



**Samenvatting**

# DUTCH SMART THERMAL GRID

**Strategie voor de verduurzaming van  
de warmtevoorziening**

Vergroening stedelijke infrastructuur

**CRa**

College van Rijksadviseurs



Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Planbureau voor de Leefomgeving

**STUDIOMARCOVERMEULEN**  
architectuur stedebouw landschap onderzoek

# Colofon

## STUDIO MARCOVERMEULEN

architectuur stedenbouw landschap onderzoek

### **Bureau:**

Studio Marco Vermeulen

Maaskade 85

3071 NE Rotterdam

T: +31 (0)10 225 0030

F: +31 (0)10 225 0758

E: [studio@marcovermeulen.nl](mailto:studio@marcovermeulen.nl)

W: [www.marccovermeulen.nl](http://www.marccovermeulen.nl)

### **Team:**

Marco Vermeulen

Bram Willemse

**CRA**

College van Rijksadviseurs



Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Planbureau voor de Leefomgeving

### **Opdrachtgevers:**

College van Rijksadviseurs (CRA): Rients Dijkstra, Rick ten Doeschate

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM): Hans ten Hoeve

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL): Anton van Hoorn (Projectleider), Bas van Bommel, Arno Bouwman, Ton Dassen, Kersten Nabielek, Bart Rijken

### **Met dank aan:**

Nico Hoogervorst (PBL)

Ruud van den Wijngaart (PBL)

Rienke Groot (CRA)

Vincent Kamphuis (TNO)

Maarten Hilferink (Object Vision)

Petrus Postma (BLOC)

Lodewijk Burghout (Californië)

### **Meer informatie:**

Kijk op [www.dutchsmarthermalgrid.nl](http://www.dutchsmarthermalgrid.nl)

## Inleiding

### *Strategie voor de verduurzaming van de warmtevoorziening*

De Nederlandse energievraag bestaat voor ruim de helft uit de warmtebehoefte van woningen, bedrijven, glastuinbouw en industrie. Deze warmte wordt momenteel vrijwel geheel geproduceerd door het verbranden van aardgas in fabrieken, elektriciteitscentrales, woningen, kantoren en kassen. Aan het verbranden van aardgas kleven belangrijke nadelen. Zo wordt Nederland steeds afhankelijker van import van aardgas. Met het huidige tempo waarop we aardgas in Groningen winnen is Nederland binnen enkele decennia door de natuurlijke voorraad heen. Daarnaast draagt de uitstoot van de verbrandingsgassen bij aan de klimaatverandering. Het fors terugbrengen van het gebruik van aardgas is daarom een urgent onderdeel van de route naar het beleidsdoel van een duurzame energievoorziening. Maar hoe?

Een van de grote uitdagingen om besparing van de warmtevraag en de inzet van duurzame warmte te realiseren ligt bij de bestaande gebouwvoorraad. Bij nieuw te bouwen woningen en bedrijfsgebouwen is de besparing van de warmtevraag relatief eenvoudig te realiseren en binnenkort zelfs verplicht. Het na-isoleren van bestaande woningen is echter relatief kostbaar. Immers, de technische mogelijkheden zijn beperkt doordat uitgegaan moet worden van het bestaande gebouw. De verwachting is dan ook, dat het volledig energieneutraal maken van een groot deel van de woningen niet kosteneffectief zal zijn. En dat is problematisch, omdat een groot deel van de huidige voorraad gebouwen er nog lange tijd staat. Daarom zal er de komende decennia een resterende vraag naar duurzame warmte zijn.

Voor deze resterende warmtevraag zijn er twee opties. De eerste optie is om woningen te voorzien van kleinschalige voorzieningen zoals warmtepompen en zonneboilers waarmee warmte uit de omgeving wordt gecollecteerd. De andere optie is om warmte afkomstig van verder gelegen bronnen als industrie (restwarmte) en geothermie (aardwarmte) via warmtenetten aan te voeren. Afhankelijk van de gebouwen zelf en de beschikbaarheid van bronnen in de omgeving ligt een van de opties of een combinatie meer voor de hand.

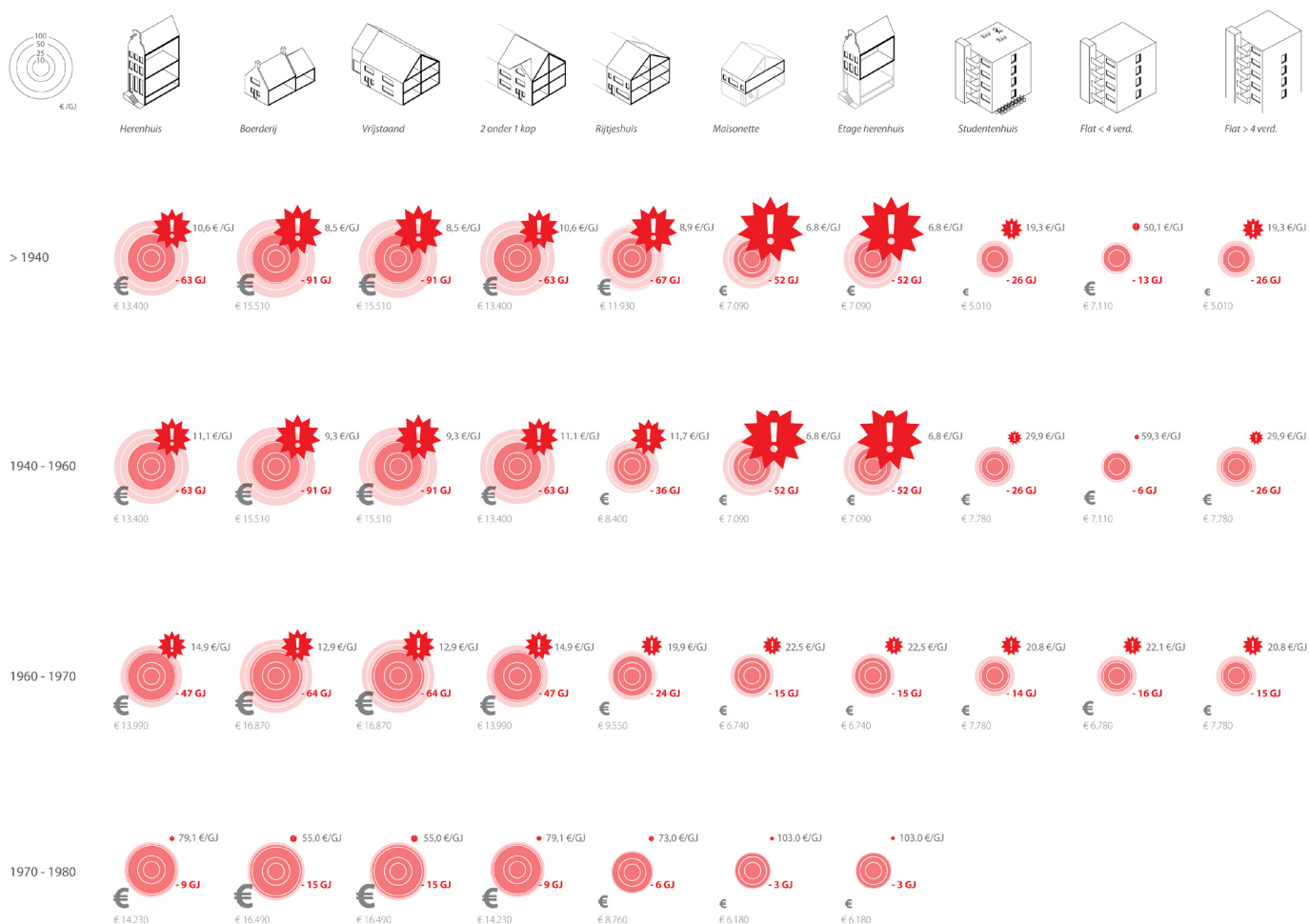
Alle opties kennen voor- en nadelen. Woningisolatie en de aanschaf van warmtepompen en zonneboilers zijn eenvoudig en op eigen initiatief van bewoners te realiseren. Er zijn ook bedrijven die dit faciliteren. De hoge kosten en de lange terugverdientijd vormen echter voor veel bewoners een belemmering; het stoken van aardgas in de cv-ketel is voorlopig nog steeds goedkoper. Een collectieve warmtevoorziening met restwarmte en geothermie heeft een groot schaalvoordeel en is zeker op langere termijn veel kostenefficiënter. Dit vraagt echter om meer coördinatie en een grote (collectieve?) investering vooraf.

### **Complexe keuze in bebouwd gebied**

De afweging voor (isolatie-)investeringen in de voorraad gebouwen, de investeringen in duurzame opwekking op gebouwniveau of investeringen in gebiedsgerichte oplossingen is complex en vol tegenstrijdigheden. Bijvoorbeeld, naarmate meer woningeigenaren investeren in individuele oplossingen, des minder vraag blijft er over voor de aanleg van een collectief warmtenet. En omgekeerd, als alle gebouwen duurzaam verwarmd zijn, lijkt beperking van de vraag naar warmte minder urgent.

De komende jaren is het van belang goed inzicht te verkrijgen in de verschillende opties en hoe ze zich tot elkaar verhouden. Voor talloze steden als Purmerend, Tilburg, Breda ligt er heel concreet de afweging hoe verder te gaan met het bestaande warmtenetwerk en in steden als Rotterdam, Den Haag en Leiden ligt de vraag voor hoe het netwerk uitgebreid kan worden tot een regionaal systeem.

Dit onderzoek beoogt een inspirerende bijdrage te leveren aan die discussies. We verkennen een mogelijke uitwerking van het warmtenet, zoals dat in 2050 zou kunnen bestaan. Het helpt de partijen die de discussie voeren om een voorstelling van dat mogelijke toekomstige netwerk te hebben en van een pad er naar toe. Zo'n beeld roept immers andere vragen op dan de vraag naar de eerstvolgende stap vanuit het heden.



Figuur 1: Inventarisatie van gebieds- en bouwmaatregelen voor de duurzame opwekking van warmte; opbrengst per eenheid.






## Vertrekpunt ontwerp: collectief warmtenet

### Besparen of opwekken?

Besparende maatregelen op het schaalniveau van het individuele huis, kantoor of kas zijn vooral gericht op schilisolatie. De schilisolatie kan verbeterd worden door bijvoorbeeld het plaatsen van dubbelglas of additionele dak- en spouwisolatie. Wanneer de spouw al geïsoleerd is, kan verder de isolatiewaarde vergroot worden door het aanpassen van het ventilatiesysteem of het na-isoleren van de vloer of kruipruimte. Verregaande besparing is soms alleen mogelijk door het bouwen van een compleet nieuwe schil.

Voor ieder van de maatregelen en voorzieningen is inzichtelijk gemaakt wat de kosten per bespaarde of opgewekte  $\text{PJ a}^{-1}$  zijn. Deze kosten bestaan

uit eenmalige aanschaf- en installatiekosten en onderhouds- en gebruikskosten, overigens zonder rente en aflossingen. Daarnaast is er sprake van 'schaduwkosten', indirecte kosten voor grondstoffen en infrastructuur. Dit betreffen de elektriciteitskosten bij warmtepompen en de kosten voor aardgas of biogas bij HR-ketels en WKK's (gebaseerd op de huidige energieprijzen).

-  Kosteneffectiviteit, de kosten per bespaarde  $\text{GJ a}^{-1}$
-  De feitelijke eenmalige kosten
-  -X GJ Het aantal GJ bespaart door isolerende maatregelen
-  Verbruik per woningtypologie na labelsprong B
-  Verbruik per woningtypologie voor labelsprong

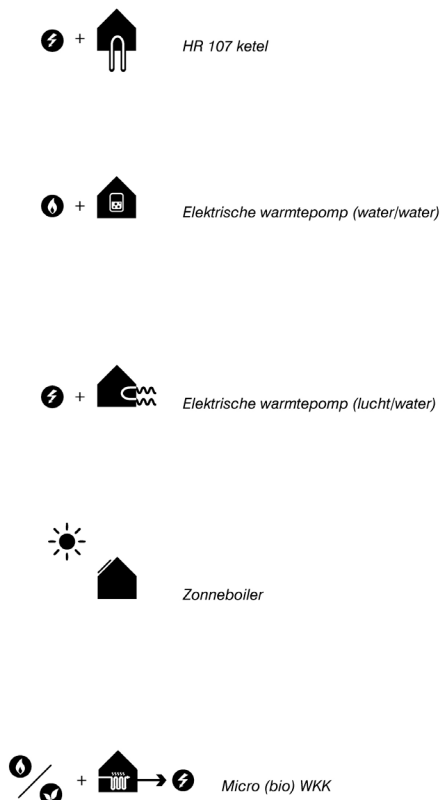
Bij de kosten voor collectieve warmtevoorzieningen worden de (gemiddelde) initiële kosten voor een warmtenet en de elektriciteitskosten voor het transport (pompen) (GJ/km) opgeteld. Deze kosten zijn bepaald door een gemiddelde transportafstand van 1,5 km tussen bron en vrager te nemen. Dit is een globale inschatting.

