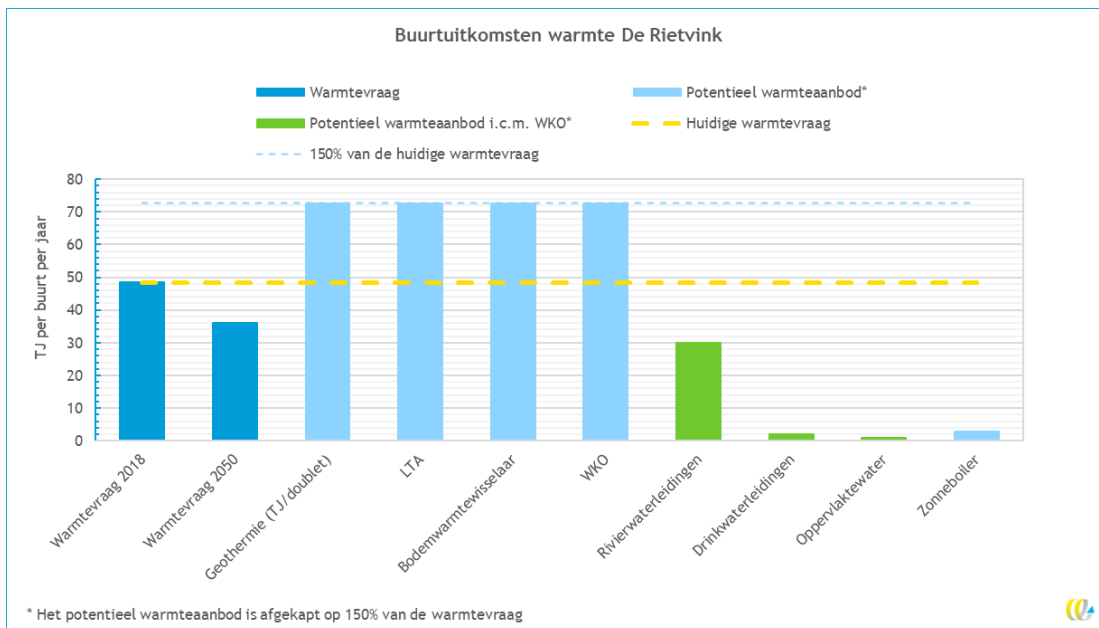
Prinsenhof laagbouw



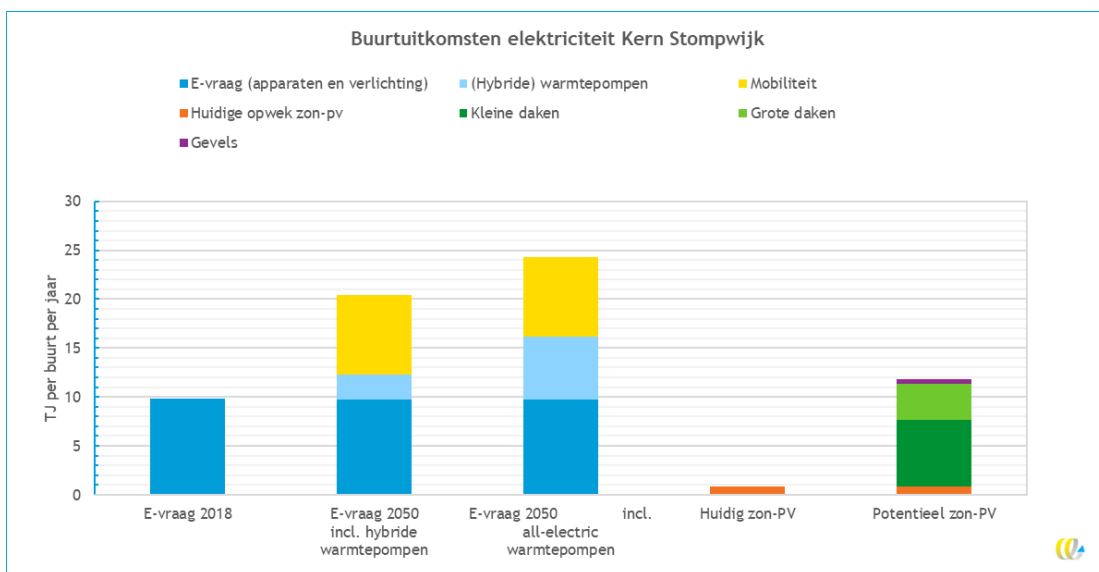
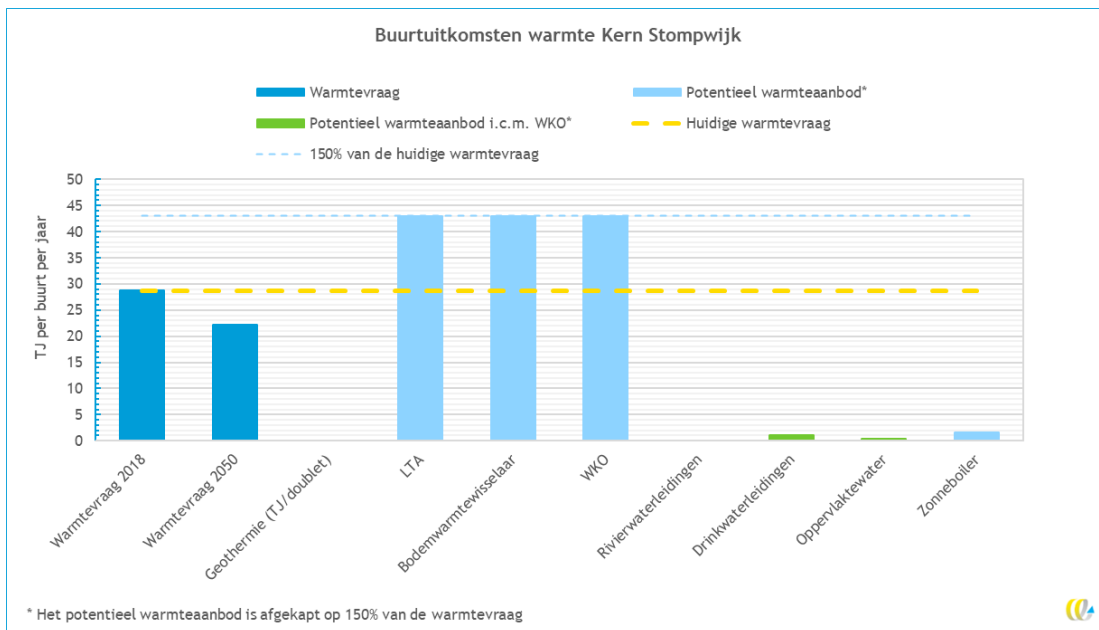
't Lien



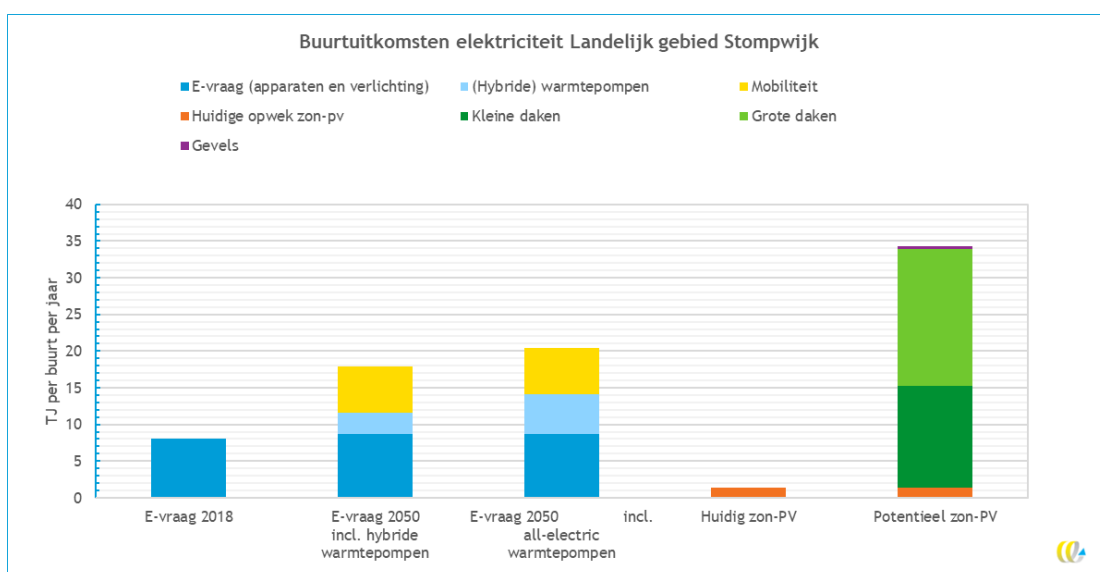
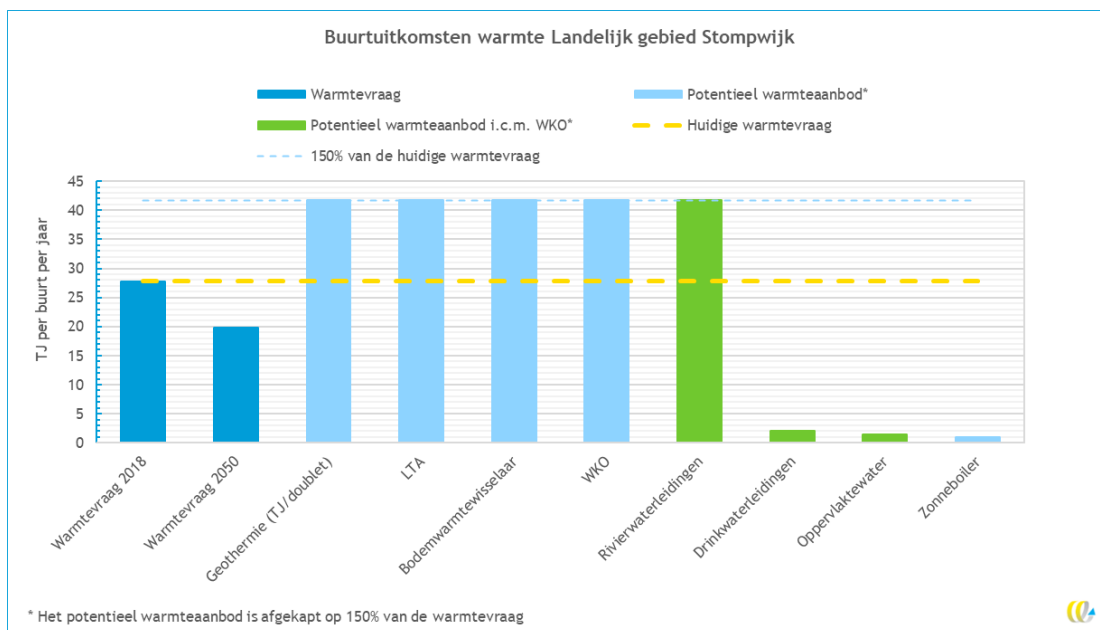
De Rietvink



