

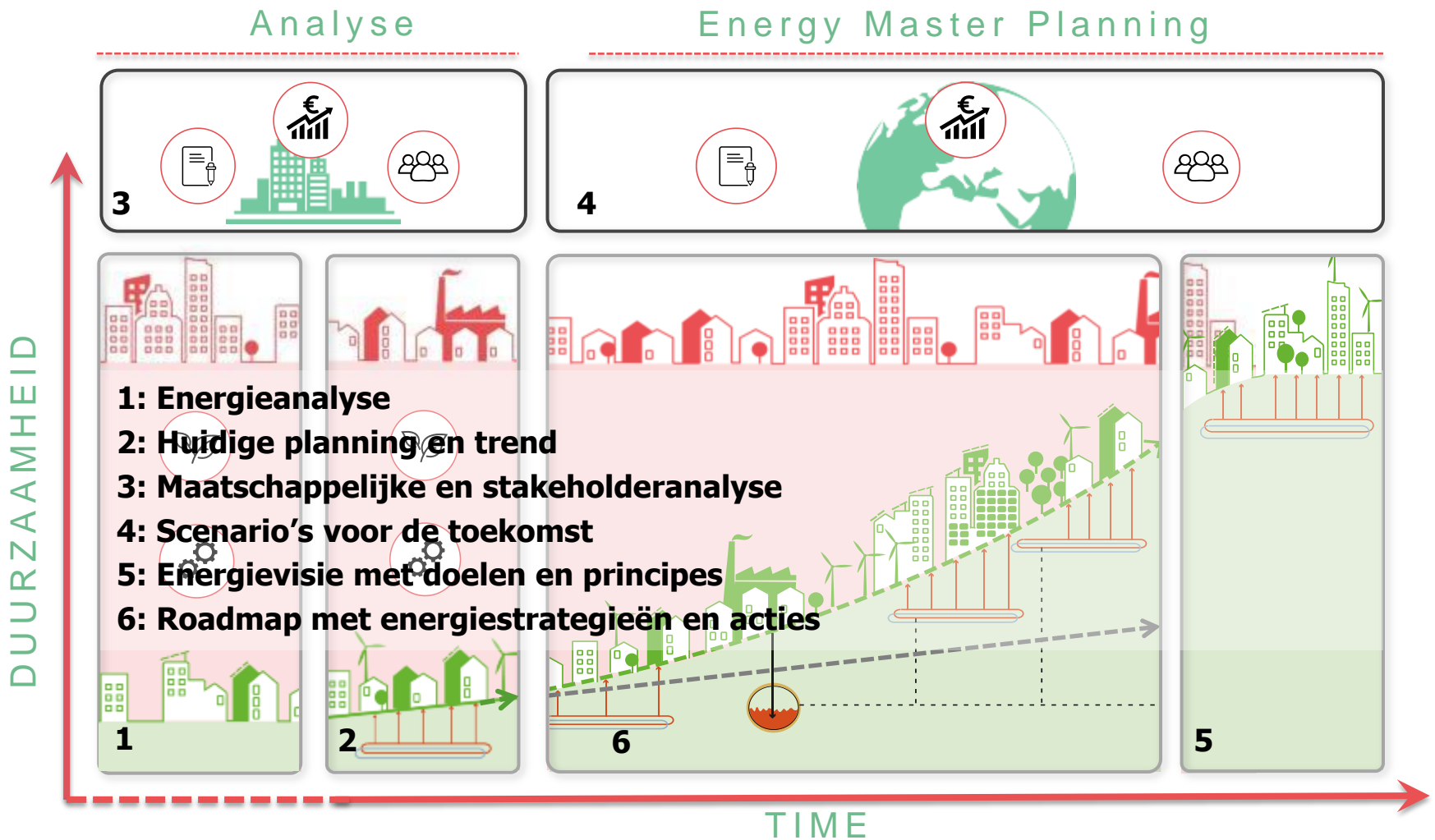


Urban energy transition roadmap

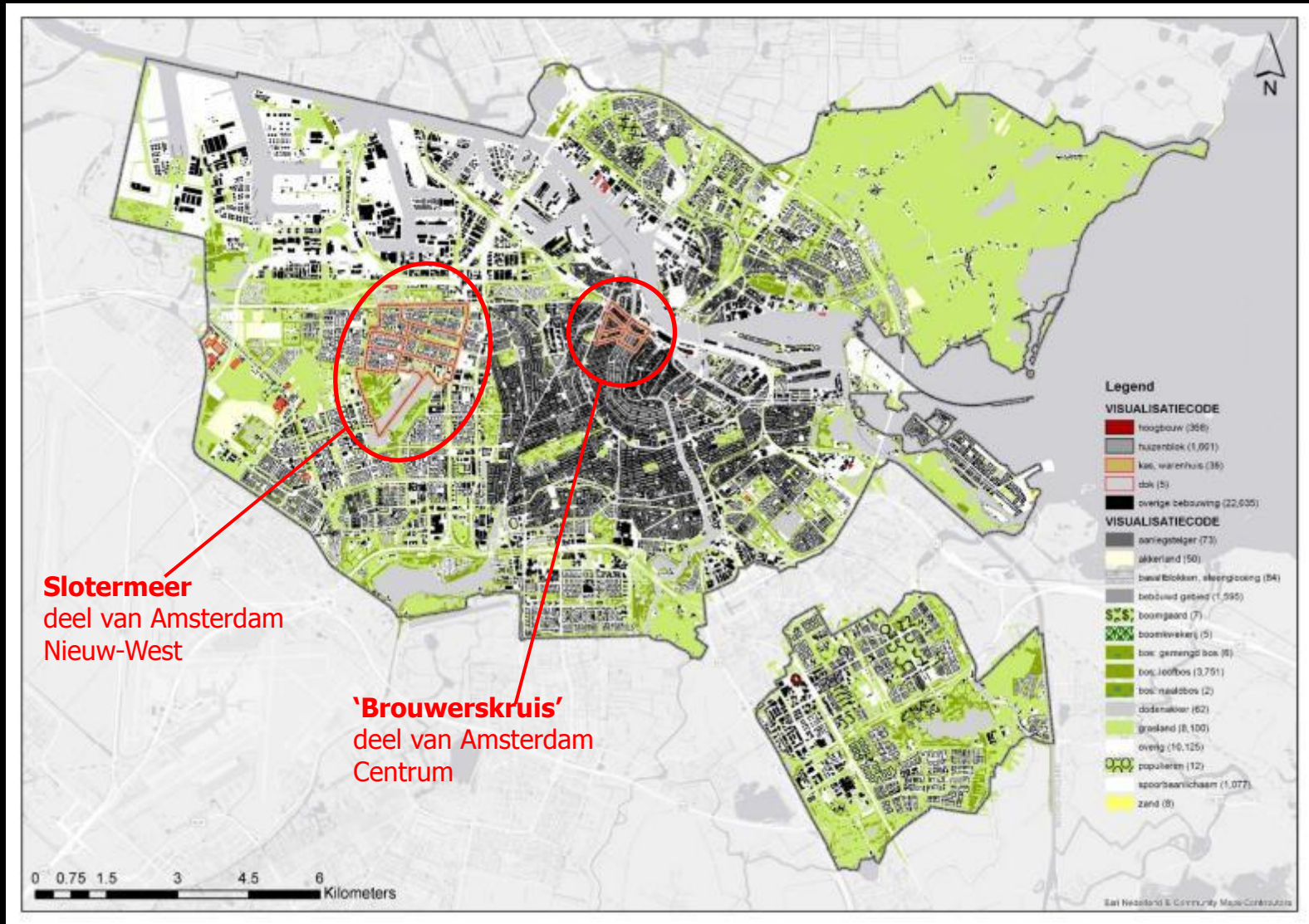
De routekaart van Amsterdam naar Parijs

Andy van den Dobbelsteen,
met Siebe Broersma, Jelle Sturkenboom, Michiel Fremouw, Craig Martin
TU Delft, Faculteit Bouwkunde, leerstoel Climate Design & Sustainability