Dit is een vergelijking op basis van kengetallen en zal dus niet zonder meer voor elke situatie of wijk gelden. Bovendien hebben we niet gekeken naar de embodied energy. Toch is de vergelijking ook op kentallen interessant. Ten eerste valt direct op dat individuele voorzieningen voor warmteopwekking een stuk kostbaarder zijn dan collectieve maatregelen, zelfs als daarbij de kosten voor het warmtenet worden opgeteld. Met name het gebruik van restwarmte en geothermie vallen op vanwege de grote energieopbrengst per geïnvesteerde euro. Daarbij is er nog geen rekening gehouden dat de kosten voor grootschalige uitrol van een warmtenet en geothermie tot verdere schaalvoordelen kunnen leiden. Veel individuele voorzieningen voor warmteopwekking worden naar

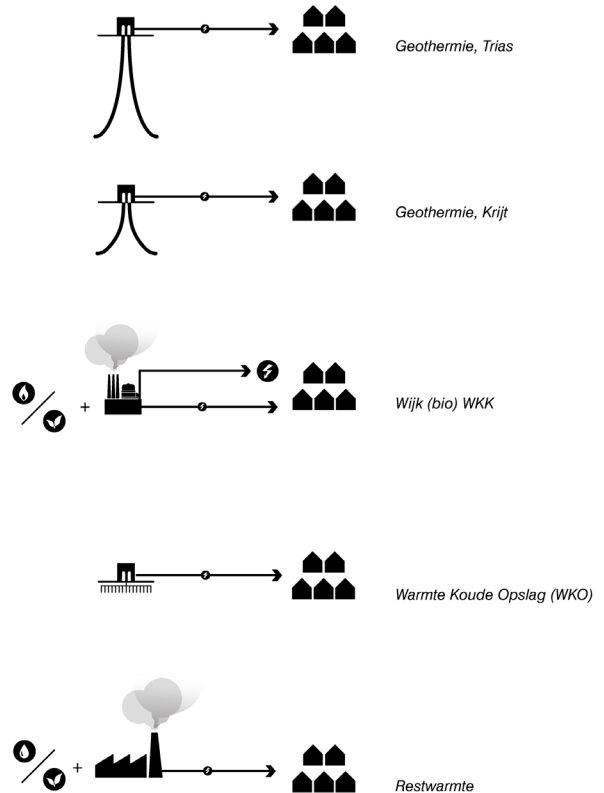
verwachting de komende jaren steeds efficiënter (leercurve), maar door een verwachte toename van de kosten voor gas- en elektriciteit wordt dit voordeel grotendeels weer tenietgedaan. Daarnaast leidt de aanvullende elektriciteitsbehoefte voor warmtepompen ook tot een aanzienlijke toename van de verduurzamingsopgave voor elektriciteit en concreet bijvoorbeeld tot meer windmolens of pv-cellen.

Niet alle besparende maatregelen zijn even rendabel. Besparingsmaatregelen worden relatief steeds kostbaarder naargelang de woning al beter presteert. Het is kosten-effectiever (euro per bespaarde GJ) om een slecht geïsoleerd huis een labelsprong te laten maken dan een woning die al redelijk goed geïsoleerd is. Een sprong naar label B blijkt uit onderzoek van CE Delft voor de meeste woningen het meest kosteneffectief. De maatregelen om de laatste stap naar label A te maken zijn over het algemeen onevenredig kostbaar. Er zal dus strikt vanuit kosteneffectiviteit een restvraag naar warmte blijven – zelfs al zou het lukken om alle gebouwen stevig aan te pakken.

### Individuele opwekkingsmaatregelen



### Collectieve opwekkingsmaatregelen



Figuur 2: Inventarisatie van gebieds- en gebouwmaatregelen voor de duurzame opwekking van warmte; opbrengst per eenheid.

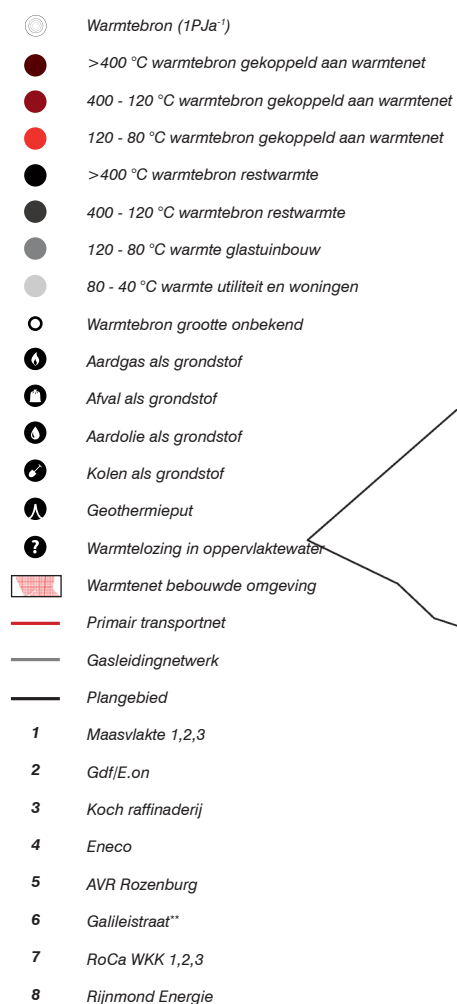
# Inventarisatie en analyse regio

## Warmte aanbod Zuid-Holland 2016

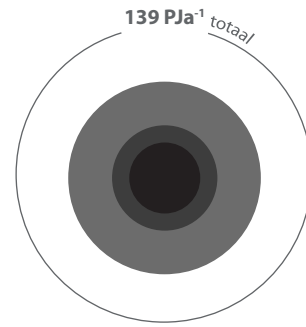
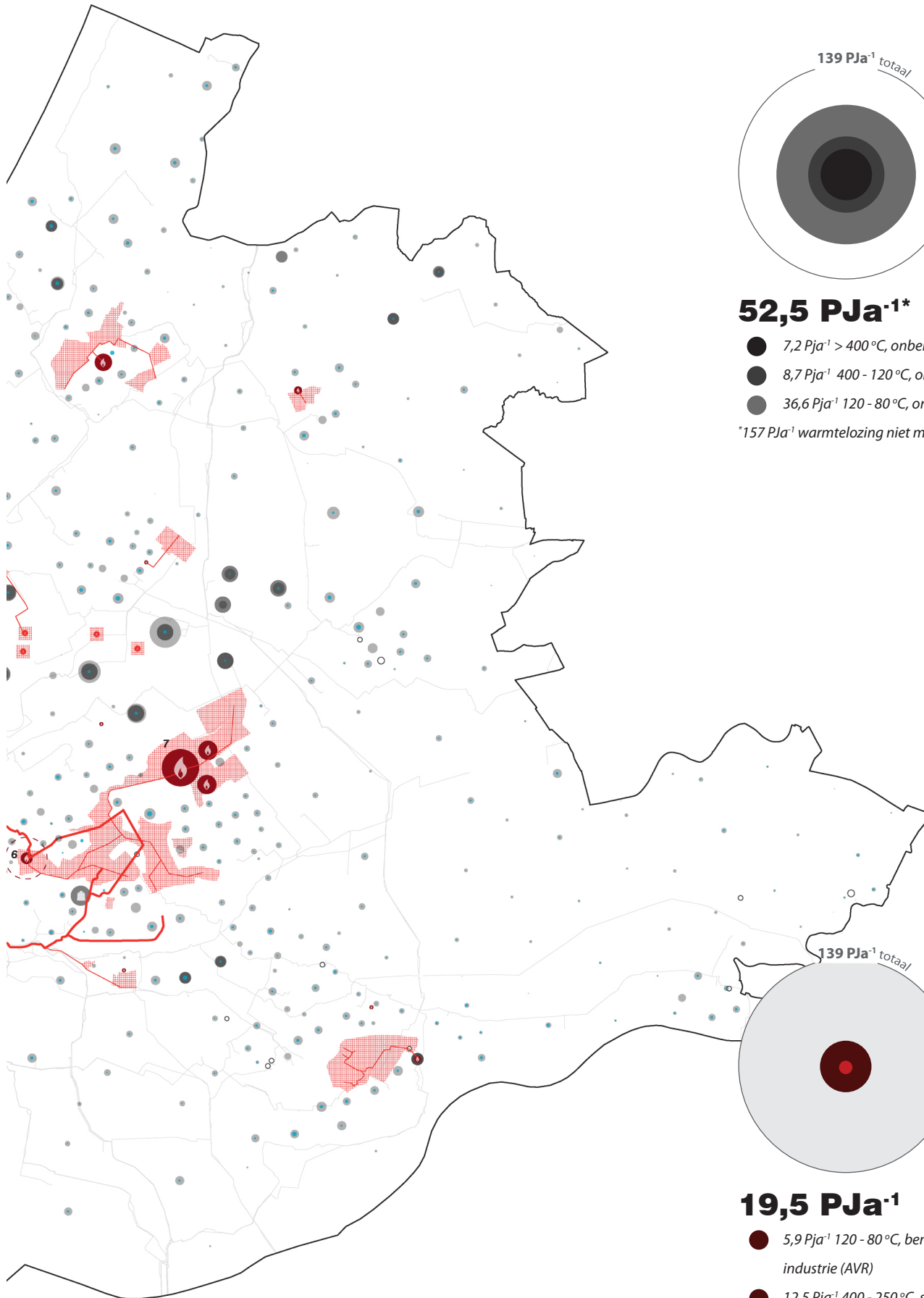
Op dit moment worden de meeste huizen in Zuid-Holland verwarmd met een aardgasgestookte cv-ketel. In het centrum van Rotterdam ligt een warmtenet dat wordt gevoed met restwarmte uit de AVR Rozenburg, één van de grootste afval- en energiecentrales van Europa. In 2014 is de WKK op de Galileistraat vervangen door een warmteoverdrachtstation met booster. Het noordoostelijk deel van het warmtenet wordt verwarmd met drie gasgestookte WKK's van de Centrale RoCa. Ook andere steden als Den Haag, Leiden en Dordrecht hebben warmtenetten met gasgestookte WKK's.

In Den Haag worden 4.000 woningen en 20.000m<sup>2</sup> bedrijfsruimte verwarmd met geothermie van circa 2 kilometer diepte. Den Haag is daarmee de eerste stad in Nederland waar aardwarmte op zo'n grote schaal wordt toegepast.

In de havens blijft momenteel ruim 50 PJ<sup>a-1</sup> aan restwarmte (80°C-400°C) van industrie en kolencentrales onbenut. Daarnaast is er maar liefst 157 PJ<sup>a-1</sup> aan warmtelozing (<80°C) buiten beschouwing gelaten vanwege de hoge kosten om deze restwarmte uit te koppelen. Met de huidige technieken en kosten is het warmtelozingspotentieel niet volledig geschikt voor hergebruik. Een aanzienlijk deel van deze warmtelozing is lage temperatuur (<50°C) waardoor het moeilijk is om deze kosteneffectief te benutten.



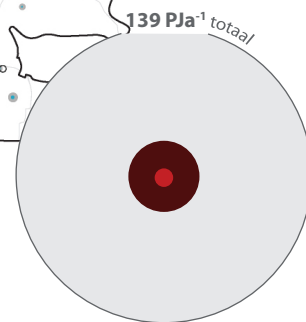
Oppervlakte cirkels zijn in onderlinge kwantitatieve verhouding



## 52,5 PJ a<sup>-1</sup>\*

- 7,2 PJ a<sup>-1</sup> > 400 °C, onbenutte restwarmte
- 8,7 PJ a<sup>-1</sup> 400 - 120 °C, onbenutte restwarmte
- 36,6 PJ a<sup>-1</sup> 120 - 80 °C, onbenutte restwarmte

\*157 PJ a<sup>-1</sup> warmtelozing niet meegenomen



## 19,5 PJ a<sup>-1</sup>

- 5,9 PJ a<sup>-1</sup> 120 - 80 °C, benutte restwarmte industrie (AVR)
- 12,5 PJ a<sup>-1</sup> 400 - 250 °C, stadswarmtecentralen en glastuinbouw warmtenetten
- 1,1 PJ a<sup>-1</sup> bestaande geothermie
- 117,4 PJ a<sup>-1</sup> individueel gebruik aardgas (bv. woningbouw of utiliteitsbouw)

\*WKK-glastuinbouw warmteproductie geabstraheerd per PC4 gebied.