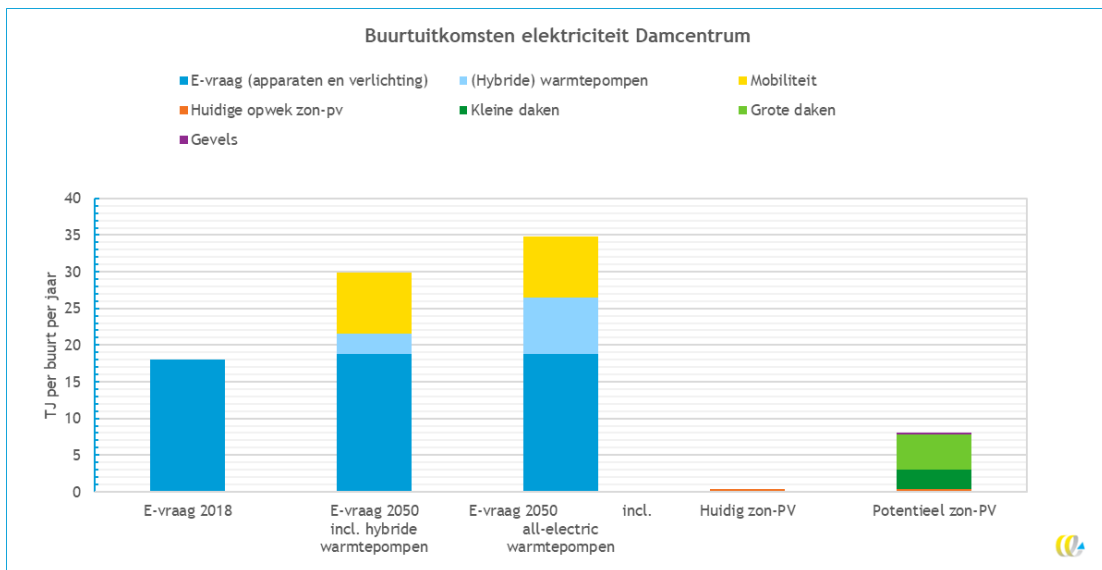
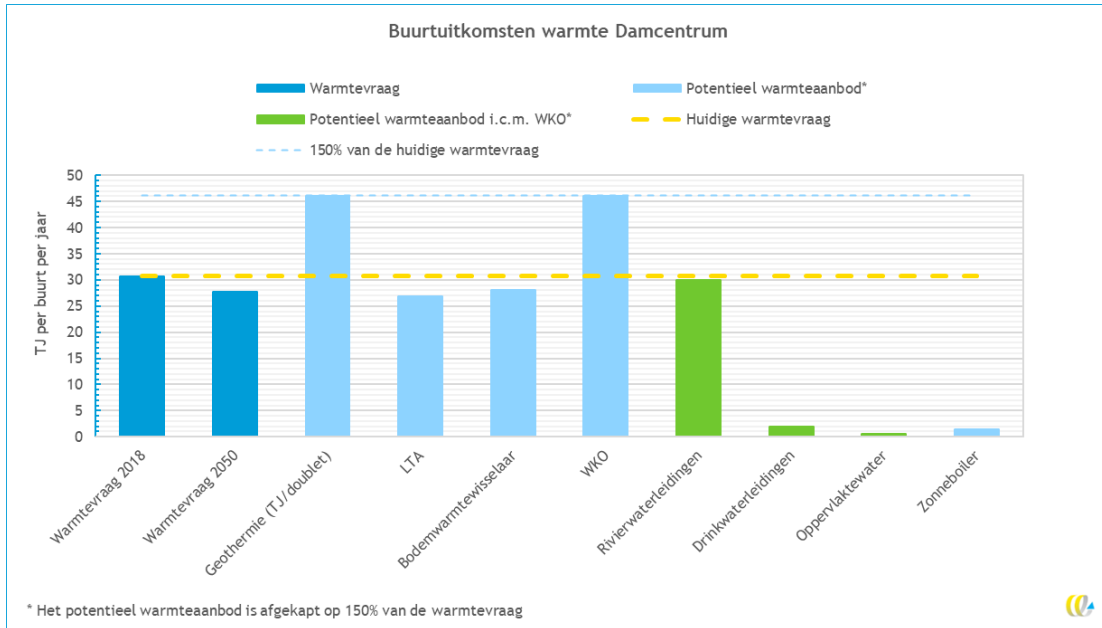
Kern Stompwijk



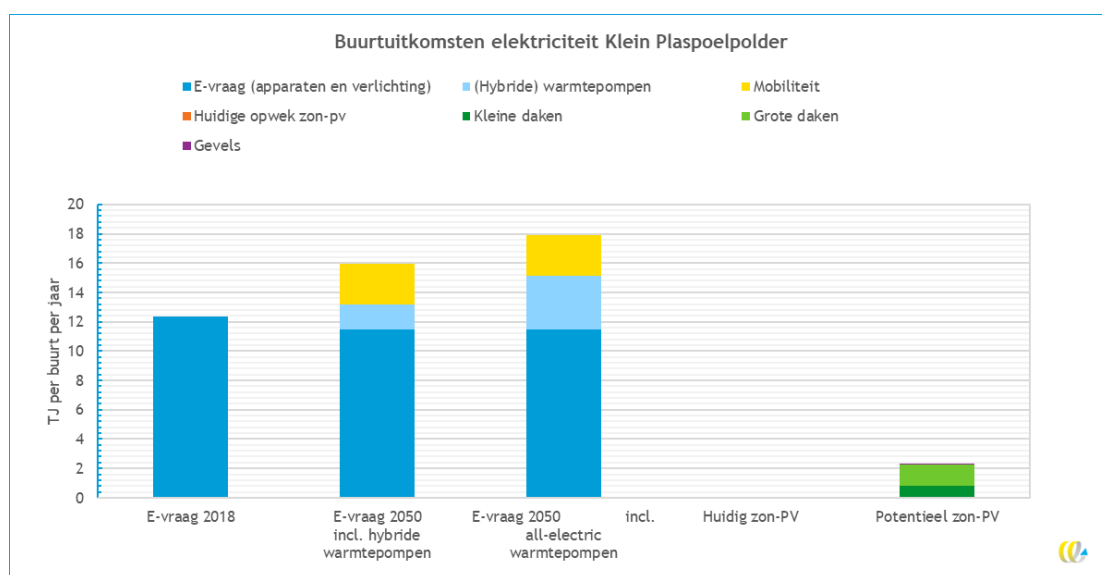
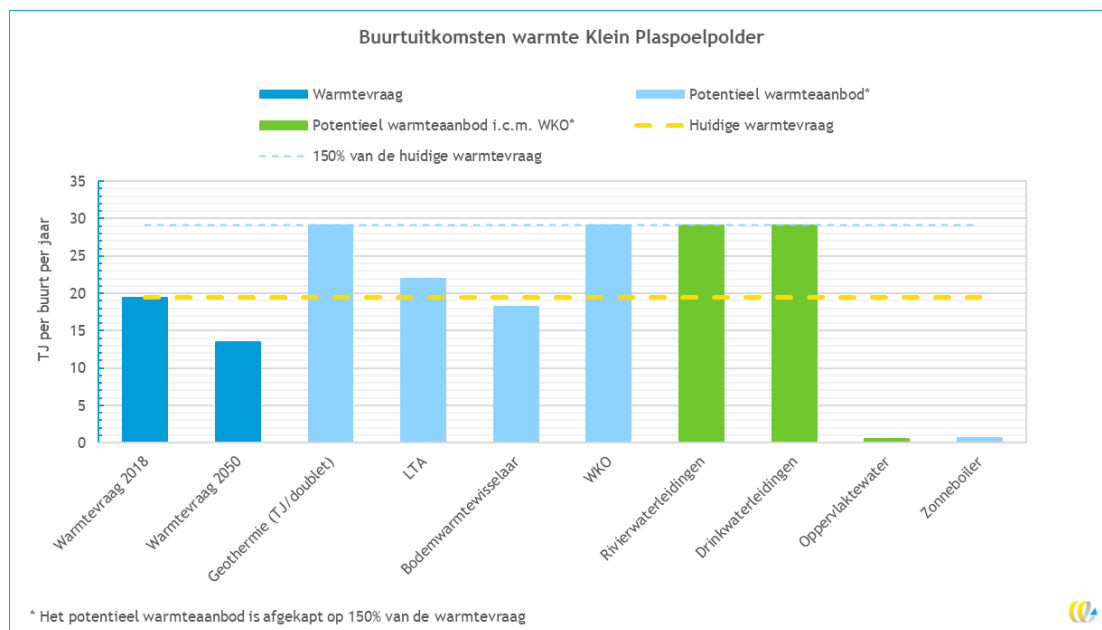
Landelijk gebied Stompwijk