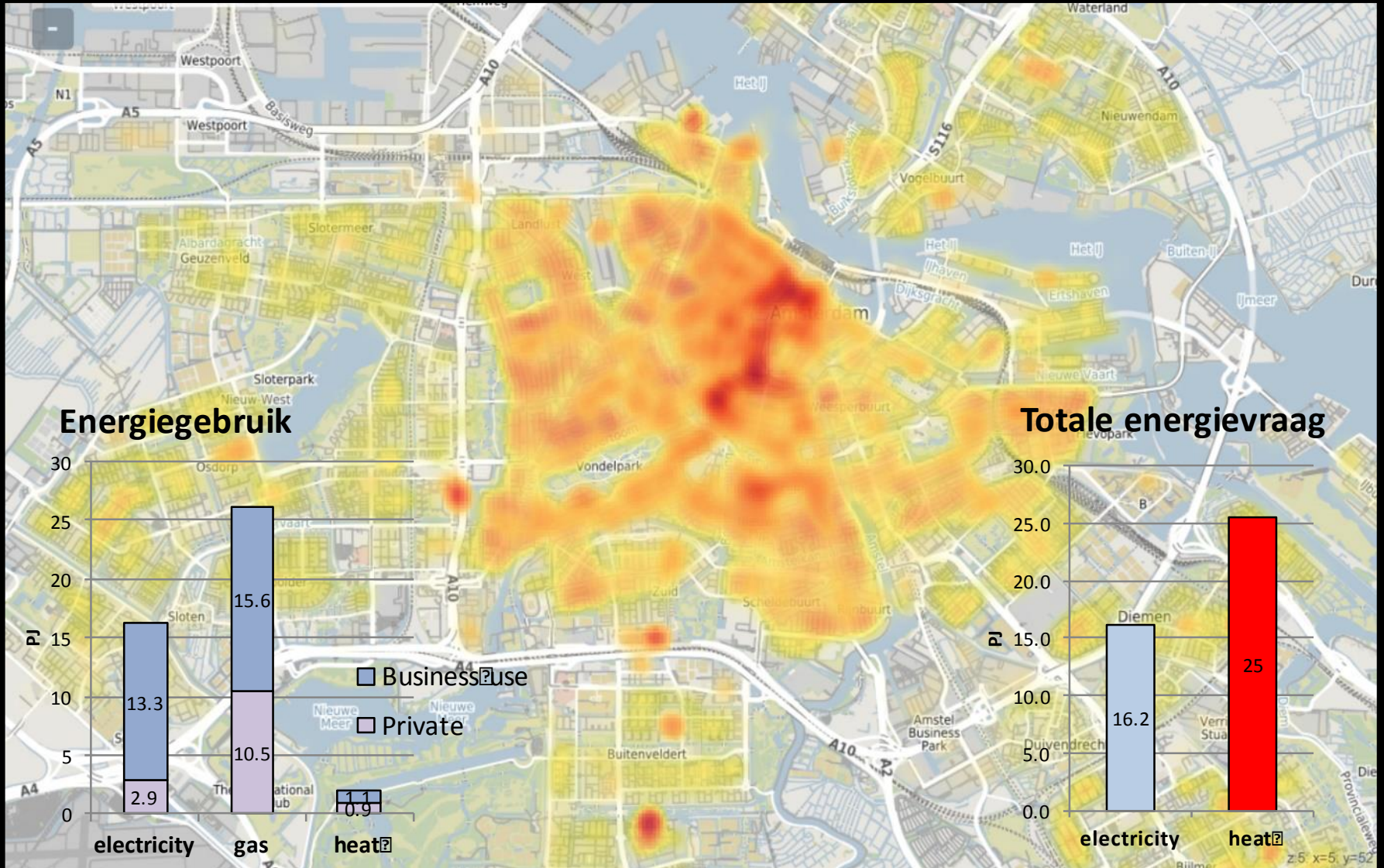
De energietransitiemethode van City-zen



Roadmap Amsterdam + 2 voorbeeldwijken

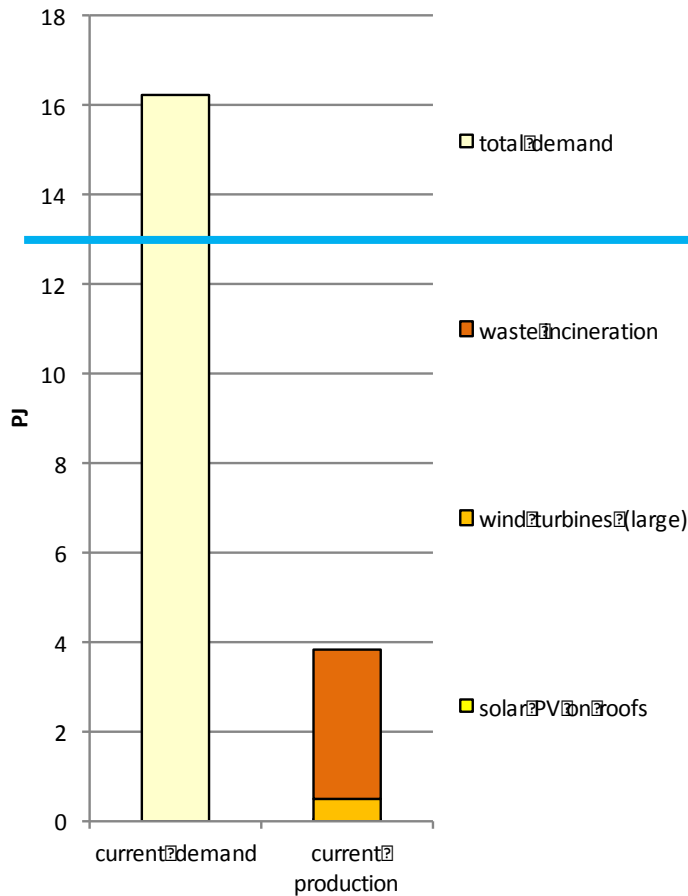