\*\*Energiecentrale Galileistraat is nu een warmtestation met hulpketel i.p.v. WKK (2014) getallen onbekend.

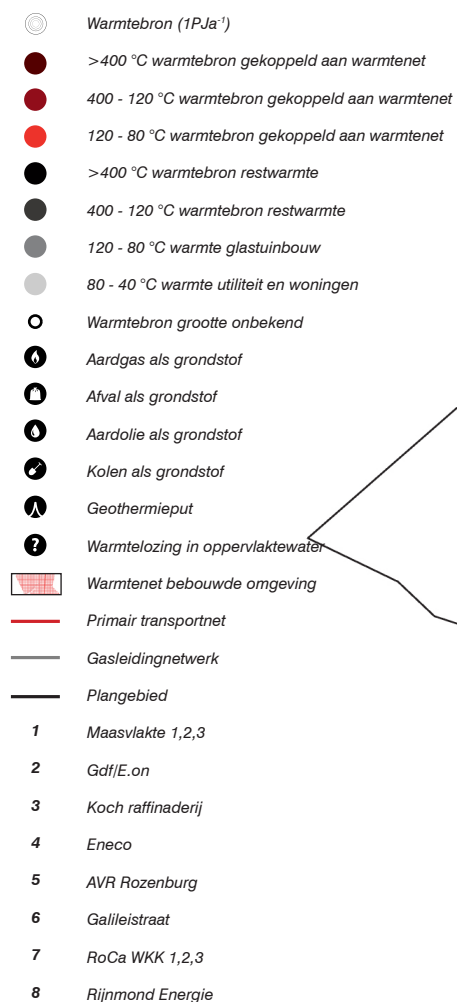
# Warmterotonde Zuid-Holland 2020

## Collectief warmtenetwerk gebaseerd op restwarmte

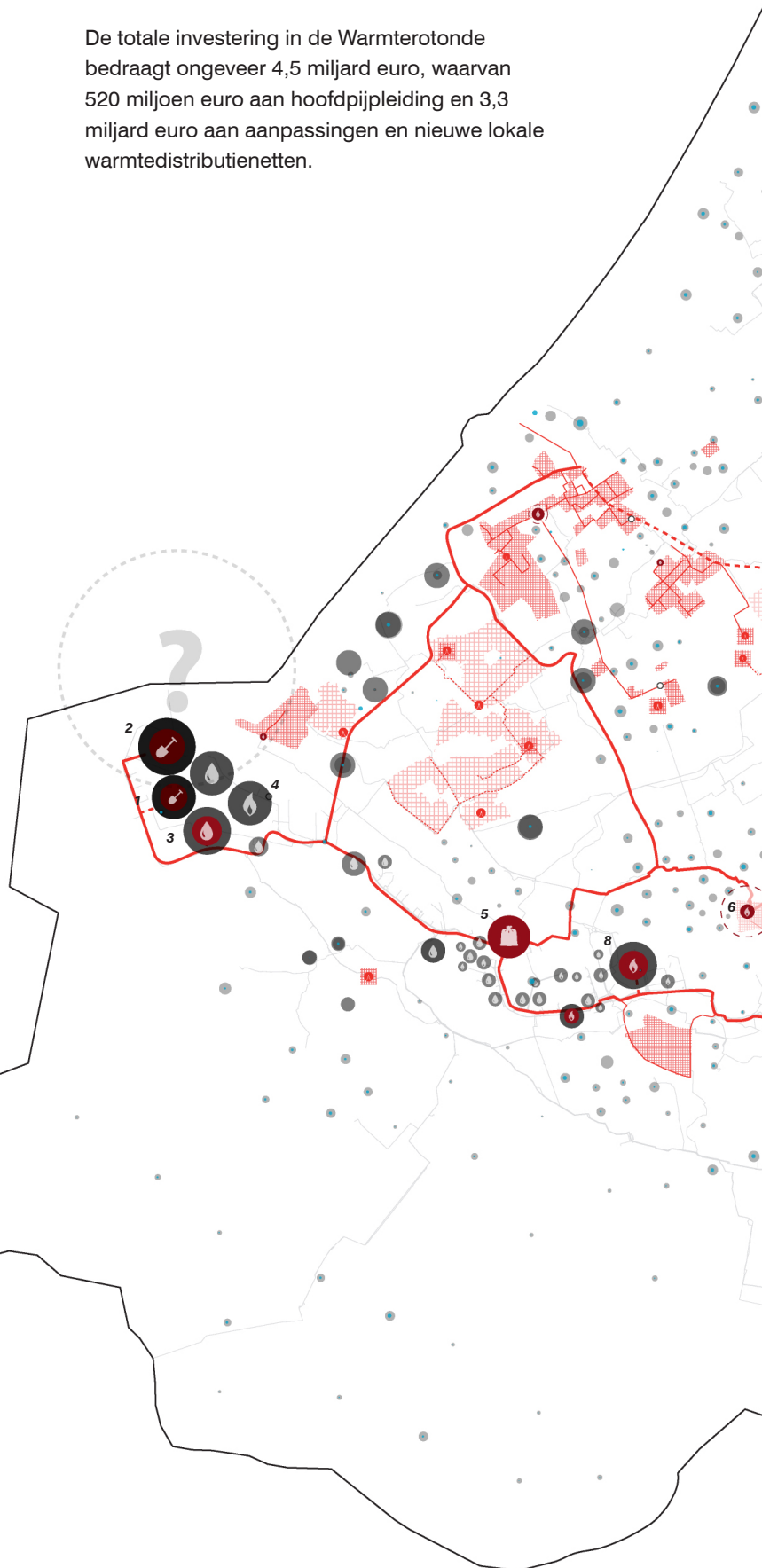
De ambitie uit een Green Deal (2011) tussen de rijksoverheid en provincie Zuid-Holland is om in 2020 14% van warmtevraag in Zuid-Holland met restwarmte en geothermie te verzorgen, in totaal 20 PJ per jaar. Om dit te bereiken is het nodig om warmtenetten aan te leggen die restwarmte uit het havengebied transporteren naar het kassencomplex van het Westland, maar ook naar woningen in steden zoals Den Haag, Delft en Rotterdam. Gezamenlijk zullen deze leidingen de Warmterotonde vormen, waar ook geothermie op kan worden aangesloten.

In 2020 moet de Warmterotonde 350.000 woningequivalenten (woningen en andere gebouwen) en 1.000 hectare glastuinbouw in de provincie Zuid-Holland voorzien van warmte. Het gaat daarbij om een fors bereik: zo'n 30% van alle woningen in de provincie Zuid-Holland krijgt een warmteaansluiting (nu ca. 4%) en 50% van het glastuinbouwareaal.

De totale investering in de Warmterotonde bedraagt ongeveer 4,5 miljard euro, waarvan 520 miljoen euro aan hoofdpijpleiding en 3,3 miljard euro aan aanpassingen en nieuwe lokale warmtedistributienetten.



Oppervlakte cirkels zijn in onderlinge kwantitatieve verhouding

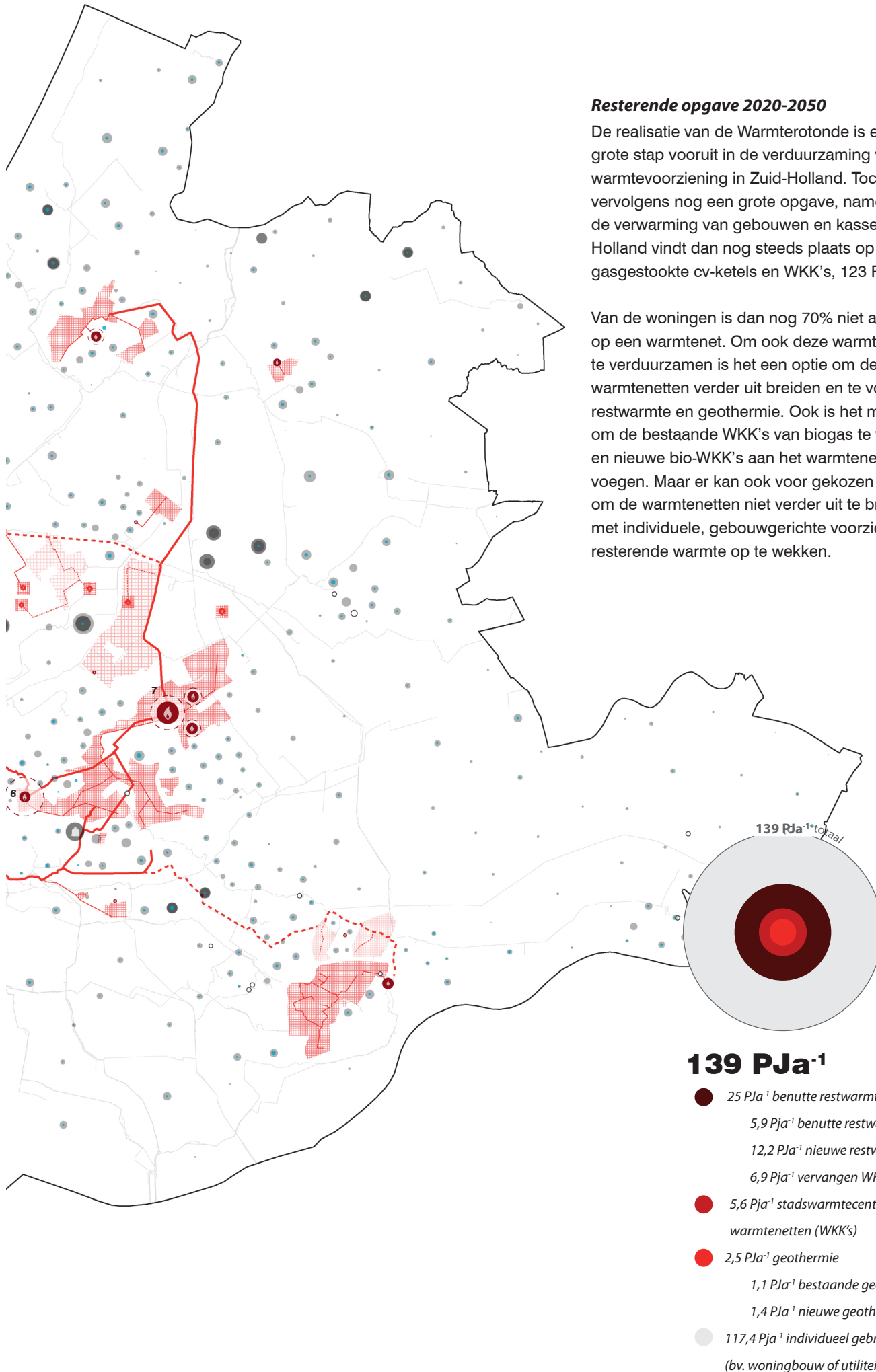




### Resterende opgave 2020-2050

De realisatie van de Warmterotonde is een grote stap vooruit in de verduurzaming van de warmtevoorziening in Zuid-Holland. Toch resteert vervolgens nog een grote opgave, namelijk 86% van de verwarming van gebouwen en kassen in Zuid-Holland vindt dan nog steeds plaats op basis van gasgestookte cv-ketels en WKK's, 123 PJ in totaal.

Van de woningen is dan nog 70% niet aangesloten op een warmtenet. Om ook deze warmtevoorziening te verduurzamen is het een optie om de warmtenetten verder uit breiden en te voeden met restwarmte en geothermie. Ook is het mogelijk om de bestaande WKK's van biogas te voorzien en nieuwe bio-WKK's aan het warmtenet toe te voegen. Maar er kan ook voor gekozen worden om de warmtenetten niet verder uit te breiden en met individuele, gebouwgerichte voorzieningen de resterende warmte op te wekken.





Figuur 4: Primair transportnet in Kopenhagen. Bron: <https://www.pinterest.com>, 2015.

## Smart Thermal Grid

### *Wat zijn de mogelijkheden voor een groot collectief warmtenetwerk?*

Er wordt nu al gebouwd aan de warmterotonde en deze kan al kosteneffectief gerealiseerd worden. Wij geloven dat het verder uitbreiden hiervan, mits de financiële, juridische en planologische randvoorwaarden daarvoor gecreëerd worden, mogelijk zal zijn. Prioriteit wordt gegeven aan het aansluiten van de grote warmteverbruikers, de glastuinbouwgebieden. Overtijd zullen de restwarmtebronnen aangevuld en overgenomen worden door een veel homogener aanbod aan geothermie wat de afstand tussen warmtevragers en aanbieder aanzienlijk kleiner maakt. Hierdoor zullen ook de kosten voor het primaire transport afnemen, en zal de collectieve warmtevoorziening waarschijnlijk nog rendabeler worden. Ook bij de aanleg zullen schaalvoordelen naar waarschijnlijkheid kostenverlagend verlagend werken. Deze mogelijke besparingen zijn niet in de berekeningen meegenomen.