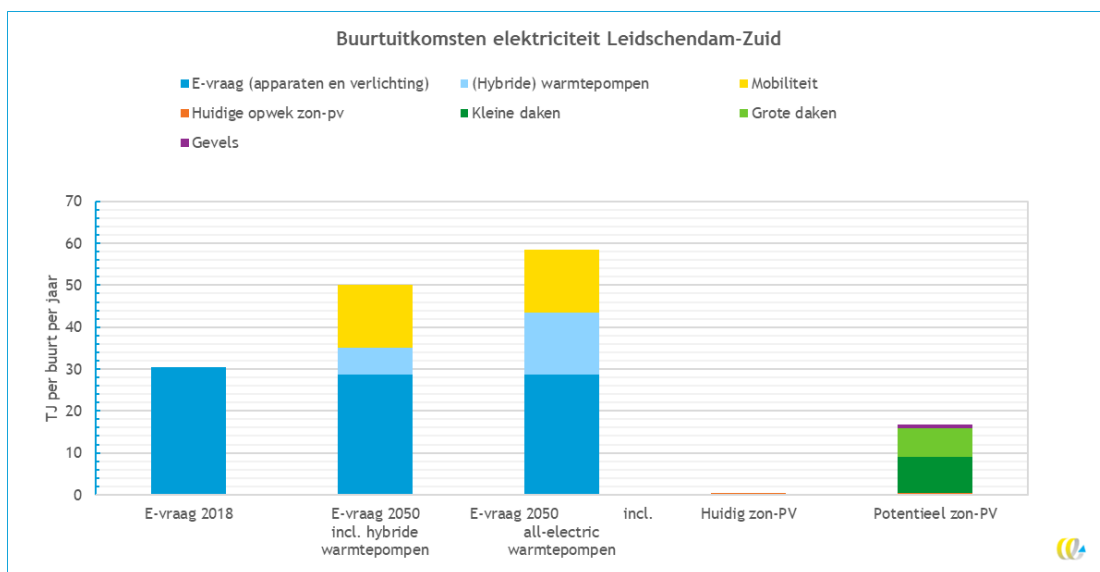
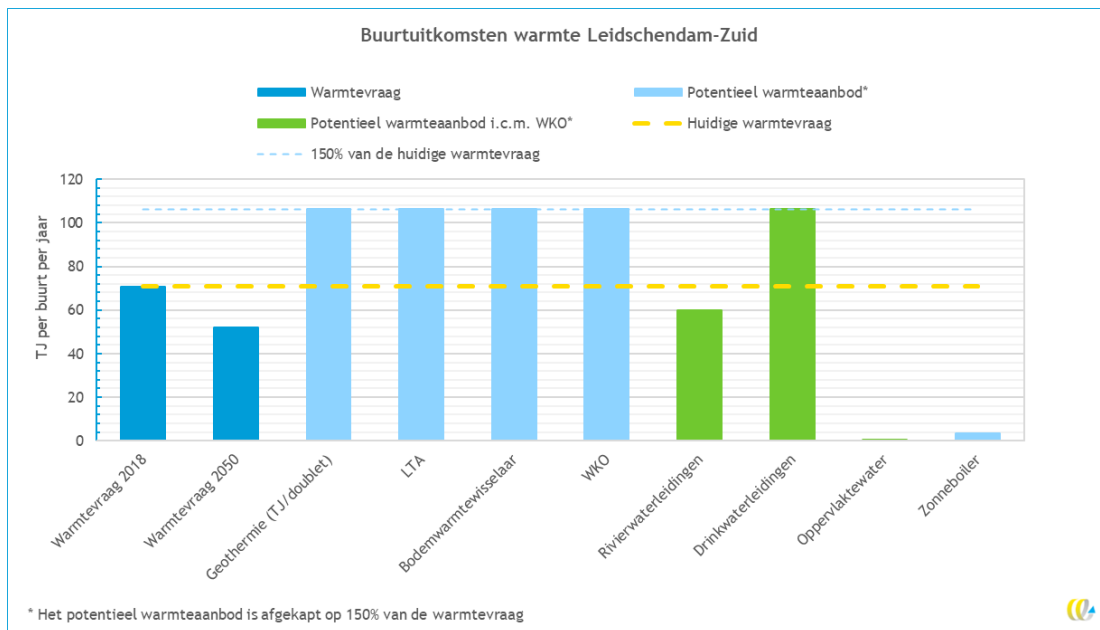
Damcentrum



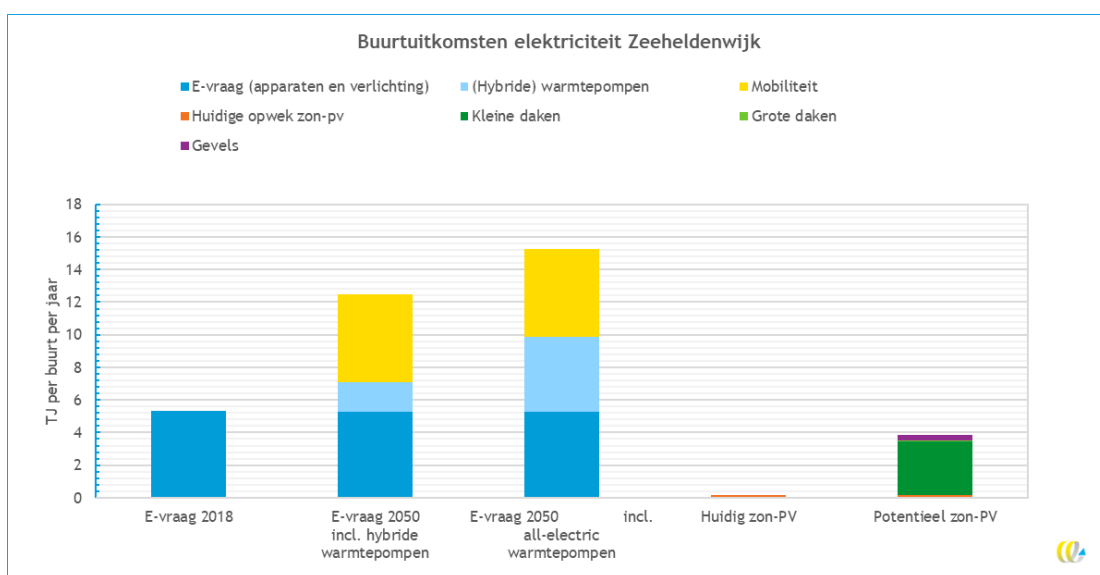
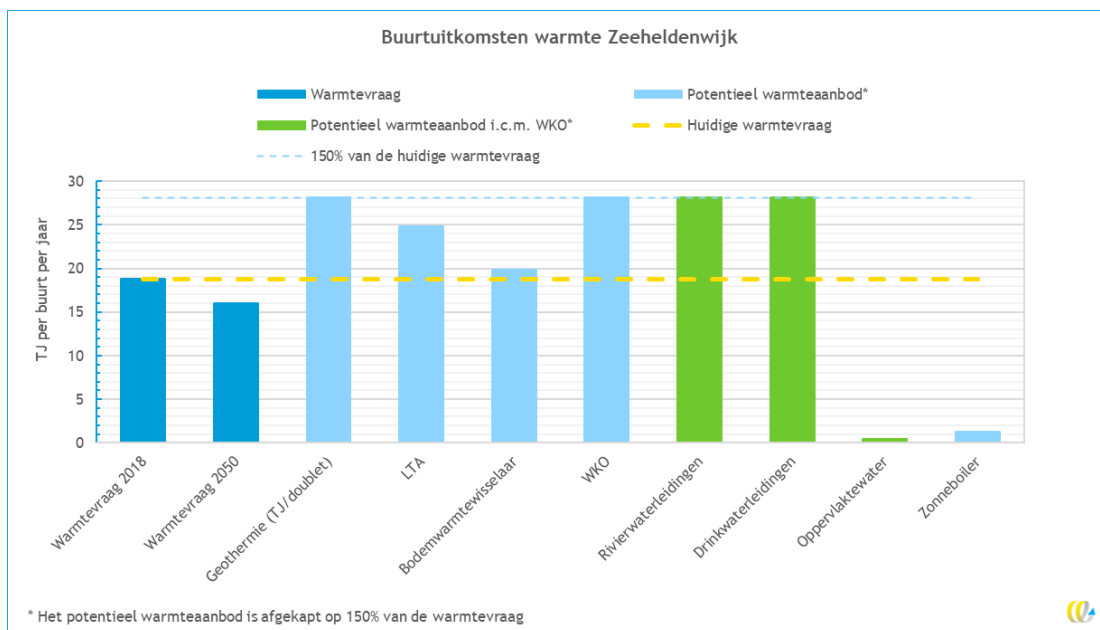
Klein Plaspoelpolder



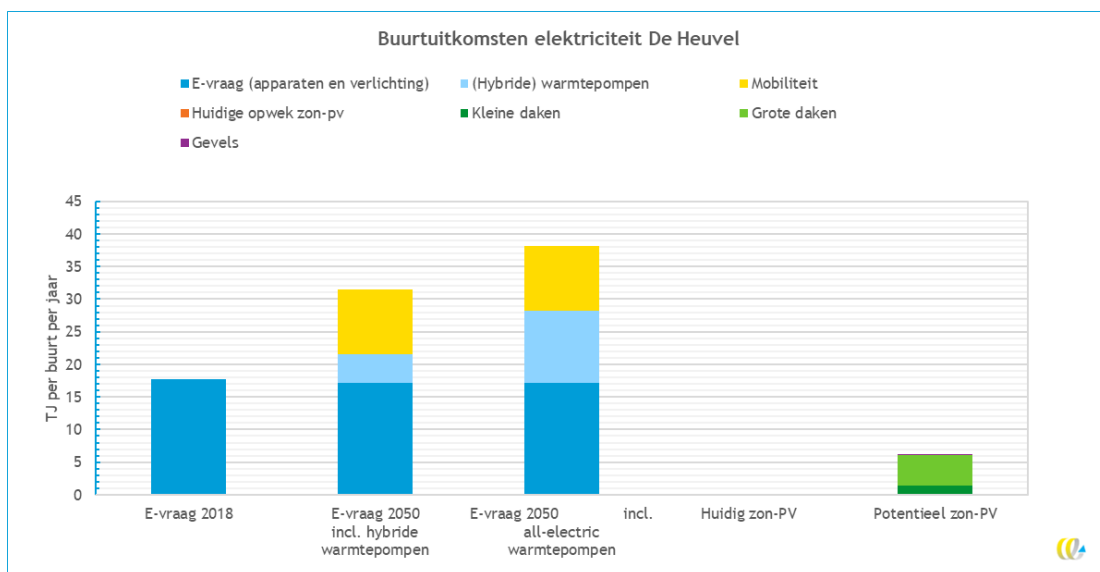
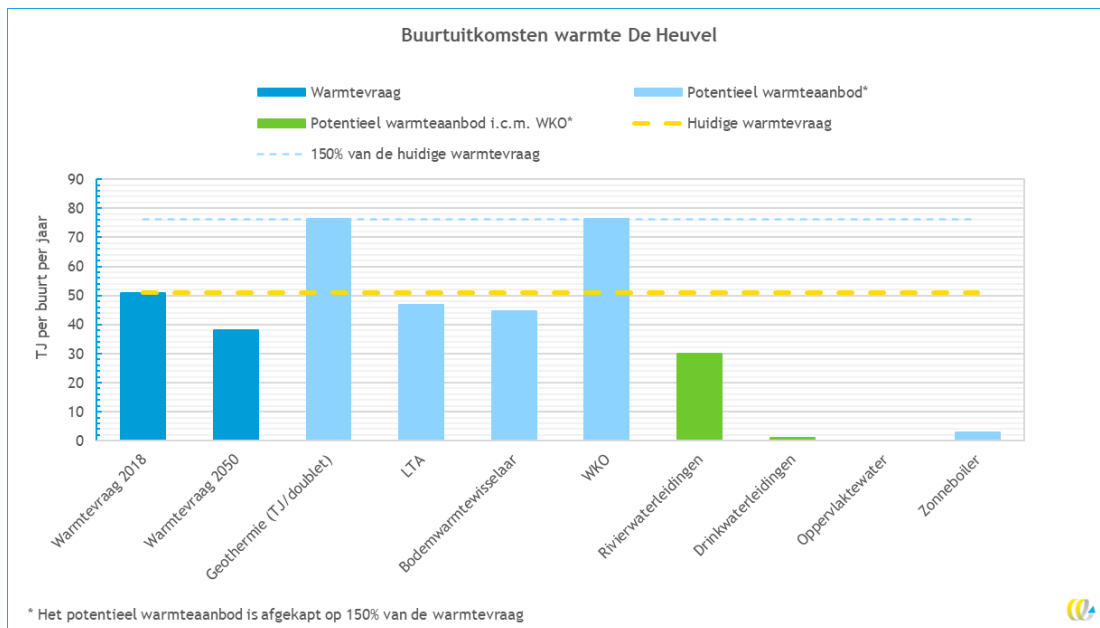
Leidschendam-Zuid