### **Hergebruik restwarmte**

Tegenover de warmtebehoefte is er in Zuid-Holland ook een grote hoeveelheid restwarmte beschikbaar bij de petrochemische industrie,

elektriciteitscentrales en afvalverwerkingscentrales. Hoewel de bron van deze restwarmte meestal niet hernieuwbaar is, levert het benutten hiervan bij de afnemers een directe besparing op in het gebruik van de fossiele grondstof aardgas. De restwarmte van de AVR Rozenburg bijvoorbeeld bedraagt 3,6 PJ<sup>a</sup>, hiermee zouden 90.000 huishoudens van warmte kunnen worden voorzien. Het gebruik van restwarmte biedt daarom, in ieder geval voor de kortere termijn, een belangrijke bijdrage aan het verduurzamen van de energievoorziening.

De beschikbare restwarmte van AVR Rozenburg wordt momenteel al benut via warmtenetten in nabijgelegen stedelijke gebieden. Er is echter veel meer restwarmte in Zuid-Holland dan nu wordt benut. Alleen al in de Rotterdamse haven wordt even veel restwarmte in de Maas geloosd als in Zuid-Holland in het stedelijk gebied en de glastuinbouw aan warmte nodig is. Met de aanleg van de warmterotonde worden ook de kolencentrales op de Maasvlakte aangesloten en groeit het aandeel restwarmte.

Hoewel de warmtelevering via collectieve netwerken groeit, zijn er enkele complicaties te verwachten.

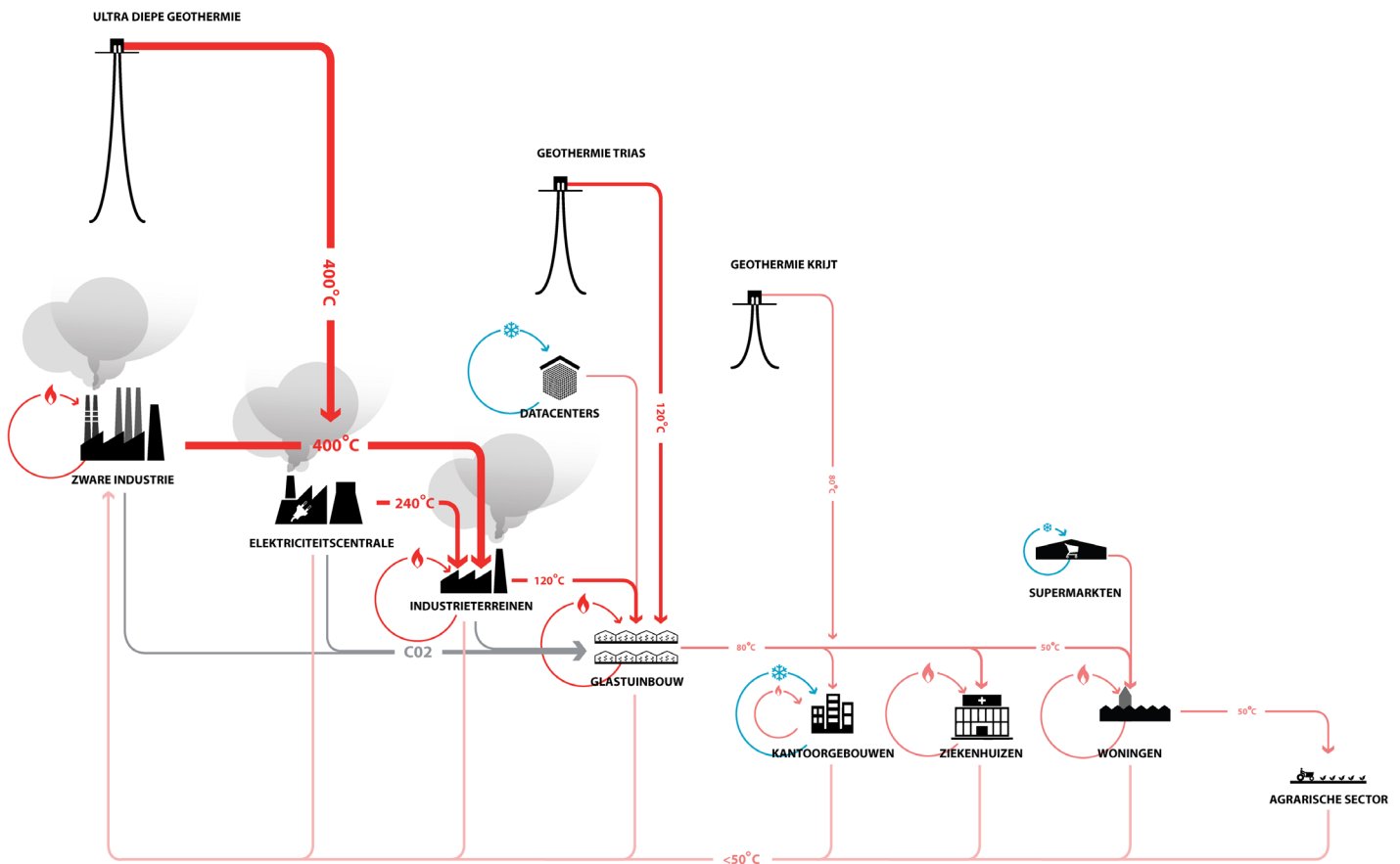
De business case voor warmtelevering is een uitdaging. Er zijn hoge investeringen nodig voor infrastructuur (warmteleidingen en warmteoverdrachtstations) tegen marktconforme voorwaarden (hoge rente, korte terugverdientijd) terwijl de omzet in het begin laag is (weinig aansluitingen) en er geen toekomstige afnamegarantie is. Om te concurreren met gaslevering is de inkoopprijs voor restwarmte laag. Dat maakt warmtelevering niet altijd interessant voor bedrijven die hun corebusiness op andere terreinen hebben en waarvoor restwarmtelevering dus bijzaak is. Ook wordt het garanderen van warmteaanbod (must-run) onwenselijk geacht en is het uitkoppelen van restwarmte in het productieproces en het beschikbaar maken voor transport technisch niet altijd gemakkelijk. Het is dus vaak eenvoudiger en aantrekkelijker om de warmte te lozen zo lang dat niet belast of verboden wordt.

**Flushen vs cascaderen**

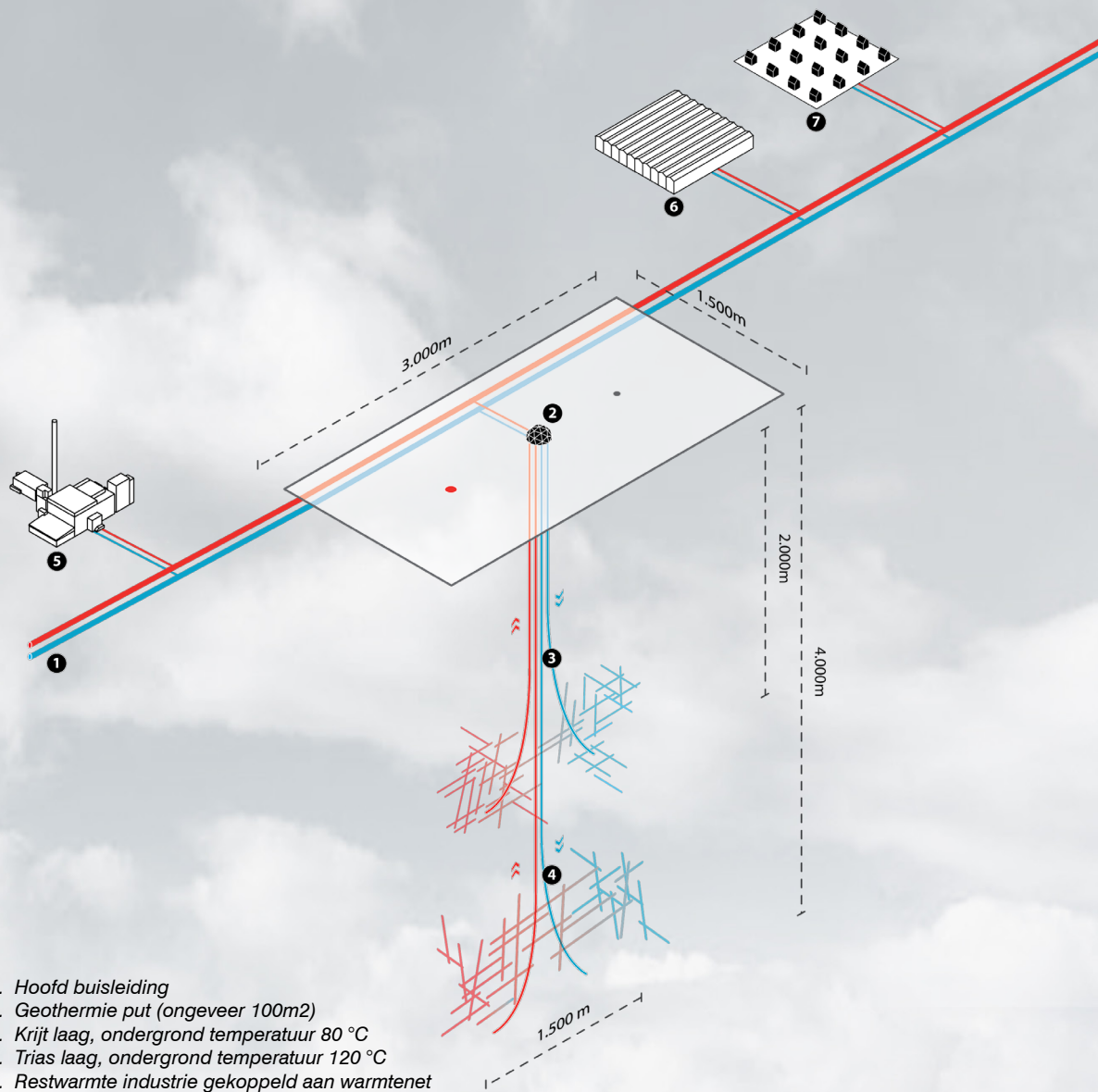
Voor een optimaal functioneren van een grootschalig collectief warmtenet is het van belang dat de warmte die wordt opgewekt efficiënt wordt

gebruikt. Bij het aankoppelen van warmtevragers aan het warmtenet moet goed worden nagedacht over welke temperatuur van warmte waar wordt ingezet. Huidige warmtenetten werken door middel van het ‘flushen’ van warmte, waarbij aanbod van hoogwaardige warmte direct wordt gekoppeld aan lage temperatuur vraag (huishoudens). Efficiënter is het om warmte te cascaderen, waarbij een aanbod van hoge temperatuur warmte bijvoorbeeld eerst langs andere industrie of glastuinbouw wordt gevoerd alvorens het de huishoudens bereikt.

We bouwen in deze studie het warmtenet op in drie stappen, van 2020 naar 2035 en tot slotte 2050. Als de warmterotonde in 2020 is gerealiseerd, worden de stedelijke warmtenetten grotendeels gevoed door restwarmte en voor een kleiner deel door geothermie. Ook de helft van alle gasgestookte WKK's in de glastuinbouwgebieden zijn dan vervangen door restwarmte en geothermie. Hier hoort bij dat de aanvoer van CO2 via de OCAP-leiding verder wordt uitgebreid, om in de CO2-behoefte van tuinders te voorzien (wat voorheen met de WKK's gebeurde). Na 2020 bouwen we voort op de warmterotonde en wordt het warmtenetwerk verder uitgebreid en vooral aangevuld met geothermie.



Figuur 5: Cascaderingsprincipe voor warmte



1. Hoofd buisleiding
2. Geothermie put (ongeveer 100m<sup>2</sup>)
3. Krijt laag, ondergrond temperatuur 80 °C
4. Trias laag, ondergrond temperatuur 120 °C
5. Restwarmte industrie gekoppeld aan warmtenet
6. Glastuinbouw gekoppeld aan warmtenet
7. Bebouwde omgeving gekoppeld aan warmtenet

Figuur 3: De verschillende elementen en de werking van geothermische doubletten in aquifers, gekoppeld aan het warmtenet.



## De potentie van geothermie

### Optimaal gebruik van de ondergrond: het geothermisch grid

In delen van Nederland, vooral Zuid-Holland, Limburg en de noordelijke provincies, bevinden zich goede doorlaatbare aardlagen en breuklijnen in de aardkorst. Hierdoor is het mogelijk om dieper gelegen warm (en zilt) water op te pompen via een lange stalen buis. Door middel van warmtewisselaars kan de warmte hiervan worden overgedragen op het water in de waternetten waarna het afgekoelde water via een andere buis weer wordt teruggepompt. Hoe dieper de geothermieput is, hoe hoger de temperatuur van het opgepompte water is en hoe groter het energetisch vermogen. Met diepe geothermie (dieper dan 3500 meter) kunnen industriële processen worden voorzien van warmte met een temperatuur van 120 graden Celsius. Bovendien kan met een combinatie van diepe geothermie en ondiepere geothermie het potentieel aan bodemenergie worden verhoogd, doordat meerdere aardlagen worden benut. (Ultra) diepe geothermie kan eventueel ook gebruikt worden voor de opwekking van elektriciteit, alvorens de resterende warmte in het warmtenet wordt gepompt. Met de verwachte rendementsstijging van stirlingmotoren kan dit mogelijk een grote bijdrage leveren aan de elektriciteitsvraag van Nederland.

In Nederland zijn inmiddels een tiental geothermiebronnen in gebruik, waaruit tot circa 2 kilometer diepte water van zo'n 80 graden Celsius wordt opgepompt. Het aantal geothermieputten is nog beperkt vanwege de hoge investeringskosten (enkele tientallen miljoenen euro's per put) en het risico op een lager energetisch rendement (misboring). Bij iedere boring die wordt gedaan neemt de kennis over de ondergrond en het te verwachten rendement echter toe en neemt dit risico af. In het Westland wordt begin 2016 de eerste Nederlandse 'diepe' geothermieboring gedaan.

De schattingen naar de potentie voor geothermie in Nederland lopen uiteen, maar op basis van de huidige kennis van de ondergrond en de boringen lijkt met geothermie ruimschoots in de warmtebehoefte van een aanzienlijk deel van Nederland te kunnen worden voorzien. Afgezet tegen kleinschalige voorzieningen, zoals zonneboilers en warmtepompen, is het verreweg de goedkoopste vorm van warmteopwekking (euro/PJa<sup>-1</sup>).



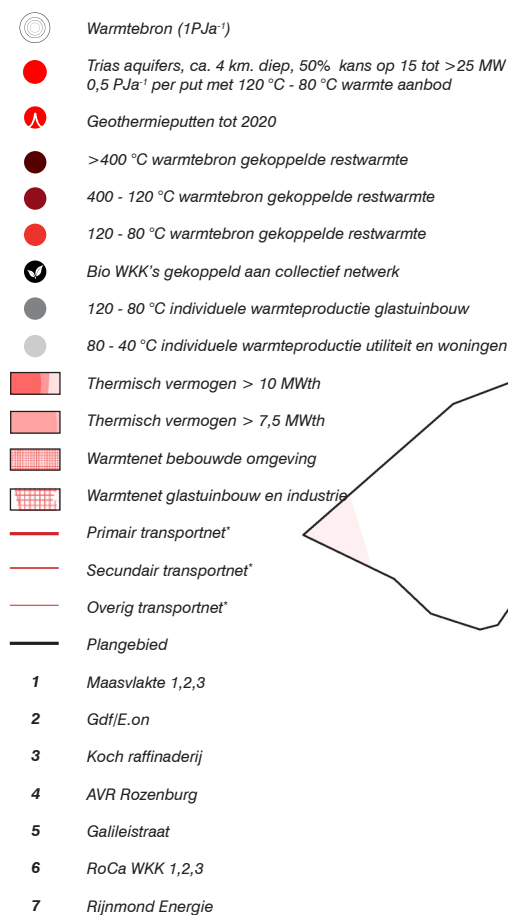
# Smart Thermal Grid Zuid-Holland 2035

## Regionale netwerken

Behalve dat geothermie een kosteneffectieve vorm van duurzame energiewinning is, heeft geothermie nog een ander belangrijk voordeel: de zichtbare ruimtelijke impact is minimaal. Dit in tegenstelling tot de ruimtelijke en landschappelijke impact van windturbines, pv-cellen en zonnecollectoren. De meeste infrastructuur voor geothermie bevindt zich ondergronds en ook de bovengrondse behuizing van de warmtewisselaars (geothermiestations) is nog geen 100m<sup>2</sup> groot. Een ander voordeel is dat er, in tegenstelling tot bijvoorbeeld zonneakkers, geen concurrentie ontstaat met ander vormen van landgebruik zoals voedselproductie. En hoewel hier nog nader onderzoek naar gedaan moet worden, lijkt geothermie ook veel minder aardbevingsgevoelig, omdat het gebruikte grondwater ook weer teruggepompt wordt en er nauwelijks drukverschillen in de ondergrond ontstaan. Omdat het een gesloten systeem betreft lijkt ook de mogelijke impact op de ecologie van de ondergrond en het grondwater beperkt. Daarmee is er op al deze aspecten ook minder

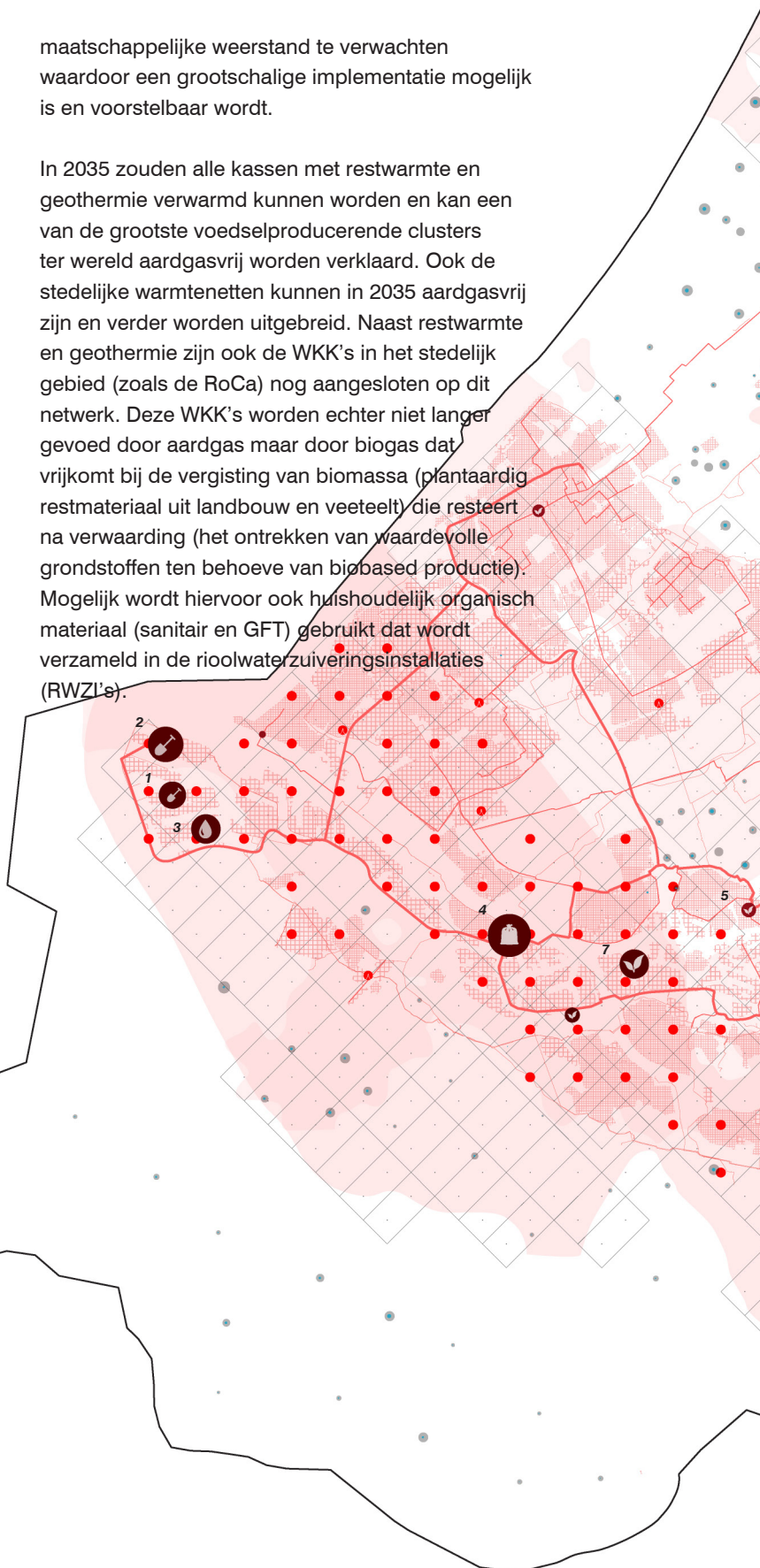
maatschappelijke weerstand te verwachten waardoor een grootschalige implementatie mogelijk is en voorstelbaar wordt.

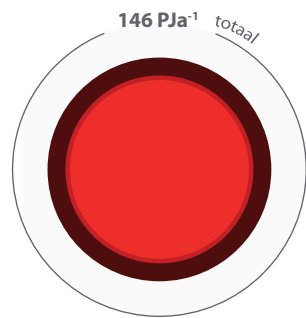
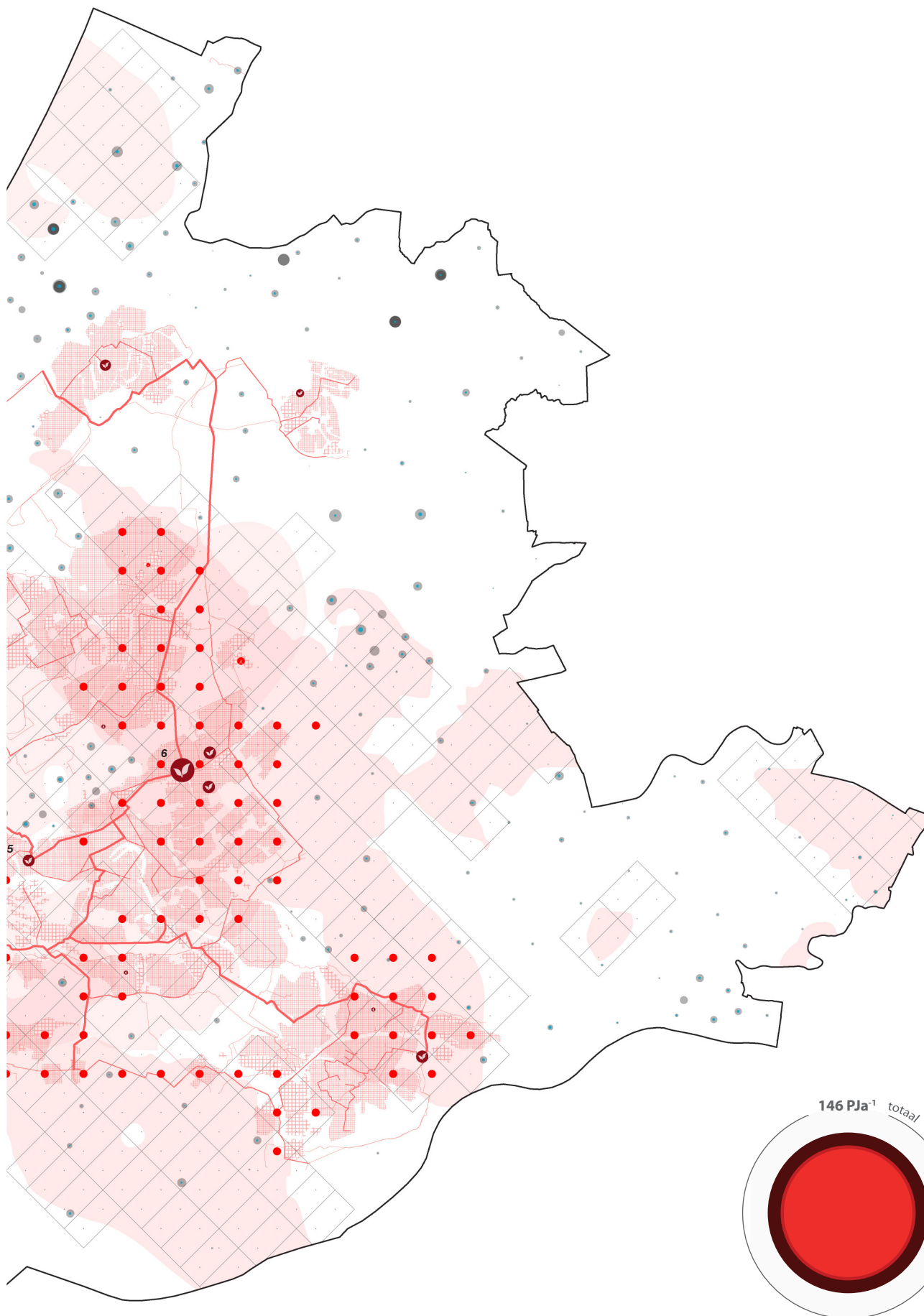
In 2035 zouden alle kassen met restwarmte en geothermie verwarmd kunnen worden en kan een van de grootste voedselproducerende clusters ter wereld aardgasvrij worden verklaard. Ook de stedelijke warmtenetten kunnen in 2035 aardgasvrij zijn en verder worden uitgebreid. Naast restwarmte en geothermie zijn ook de WKK's in het stedelijk gebied (zoals de RoCa) nog aangesloten op dit netwerk. Deze WKK's worden echter niet langer gevoed door aardgas maar door biogas dat vrijkomt bij de vergisting van biomassa (plantaardig restmateriaal uit landbouw en veeteelt) die resteert na verwaarding (het onttrekken van waardevolle grondstoffen ten behoeve van biobased productie). Mogelijk wordt hiervoor ook huishoudelijk organisch materiaal (sanitair en GFT) gebruikt dat wordt verzameld in de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's).