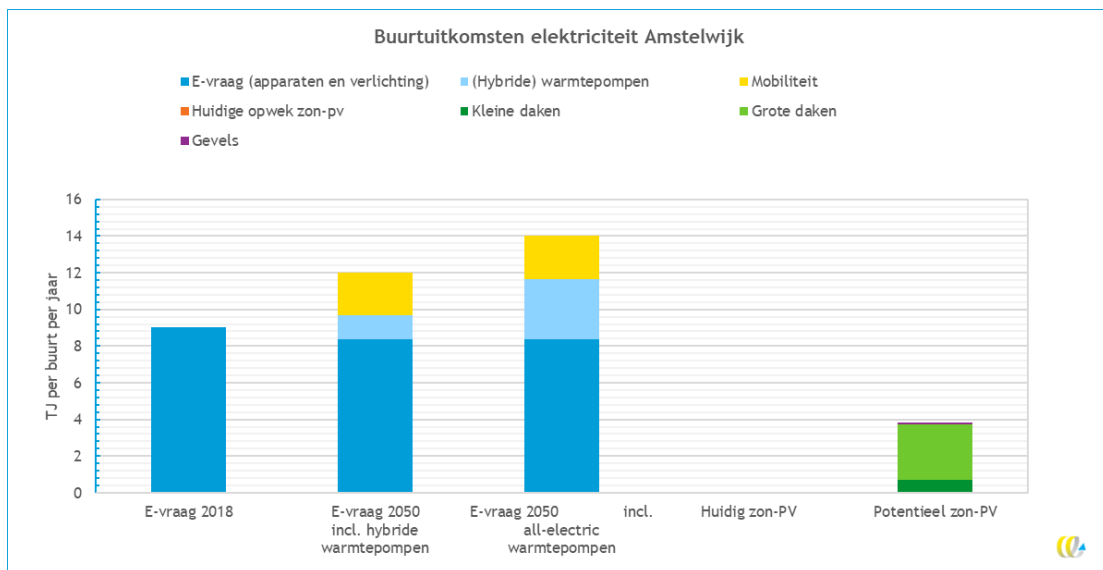
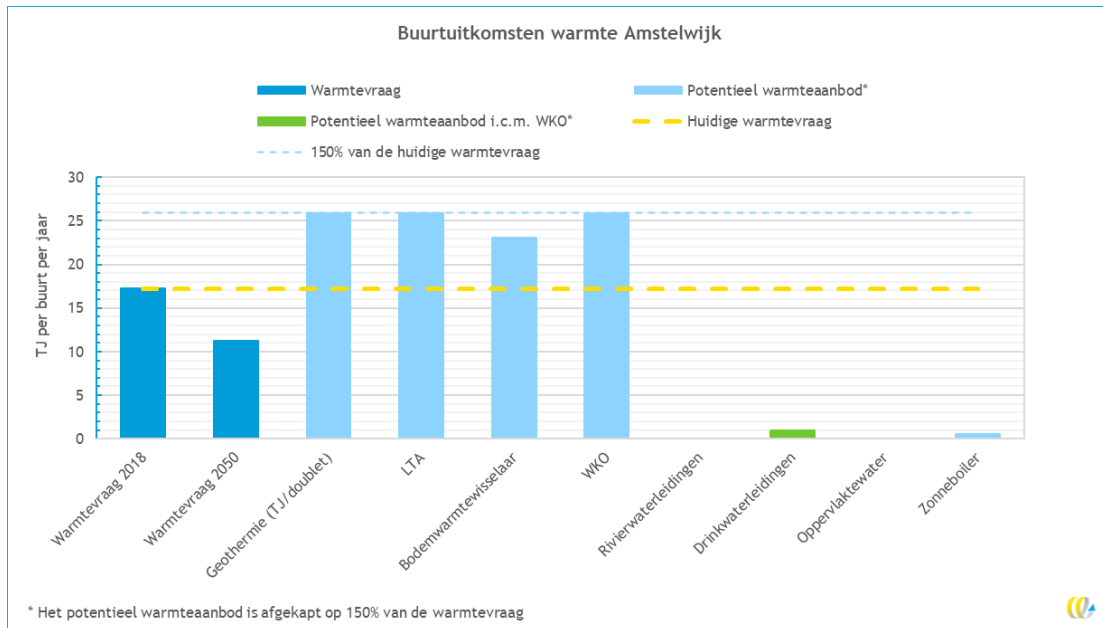
Zeeheldenwijk



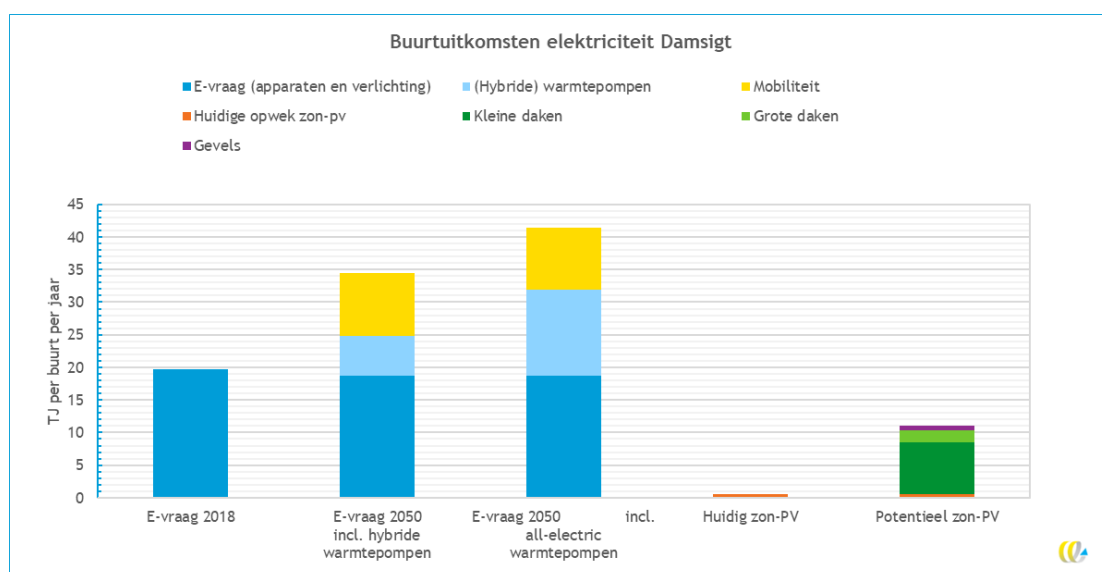
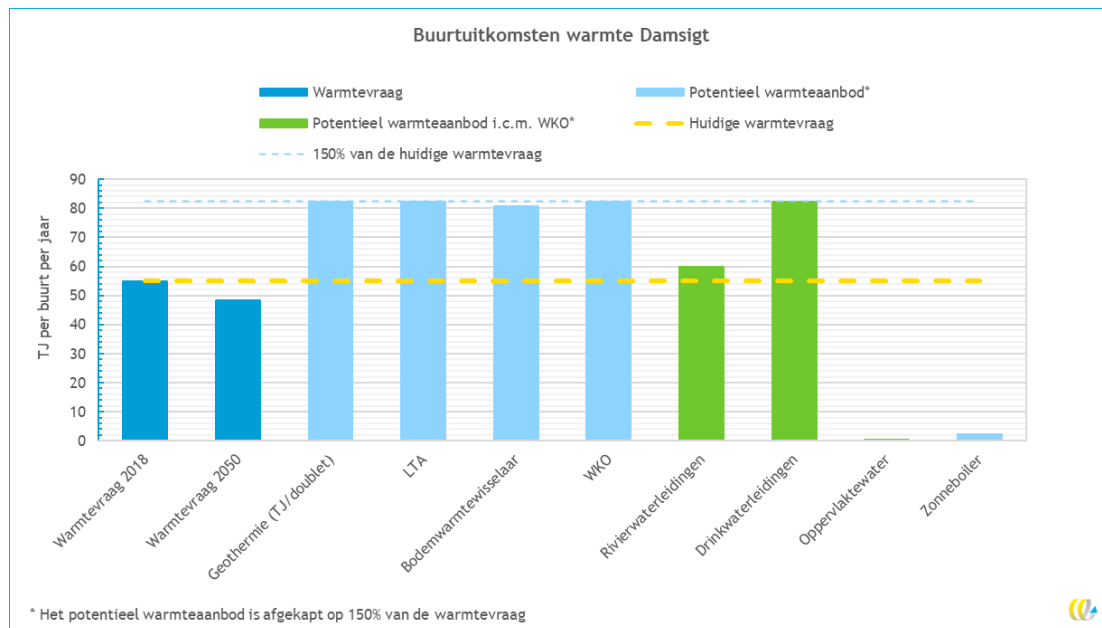
De Heuvel