\* Transportnet warmte gebaseerd op huidig gasleidingnetwerk.

Oppervlakte cirkels zijn in onderlinge kwantitatieve verhouding





## 84,8 PJa<sup>-1</sup>














- 25 PJa<sup>-1</sup> benutte restwarmte
- 5,6 PJa<sup>-1</sup> stadswarmtecentrales (WKK's)
- 54,2 PJa<sup>-1</sup> geothermie
- 61,2 PJa<sup>-1</sup> individueel gebruik aardgas (bv. woningbouw of utiliteitsbouw)

# Smart Geothermal Grid Zuid-Holland 2050

## Optimaal benutten van de geothermische potentie van de ondergrond

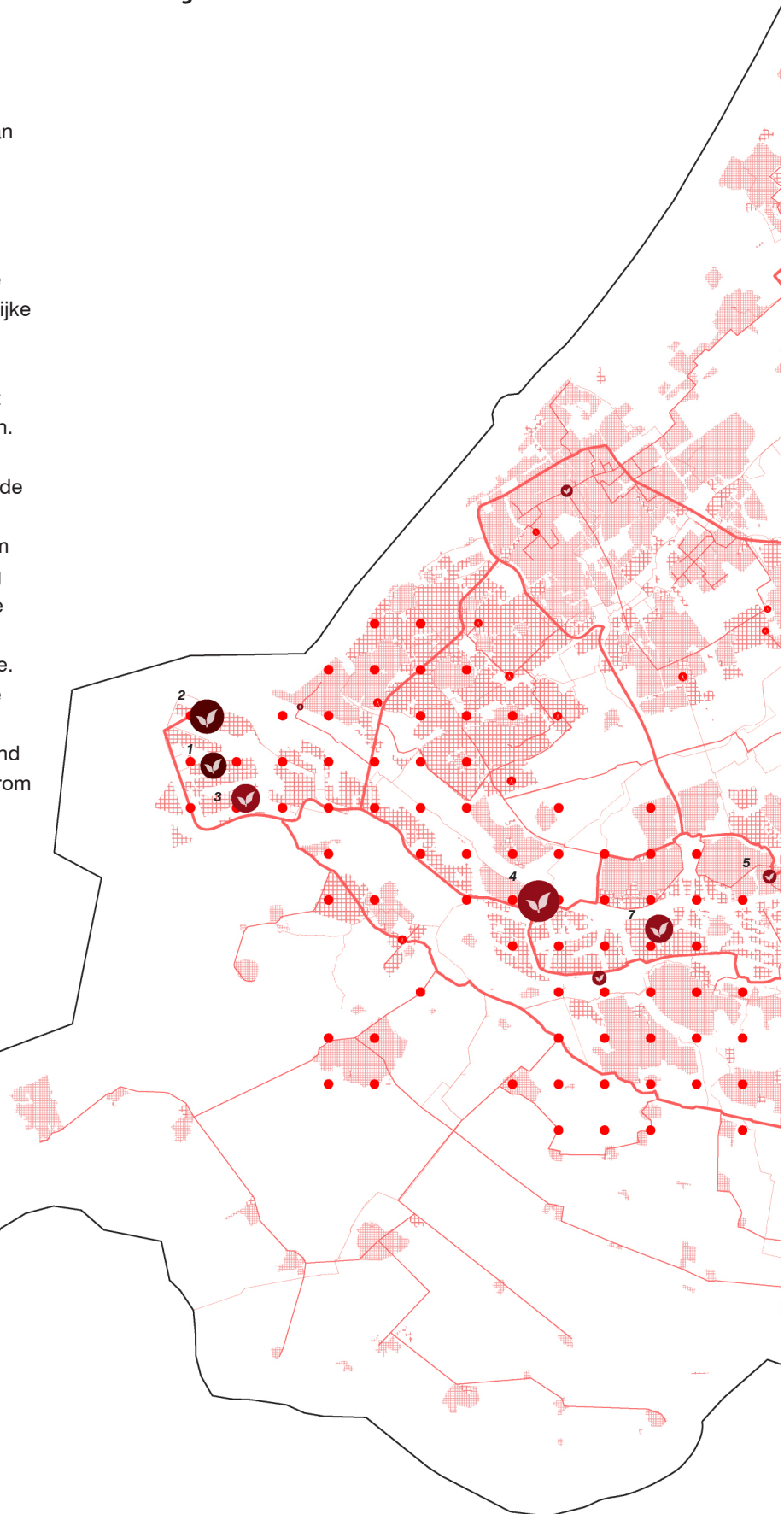
Tot 2050 wordt een steeds groter gedeelte van het bebouwd gebied van stadsverwarming voorzien, waardoor er stapsgewijs een dekkend en robuust netwerk ontstaat, waaraan warmte kan worden geleverd en onttrokken. Op strategische plekken in het netwerk zullen (seizoen)buffers worden aangelegd. Alleen in bepaalde delen van het buitengebied waar de dichtheid van de warmtevragers te beperkt is, en ook geen goede kansen voor geothermie zijn, worden nog mogelijke individuele voorzieningen getroffen.

Binnen de tijdspanne van het scenario verschuift het aandeel van de verschillende warmtebronnen. Geothermie (Trias en Krijt) zal langzaam maar zeker de belangrijkste warmtebron worden voor de collectieve warmtevoorziening. Overtijd kan zelfs een deel van de diepe geothermie, waarbij stoom vrijkomt, worden aangewend voor de opwekking van duurzame elektriciteit. Industriële restwarmte zal als (minder duurzame) bron op den duur mogelijk ook worden vervangen door geothermie. Waarschijnlijk zullen er in de loop der tijd nieuwe duurzamere restwarmtebronnen ontstaan (biochemie), maar daar is nu te weinig van bekend om daar rekening mee te houden. We gaan daarom uit van eenzelfde hoeveelheid restwarmte als in 2020, maar dan 'groener'.

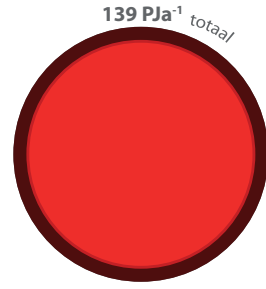
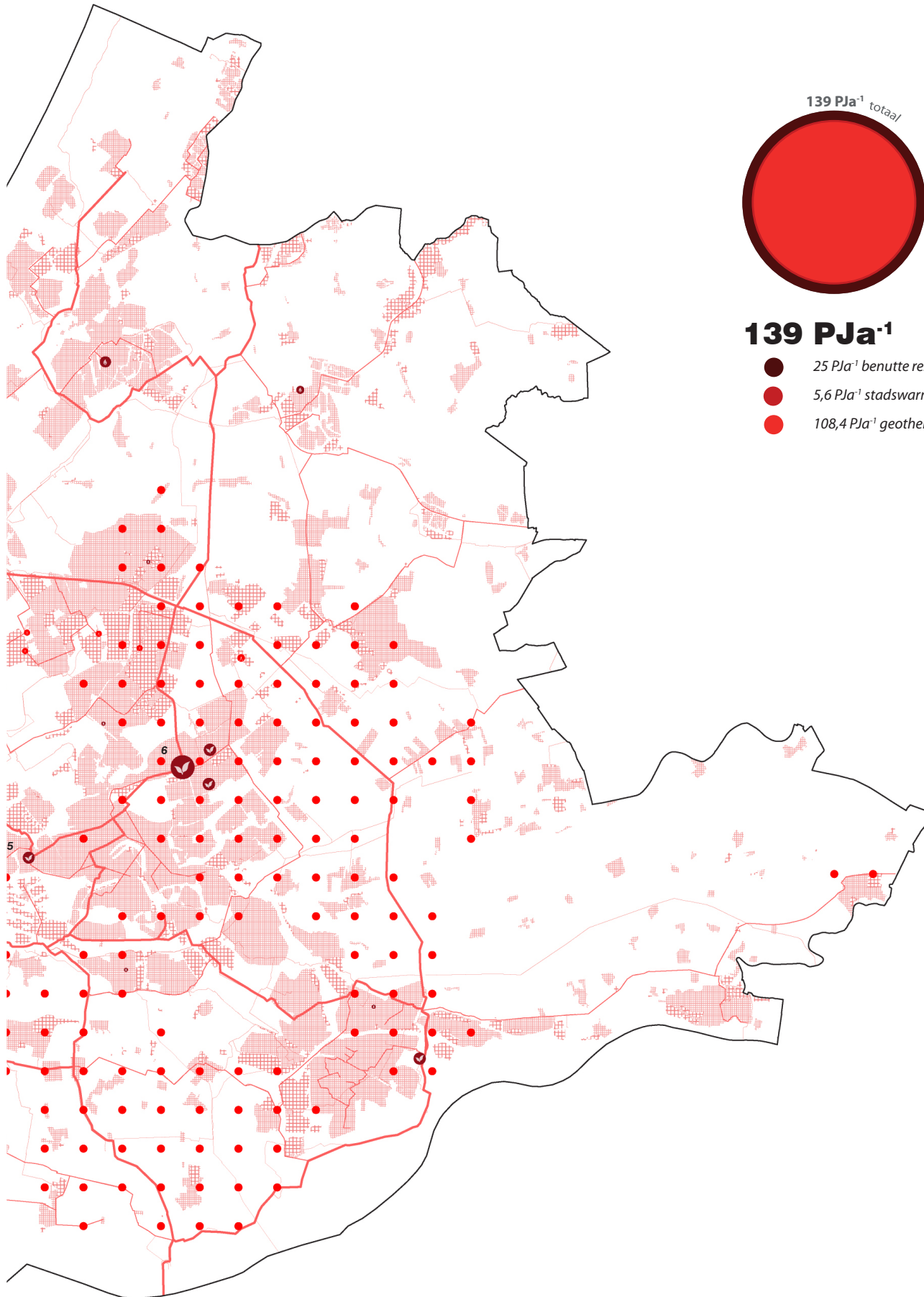
-  Warmtebron (1PJ<sup>a</sup>)
-  Trias aquifers, ca. 4 km. diep, 50% kans op 15 tot >25 MW  
0,5 PJ per put met 120 °C - 80 °C warmte aanbod
-  Geothermieputten tot 2020
-  >400 °C warmtebron gekoppelde restwarmte
-  400 - 120 °C warmtebron gekoppelde restwarmte
-  120 - 80 °C warmtebron gekoppelde restwarmte
-  Bio WKK's gekoppeld aan collectief netwerk
-  Warmtenet bebouwde omgeving
-  Warmtenet glastuinbouw en industrie
-  Primair transportnet\*
-  Secundair transportnet\*
-  Overig transportnet\*
-  Plangebied
- 1 Maasvlakte 1,2,3
- 2 Gdf/E.on
- 3 Koch raffinaderij
- 4 AVR Rozenburg
- 5 Galleistraat
- 6 RoCa WKK 1,2,3
- 7 Rijnmond Energie

\* Transportnet warmte gebaseerd op huidig gasleidingnetwerk.