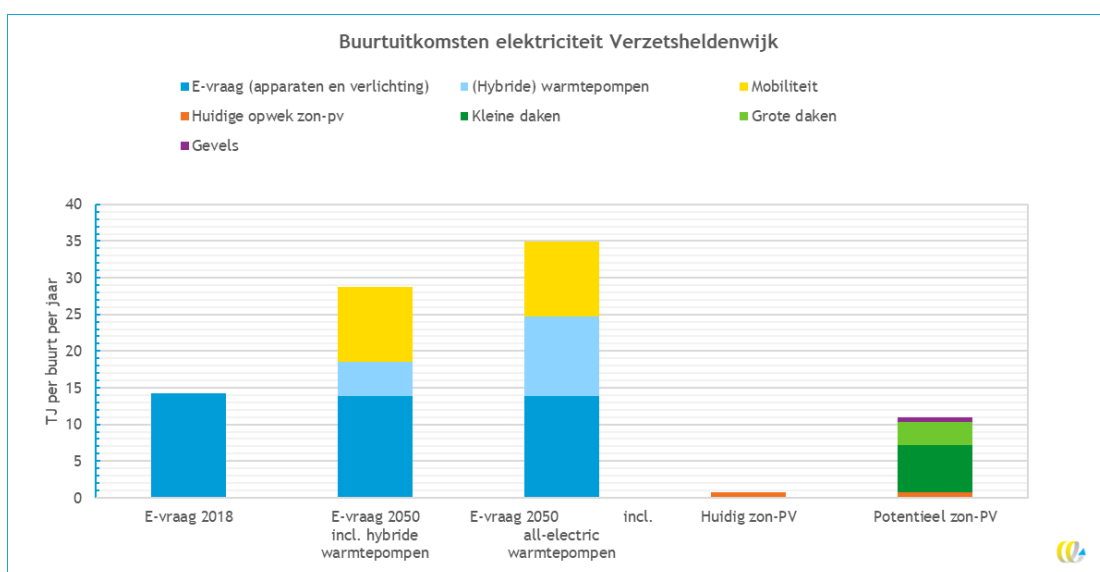
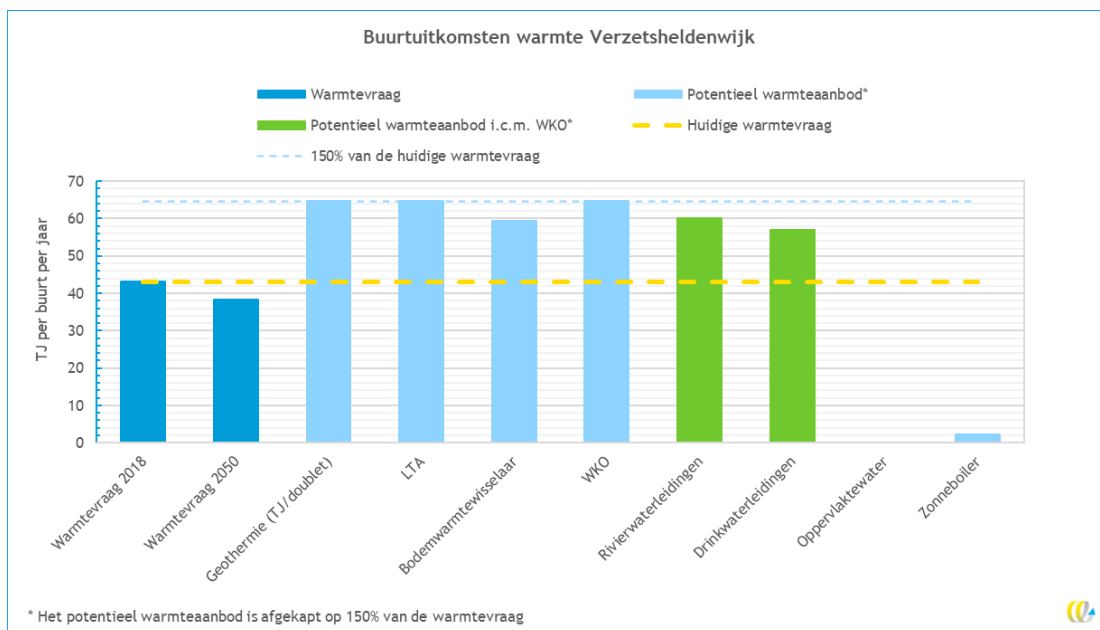
Amstelvijk



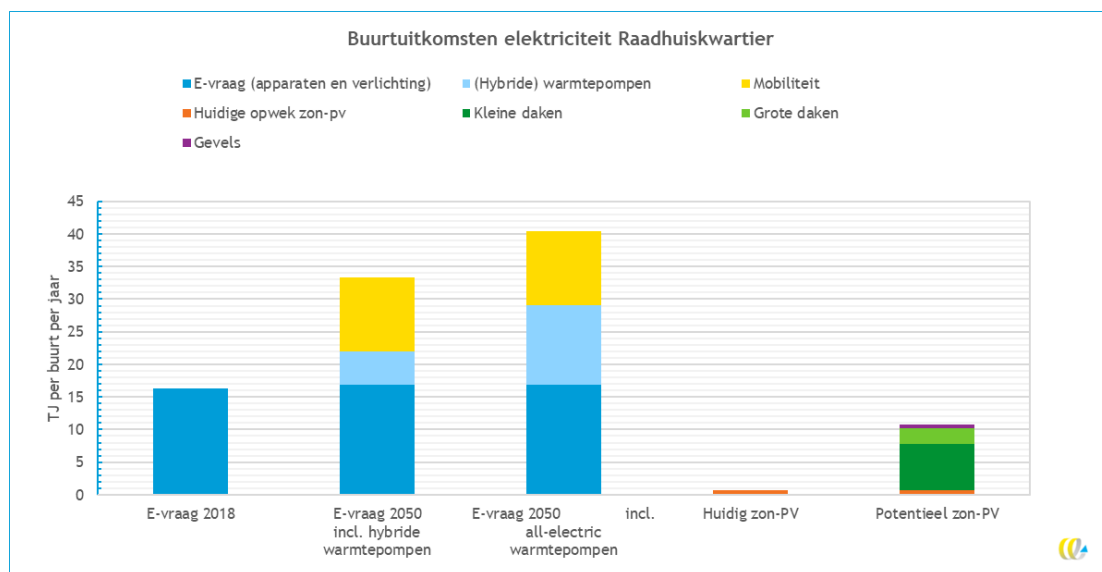
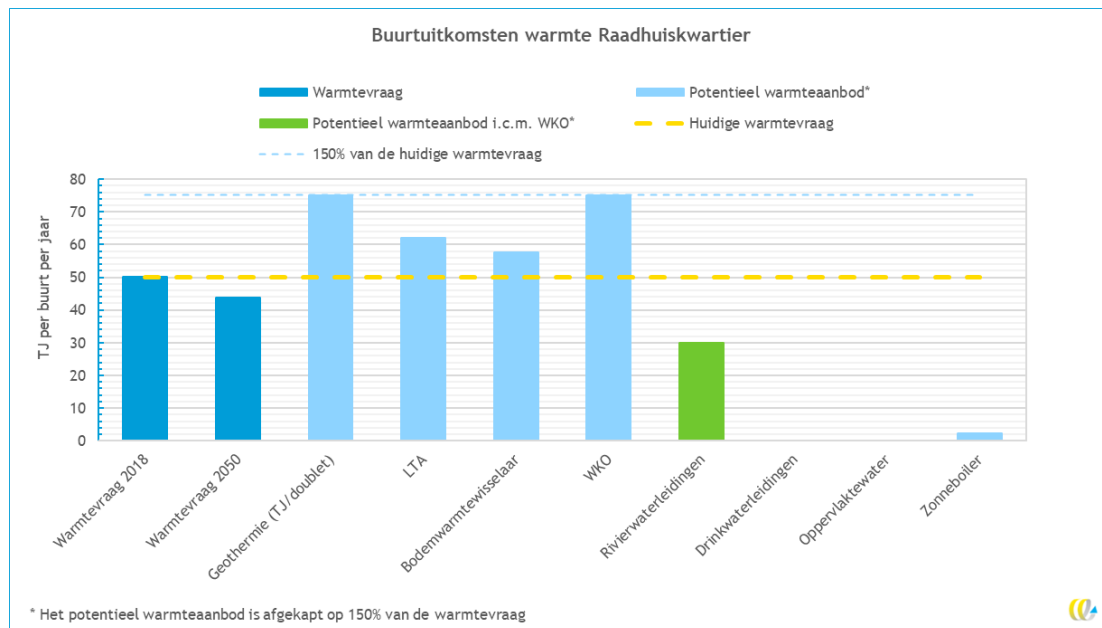
Damsigt



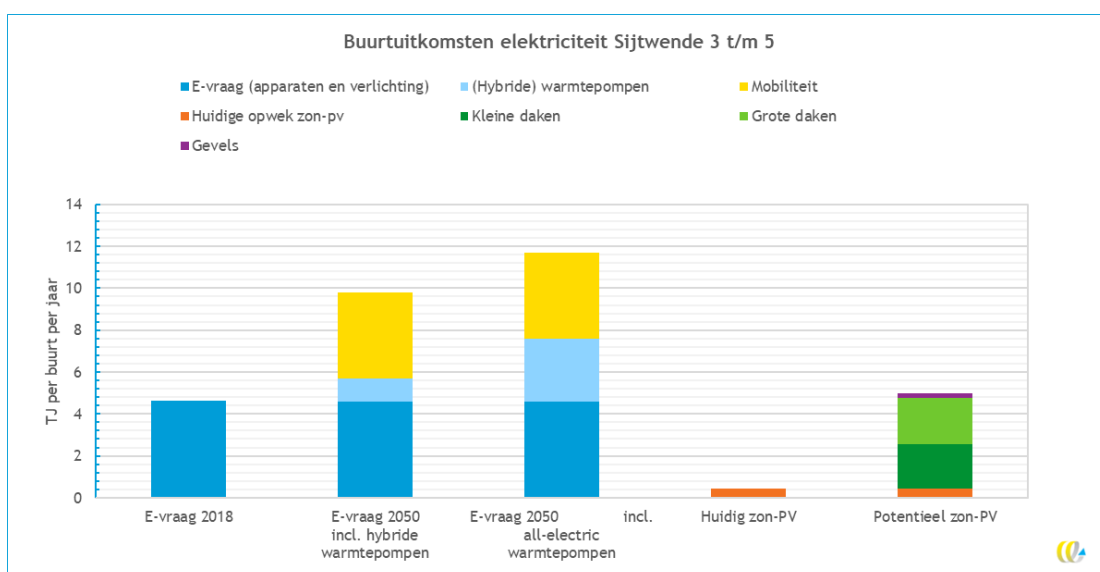
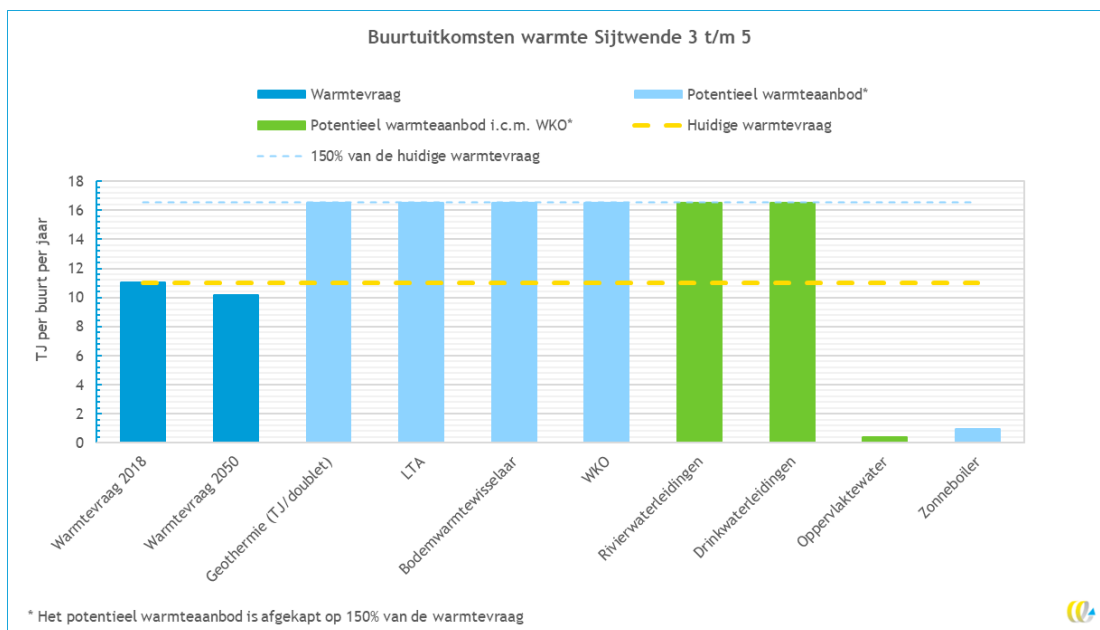
Verzetsheldenwijk



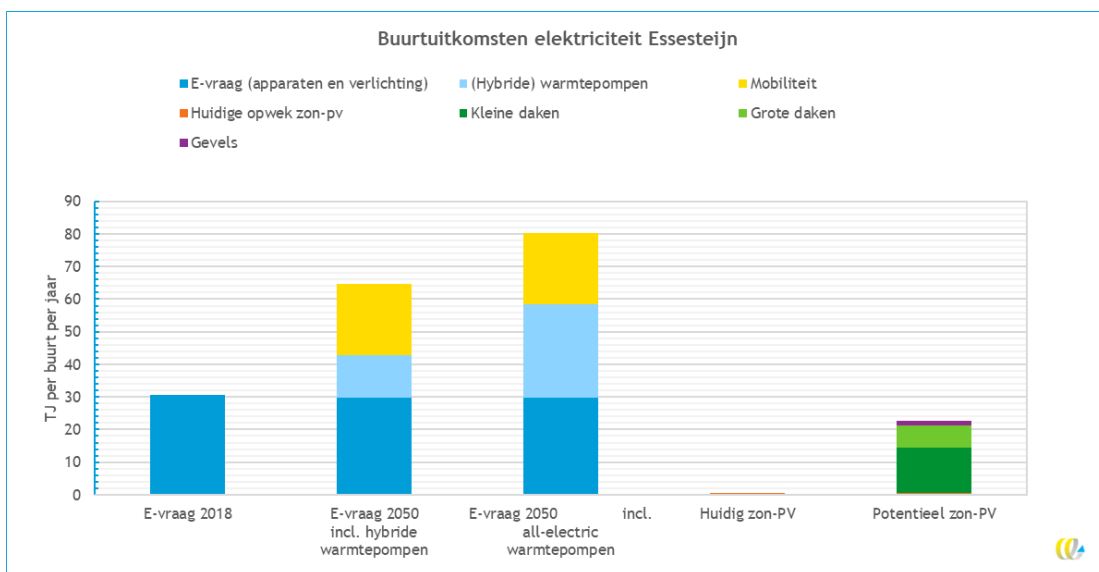
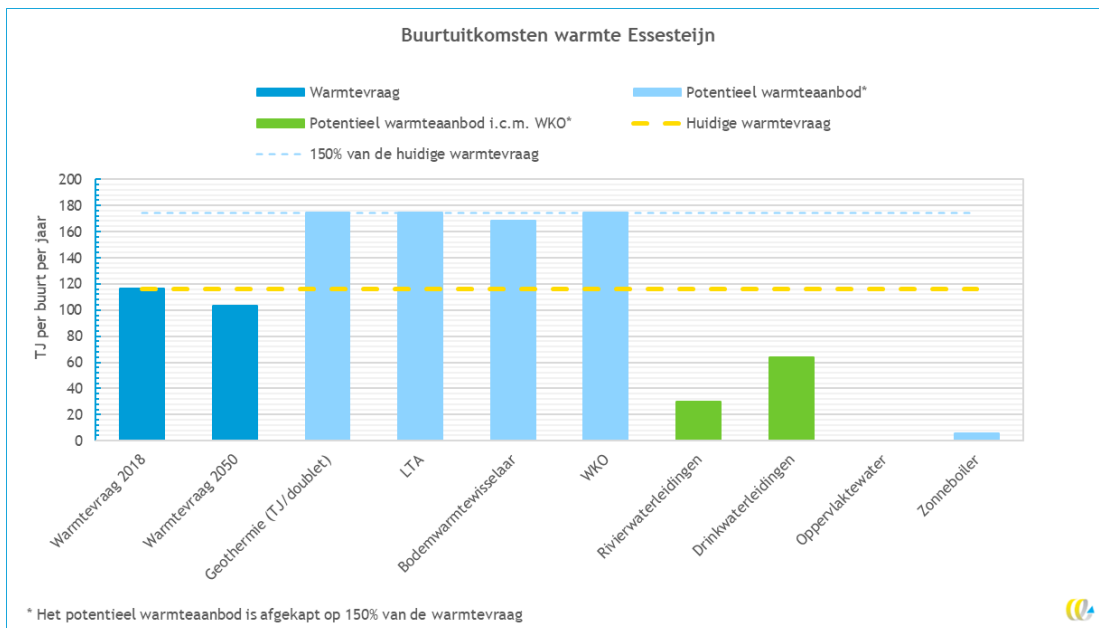
Raadhuiskwartier



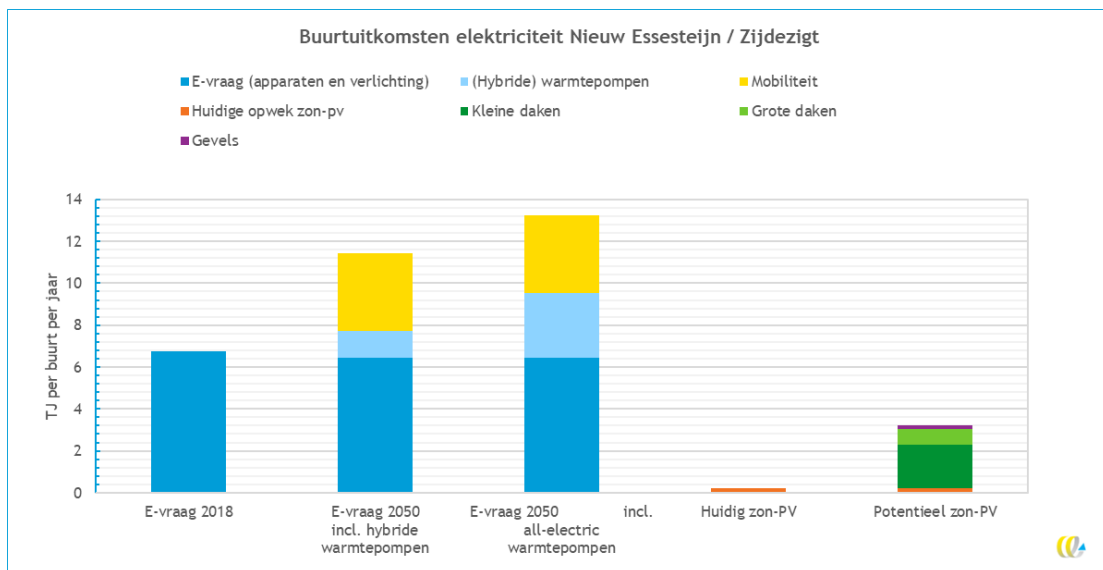
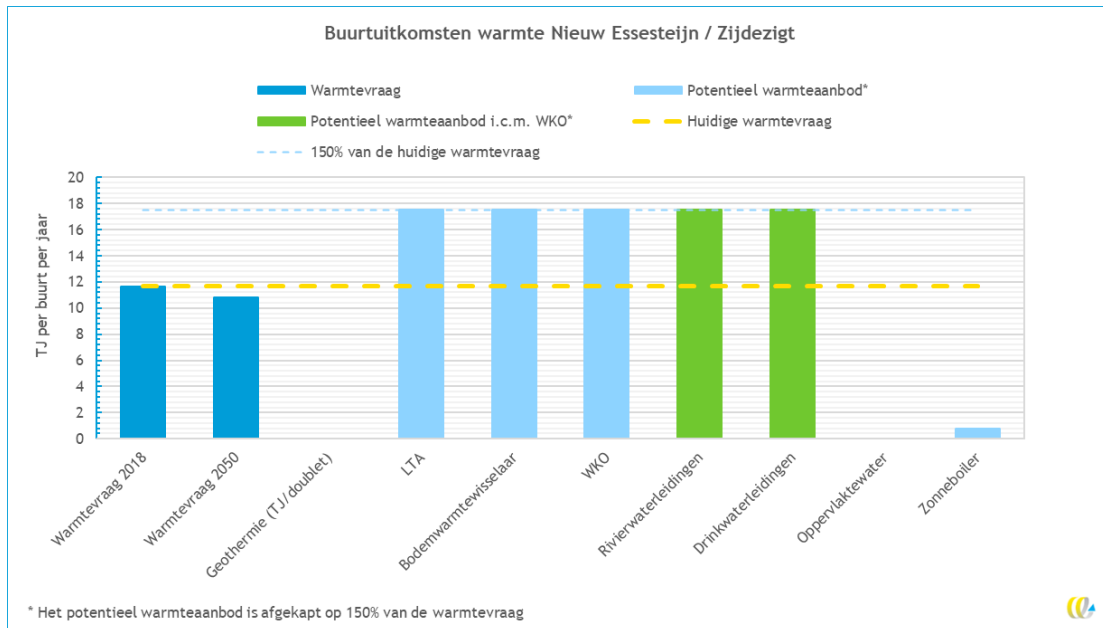
Sijtwende 3 t/m 5