Oppervlakte cirkels zijn in onderlinge kwantitatieve verhouding







139 PJa<sup>-1</sup> totaal

**139 PJa<sup>-1</sup>**

- 25 PJa<sup>-1</sup> benutte restwarmte
- 5,6 PJa<sup>-1</sup> stadswarmtecentrales (WKK's)
- 108,4 PJa<sup>-1</sup> geothermie

**11.800.000.000 euro**

**2.800.000.000 euro geothermie**

**900.000.000 euro primair transportnet**

**8.100.000.000 euro warmtenetten**

# Dutch Smart Thermal Grid 2050

## De totale verduurzaming van de Nederlandse warmtevoorziening

### De potentie van restwarmte

Zoals in Zuid-Holland zijn er meerdere regio's met een grote hoeveelheid aan beschikbare restwarmte. De Eemshaven in Groningen, Moerdijk in West-Brabant of Tata Steel in IJmuiden, er is een groot warmteaanbod verspreid over Nederland. Net zoals in Zuid-Holland, kunnen warmtenetten gevoed door restwarmte aanjagers zijn voor het ontwikkelen van een regionaal warmtenetwerk dat overtijd door geothermie gevoed zal worden.

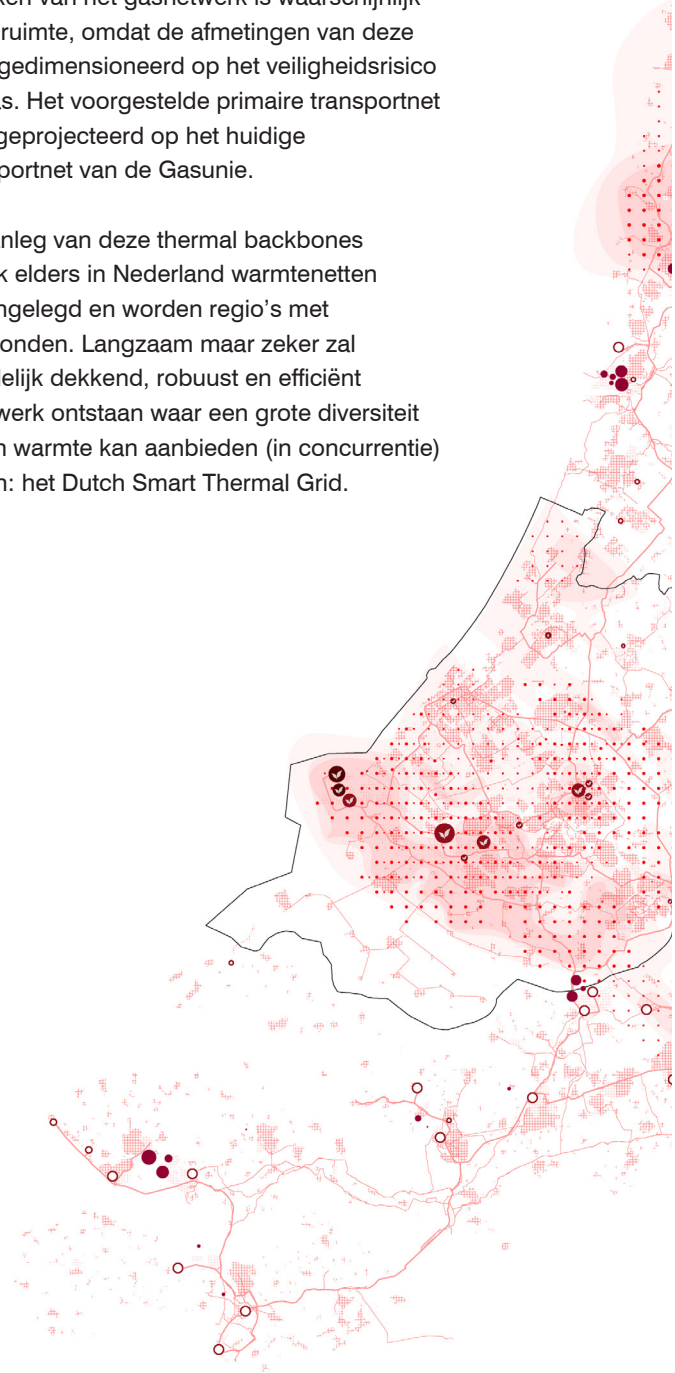
### De potentie van de ondergrond

Op basis van de huidige kennis van de ondergrond en de reeds gedane boringen lijkt met geothermie in de warmtebehoefte van een groot deel van Nederland te kunnen worden voorzien. Aan de hand van kaartmateriaal van o.a. TNO en NLOG is de potentie van de ondergrond al globaal in beeld gebracht. Er wordt namelijk al volop gezocht naar goede (waterdoorlatende) aardlagen. Deze boringen zullen naar verloop van tijd ook zorgen voor een beter inzicht in de potentie van de ondergrond. Noemenswaardig is dat de potentie van de ondergrond op de Noordzee nog onbekend is. Kijkend naar het grote oppervlak dat een goede potentie heeft is de mogelijkheid voor geothermie op de zeebodem niet te verwaarlozen. Daarnaast is er de optie voor extreem diepe geothermie tot 10 km. Deze EGS (enhanced geothermal systems) kunnen een temperatuur van 300 graden Celsius aanboren. Hiermee zou, door middel van bijvoorbeeld een Stirlingmotor, ook elektriciteit kunnen worden geproduceerd.

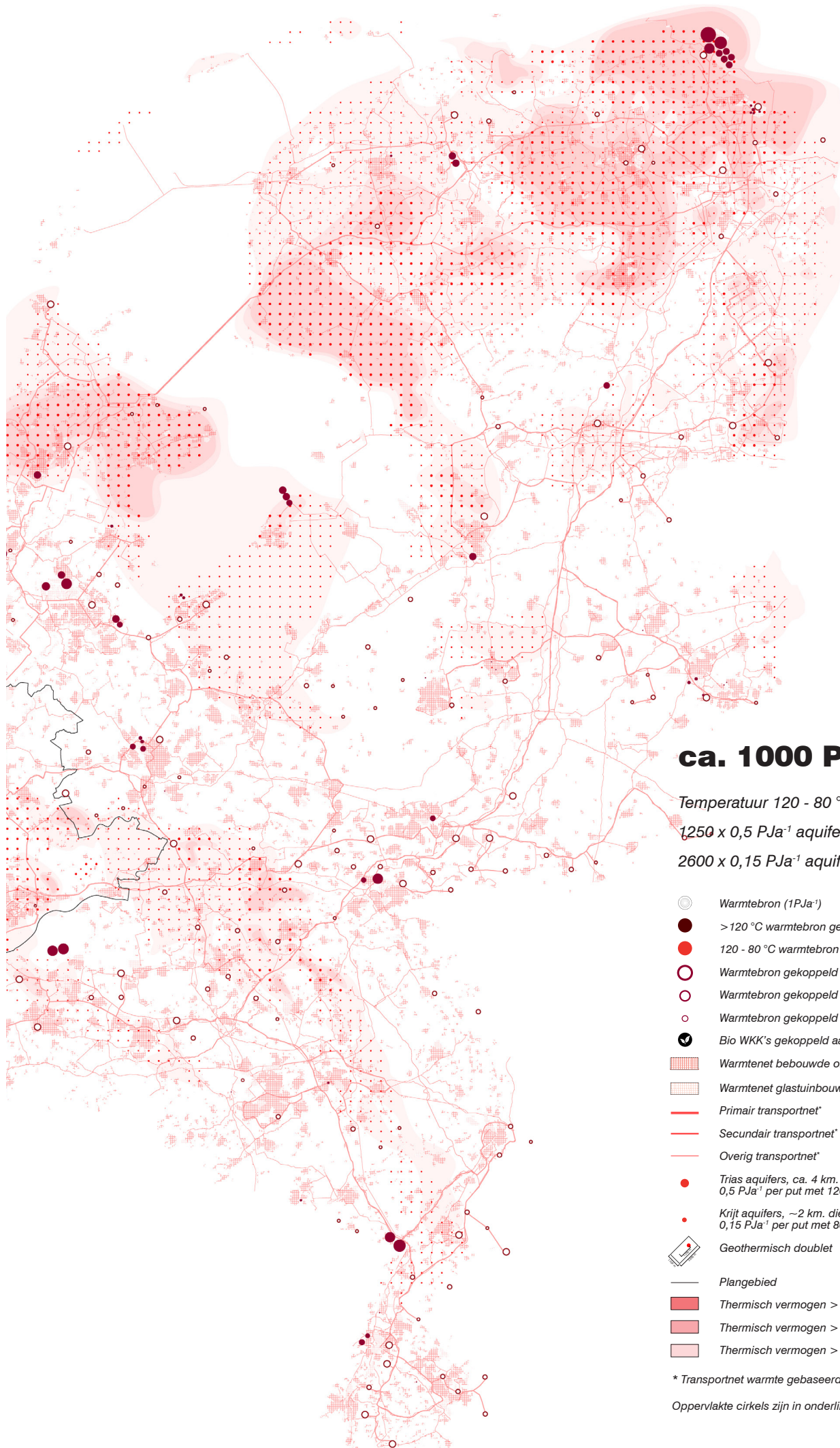
Als er voldoende aanbod van aardwarmte is, is het technisch gezien volstrekt voorstelbaar dat na de aansluiting van de eerste, kansrijke regio's de basis wordt gelegd voor een landelijk dekkend warmtenetwerk, waarbij stapsgewijs meer bebouwde omgeving kan worden aangesloten. Warmteverliezen over grote afstanden kunnen worden beperkt door met 'thermal backbones' (hoofdwarmteleidingen of 'warmtesnelwegen') te werken. Hoe groter de diameter van deze backbones, des te minder groot (in verhouding) het oppervlak (de rand van de buis) waar warmteverlies optreedt. Daarnaast kan door deze leiding goed te isoleren het warmteverlies nog meer beperkt worden. Ook zal de mogelijke stroomsnelheid in de buis toenemen bij een grotere doorsnede. Uiteraard is hiervoor nader onderzoek nodig.

Het lijkt vanzelfsprekend om de ondergrondse warmteleidingen te bundelen met andere infra (weg, water, rail, buisleidingen, KV, biomassa, CO2 etc.). Omdat warmteleidingen volumineus zijn, is het verstandig daar ruimte voor te reserveren. In de leidingstroken van het gasnetwerk is waarschijnlijk voldoende ruimte, omdat de afmetingen van deze strook zijn gedimensioneerd op het veiligheidsrisico van aardgas. Het voorgestelde primaire transportnet is daarom geprojecteerd op het huidige hoofdtransportnet van de Gasunie.

Door de aanleg van deze thermal backbones kunnen ook elders in Nederland warmtenetten worden aangelegd en worden regio's met elkaar verbonden. Langzaam maar zeker zal er een landelijk dekkend, robuust en efficiënt warmtenetwerk ontstaan waar een grote diversiteit aan partijen warmte kan aanbieden (in concurrentie) en afnemen: het Dutch Smart Thermal Grid.



\* Dit is een globale schatting. Nader onderzoek is vereist. Data thermische potentie onder zeebodem onbekend



**ca. 1000 PJ<sup>a-1</sup> \***

Temperatuur 120 - 80 °C

1250 x 0,5 PJ<sup>a-1</sup> aquifers, 625 PJ<sup>a-1</sup>

2600 x 0,15 PJ<sup>a-1</sup> aquifers, 390 PJ<sup>a-1</sup>

- Warmtebron (1PJ<sup>a-1</sup>)
- > 120 °C warmtebron gekoppelde restwarmte
- 120 - 80 °C warmtebron gekoppelde restwarmte
- Warmtebron gekoppeld aan collectief netwerk (>0,5PJ<sup>a-1</sup>)
- Warmtebron gekoppeld aan collectief netwerk (0,5PJ<sup>a-1</sup> - 0,05PJ<sup>a-1</sup>)
- Warmtebron gekoppeld aan collectief netwerk (<0,05PJ<sup>a-1</sup>)
- Bio WKK's gekoppeld aan collectief netwerk
- Warmtenet bebouwde omgeving
- Warmtenet glastuinbouw en industrie
- Primair transportnet\*
- Secundair transportnet\*
- Overig transportnet\*
- Trias aquifers, ca. 4 km. diep, 50% kans op 15 tot >25 MW  
0,5 PJ<sup>a-1</sup> per put met 120 °C - 80 °C warmte aanbod
- Krijt aquifers, ~2 km. diep, 50% kans op 7,5 - 15 MW  
0,15 PJ<sup>a-1</sup> per put met 80 °C - 50 °C warmte aanbod
- Geothermisch doublet
- Plangebied
- Thermisch vermogen > 10 MWth
- Thermisch vermogen > 7,5 MWth
- Thermisch vermogen > 5 MWth

\* Transportnet warmte gebaseerd op huidig gasleidingnetwerk.

Oppervlakte cirkels zijn in onderlinge kwantitatieve verhouding.