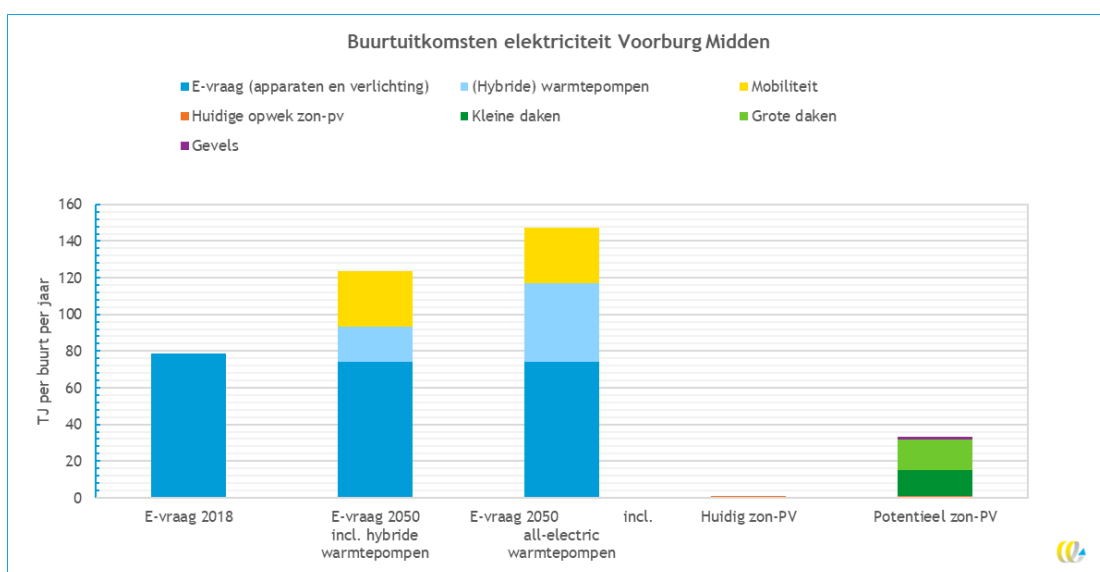
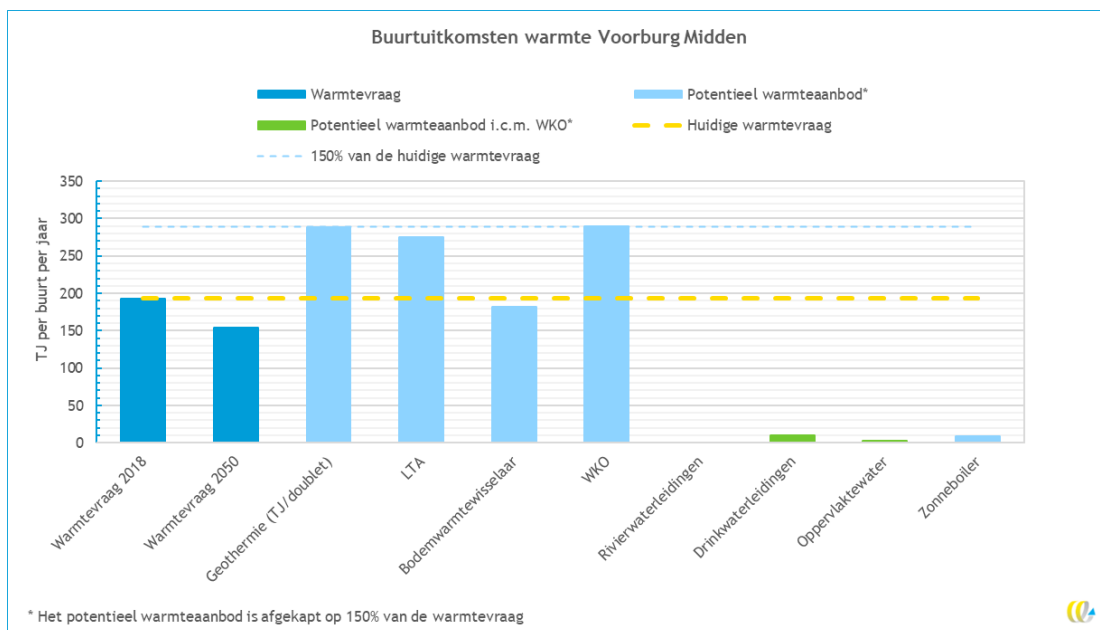
Essesteijn



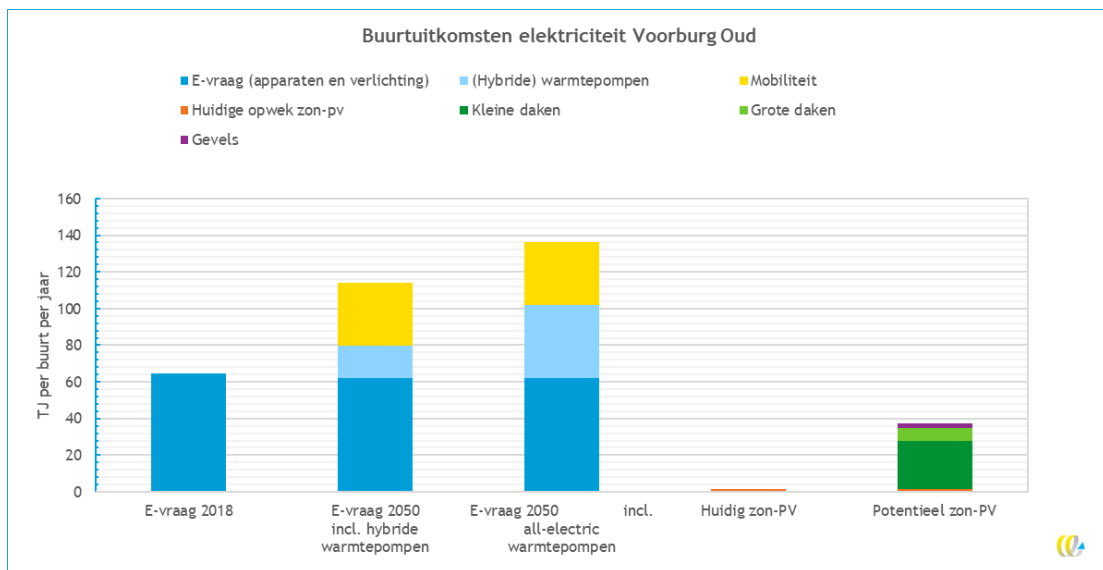
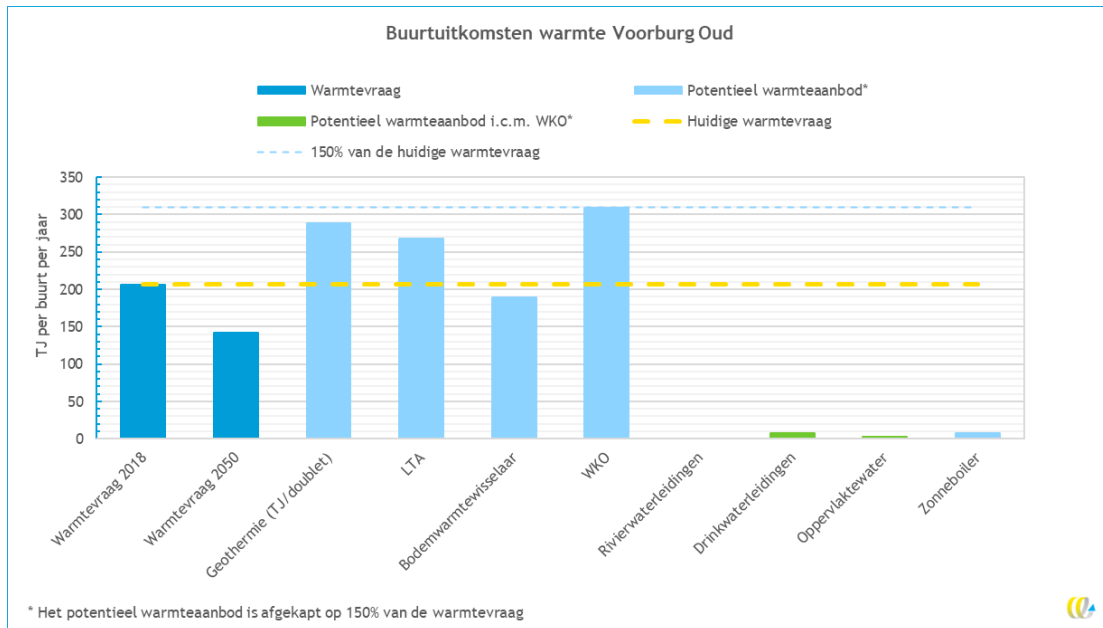
Nieuw Essesteijn/Zijdezig



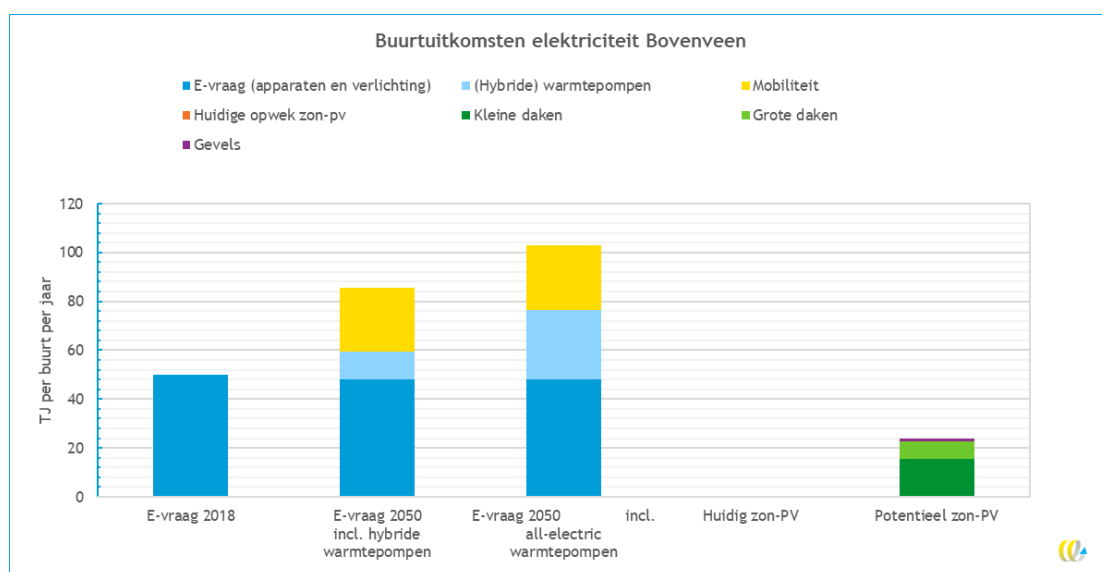
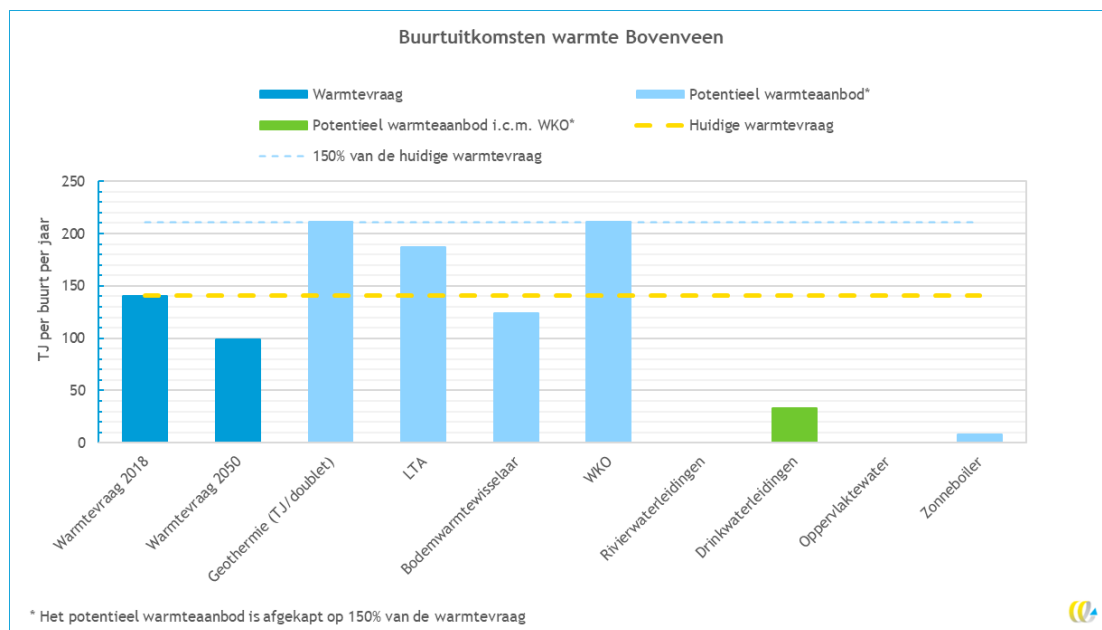
Voorburg Midden



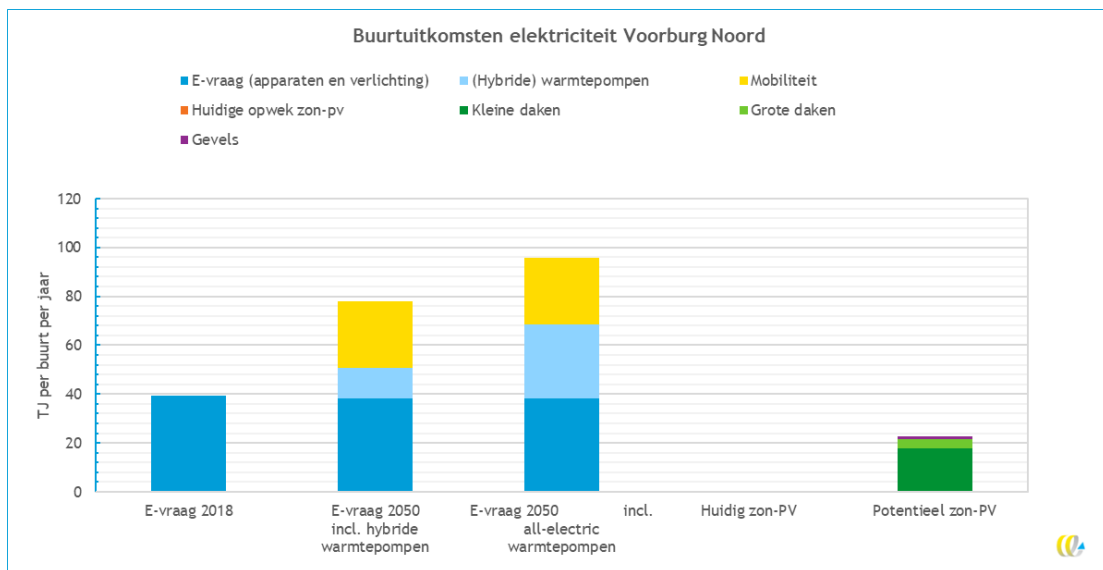
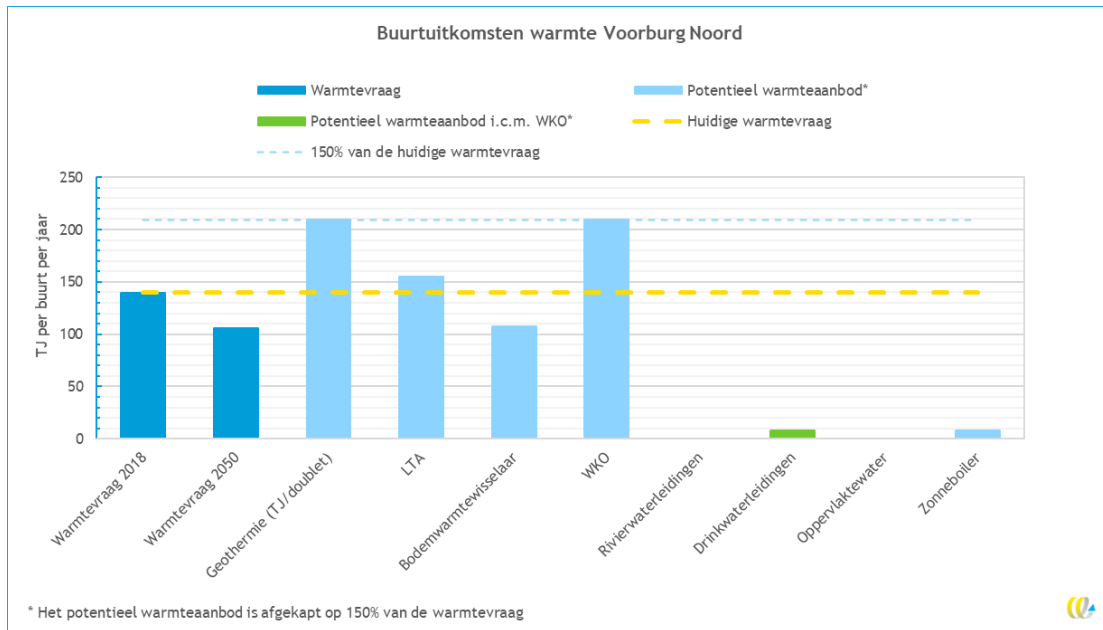
Voorburg Oud



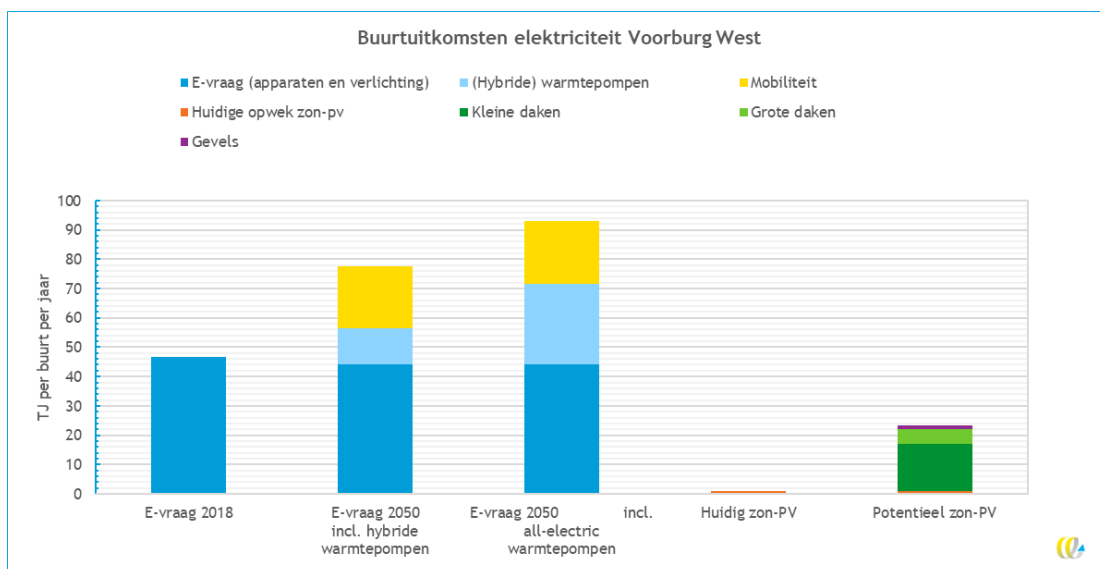
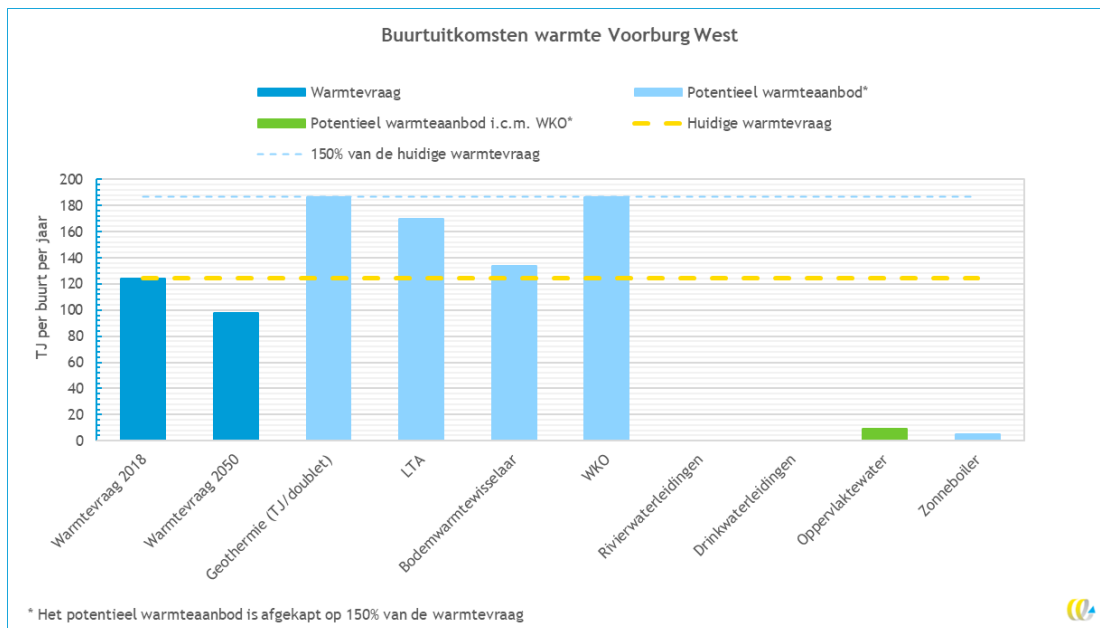
Bovenveen



Voorburg Noord



Voorburg West



Park Leeuwenbergh