## Vol gas!

Is de gedachte van een landelijk warmtenetwerk grotendeels op basis van geothermie megalomaan en utopisch of mogelijk een zeer goede en haalbare (capaciteit en draagvlak) en betaalbare optie om in 2050 op duurzame wijze in de warmtebehoefte te kunnen voorzien? Is het uitzicht op een structurele en betaalbare oplossing voor de verduurzaming van de warmtevoorziening niet precies wat we op dit moment nodig hebben om gericht te acteren? Het maakt de uitdaging immers concreet en brengt glans op de opgave (yes we can!). We zouden als Nederland door versneld aan de slag te gaan ook een voortrekkersrol kunnen nemen in het gebruik van aardwarmte en smart thermal grids waardoor mogelijk nieuwe economische kansen in binnen en buitenland ontstaan.

Dit ontwerp maakt de uitdaging en de mogelijkheid van Smart Thermal Grids in ieder geval concreet en bespreekbaar. We laten zien dat een stapsgewijze uitbreiding tot het voorstelbare behoort. Vaak komen in de discussie over warmtenetten vuistregels naar voren als 'er is stedelijke dichtheid nodig' en 'de afstanden mogen niet te groot zijn'. Er liggen echter al warmtenetten in steden met matige dichtheid en zelfs dorpen in de nabijheid van stedelijk gebied. De afstanden die overbrugd worden lopen nu al tot in de tientallen kilometers. Met de elke nieuwe uitbreiding in regio's zoals Zuid Holland, Midden Brabant, Utrecht, MRA verandert de kaart voor de volgende stap.

In onze berekeningen gingen we uit van de gemiddelde kosten van de oplossingen. Een nadere studie die nauwgezet per wijk bekijkt hoe de kosten uitvallen, kan inzicht geven in de potentiekaart voor het invoeren van warmtenetten. Vervolgens is het de moeite waard te bestuderen wat de beste ontwikkelingsstrategie is voor de warmtenetten. Misschien is het aansluiten van telkens korte stukken inefficiënter dan het leggen van een regionale basisleiding.

Toch is de werkelijkheid weerbarstig en zijn er bij de realisatie van een collectieve warmtevoorziening een aantal belangrijke uitdagingen. Het begint bij bewustwording. Daarnaast betreft het vooral uitdagingen van financiële en organisatorische aard. We schetsen drie van deze uitdagingen:

### **1. Deltaplan energie**

De veelvuldige Initiatieven voor duurzame energie zijn vaak nog kleinschalig van aard. De vraag is of alle losse experimenten voldoende aansluitbaar en opschaalbaar zijn - of we er dus de maximale mogelijkheden uithalen. Zelfs is het de vraag of de lokaal aanwezige energiepotentie voldoende wordt benut. Het ontbreekt momenteel aan een overzicht van kansen voor duurzame energie in Nederland die samen optellen naar een strategie voor Nederland als geheel. Er is behoefte aan een richtinggevend masterplan (Deltaplan) voor de verduurzaming van de energievoorziening in heel Nederland. Het Dutch Smart Thermal Grid zou voor duurzame warmte een goed vertrekpunt kunnen vormen.

Specifiek dient er nader onderzoek gedaan te worden naar de techniek en mogelijkheden van geothermie zelf. De geothermische potentie in de Nederlandse bodem en de eventuele negatieve effecten van boringen zijn nog onvoldoende bekend. Ook dient nader onderzocht te worden wat de meest kosteneffectieve (ruimtelijke) strategie is voor het op grootschalige wijze benutten van aardwarmte en op welke wijze dit vertaald moet worden naar beleid. Een van de onderzoeksvragen is of aardwarmte ook op een locatie (tegelijktijd of successievelijk) op verschillende diepten kan worden gewonnen.

Kennis en expertise met betrekking tot energie en ruimte zijn momenteel erg gefragmenteerd. Daarnaast lijkt bij lagere overheden onvoldoende kennis aanwezig op het dossier energie om tot de juiste afweging te komen. Deze kennis dient te worden geconcentreerd, zodat deze beter kan worden benut door overheden en ondernemers. Een goed voorbeeld is het Deltaprogramma waar kennis en experts zijn samengebracht in een Delta-atelier waar aan een concreet plan van aanpak is gewerkt voor waterveiligheid in Nederland.

### **2. Lange en korte termijn financieringsmogelijkheden**

In onze berekeningen zijn we uitgegaan van nu geldende kostprijzen en dalende kosten bij leereffecten. Nadere berekeningen kunnen zoekrichtingen blootleggen voor de lange termijn financiering. Warmtenetten zijn rendabel, maar ook kostbaar.

De netten gaan lang mee, maar ze vragen ook lange terugverdiertijden. Warmtenetten vereisen momenteel een te hoge voorinvestering en moeten voldoen aan een combinatie van marktconforme voorwaarden (hoge rente, korte terugverdiertijd). Mogelijk kunnen investeringsmogelijkheden gecreëerd worden tegen 'publieke' voorwaarden (lage rente, lange afschrijving/terugverdiertijd). Overigens lijken er veel partijen in de markt te zijn (o.a. pensioenfondsen) die op zoek zijn naar dit soort lange termijninvesteringen in duurzame energie.

Naast antwoorden op het vraagstuk voor de lange termijn zijn op korte termijn al oplossingen nodig. De financiële risico's van geothermieboringen zijn op dit moment groot, omdat de permeabiliteit van de watervoerende laag op enkele kilometers diep niet precies kan worden ingeschat en daarmee de capaciteit van de geothermieput. Dat risico neemt met iedere boring af. Maar op dit moment is er nog behoefte aan een financieel instrument of garantiefonds waarmee dit risico kan worden gespreid. Daarnaast is er behoefte aan een structuurvisie ondergrond en heldere regelgeving zodat vergunningen sneller kunnen worden afgegeven.

### **3. Open nationaal net voor een warmtemarkt**

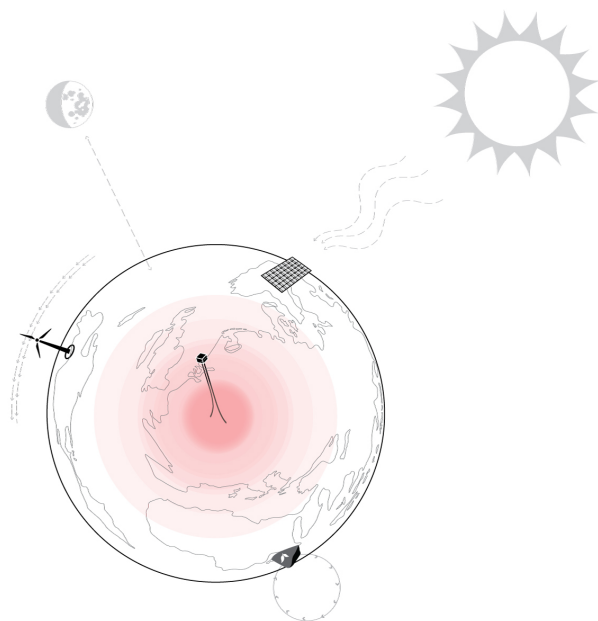
Een nationaal net voor de warmte lijkt tegen de stroom van de actualiteit in. De verantwoordelijkheid voor een duurzame energievoorziening lijkt – net als de verantwoordelijkheid voor de ruimtelijke ordening - te worden gedecentraliseerd van rijksoverheid naar de provincies en van provincie naar gemeentes. Het uitrollen van een efficiënt warmtenetwerk dat optimaal gebruik maakt van de energetische potentie vereist echter goede coördinatie en (centrale) regie is daarin noodzakelijk. Warmtenetten overschrijden provinciegrenzen en de regels voor het net worden nationaal bepaald: het rijk bepaalt de kaders waarbinnen particulier initiatief richting krijgt en tot bloei kan komen.

Bij de gedachte om duurzame warmte als nutsvoorziening aan te bieden, zodat het ook de huishoudens bereikt die andere prioriteiten hebben, dringt zich de vergelijking met het aardgasnetwerk op. Het aardgasnetwerk werd als nutsvoorziening

binnen circa tien jaar in heel Nederland aangelegd, omdat het toen de beste optie was. De rijksoverheid zou het initiatief kunnen nemen voor de aanleg van een landelijk dekkend warmtenetwerk waar vervolgens een grote diversiteit aan partijen warmte in concurrentie kan aanbieden en afnemen (open netwerk).

Er is een spanningsveld tussen het opbouwen van de warmtemarkt en het maatschappelijk draagvlak voor warmtenetten. Hoe meer aansluitingen op het warmtenet gemaakt kunnen worden, hoe voordeliger het per aansluiting wordt. Hoe meer geïnvesteerd wordt in individuele maatregelen, des te minder interessant de realisatie van een collectieve warmtevoorziening wordt. Om tot een regional smart thermal grid te komen, hebben de warmtebedrijven dwang nodig. De keuze voor een warmtenet zou daarom moeten worden gestimuleerd en misschien zelfs worden afgedwongen met een aansluitverplichting (net zoals bij riolering). Echter, de weerstand in de samenleving tegen warmtenetten is voor een groot deel op de dwang van de netten gestoeld. Het verder verplichten van afname zou daarom contraproductief kunnen werken voor het maatschappelijk draagvlak.

Mogelijk biedt het smart thermal grid daar een oplossing voor. Op het net zijn verschillende aanbieders actief. Zo ontstaat een warmtemarkt waardoor afnemers toch wat te kiezen hebben. Bedrijven met restwarmte moeten eventueel gestimuleerd of verplicht moeten worden om hun warmte aan het warmtenet te leveren. Dat kan indirect door een energie-effectiviteitsbelasting of CO<sub>2</sub>-tax. Of door een verbod op warmtelozing (zoals in Denemarken).




  
**500.000 PJ/jaar**
  
 Totale werelddeconomie


  
**500.000 PJ/jaar**
  
 Totale werelddeconomie



  
**23.000.000PJ**
  
 Kolen



  
**100.000 PJ**
  
 Getijdenenergie



  
**7.000.000PJ**
  
 Aardgas


  
**5.000.000 PJ**
  
 Biomassa


  
**7.000.000PJ**
  
 Aardolie


  
**20.000.000PJ**
  
 Windenergie


  
**2.000.000.000 PJ**
  
 Aardwarmte


  
**5.500.000.000 PJ**
  
 Op aarde ontvangen straling

Totale geothermische potentie:  
13.000.000.000 PJ

Aardwarmte is een energiebron die hernieuwbaar is en qua omvang vele malen groter dan alle fossiele bronnen tezamen ooit waren. Er zal nader onderzoek gedaan moeten worden naar de impact van een eventuele toepassing op mondiaal schaalniveau.

**Meer informatie?**

**Kijk op [www.dutchsmartthermalgrid.nl](http://www.dutchsmartthermalgrid.nl)**

Bronvermelding te vinden in het complete boek.

Dit document betreft een visiedocument, aan dit document kunnen geen rechten worden ontleend.

Studio Marco Vermeulen streeft naar correcte en actuele informatie in dit document, maar kan niet garanderen dat de informatie juist is op het moment waarop zij wordt ontvangen, of dat de informatie na verloop van tijd nog steeds juist is.

Studio Marco Vermeulen aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of gedateerde informatie. Binnen dit document zijn zoveel mogelijk informatiebronnen vernoemd.

Studio Marco Vermeulen is niet verantwoordelijk voor de inhoud van de bronnen waarnaar wordt verwezen.

Beeldmateriaal: Copyright Studio Marco Vermeulen 2016, tenzij anders aangegeven.

**STUDIO MARCOVERMEULEN**  
architectuur stedenbouw landschap onderzoek

Maaskade 85  
3071 NE Rotterdam

+31(0)10 225 0030  
[studio@marcovermeulen.nl](mailto:studio@marcovermeulen.nl)  
[www.marcovermeulen.nl](http://www.marcovermeulen.nl)

De infrastructuur van onze steden is twintigste-eeuws, verouderd en overbelast. De Next Economy vraagt om het herontwerp van de stad en haar infrastructuur. Het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving) en het CRa (College van Rijksadviseurs) hebben met verschillende ontwerpbureaus onderzocht hoe steden in Nederland kunnen werken aan de verduurzaming van hun infrastructuur.

Het Energieakkoord roept het beeld op van een energieneutrale stedelijke omgeving in 2050. Zonder ingrijpende innovaties als warmtenetten en de inzet van duurzame bronnen als geothermie wordt deze ambitie niet gehaald.

Studio Marco Vermeulen bracht in kaart hoe het ideale warmtenet er uit ziet. Daarbij is onderzocht hoe de juiste balans van vraag en aanbod in Smart Thermal Grids tot verregaande verduurzaming kan leiden.

Voor meer informatie:

Kijk op [www.dutchsmarthermalgrid.nl](http://www.dutchsmarthermalgrid.nl)