Energiegebruik en -vraag

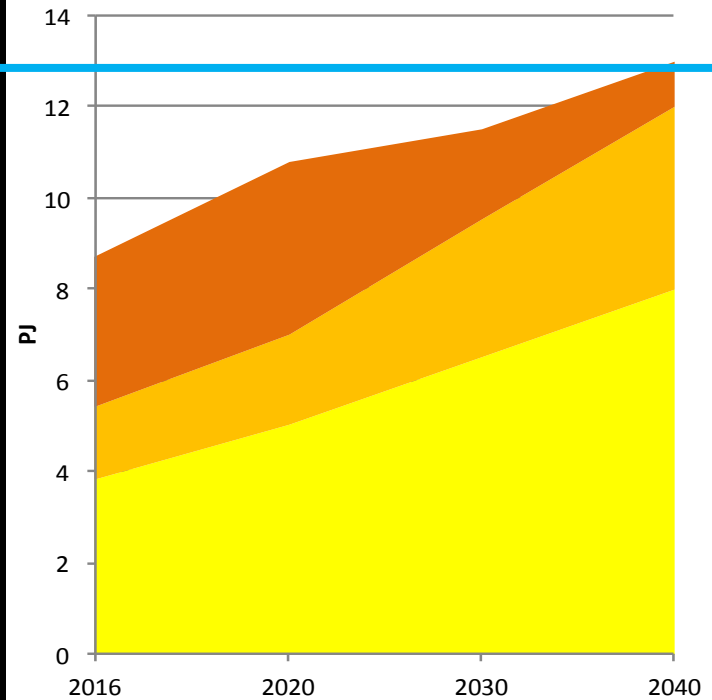


Duurzame elektriciteitspotentie

Huidige vraag & duurzame elektriciteitsproductie

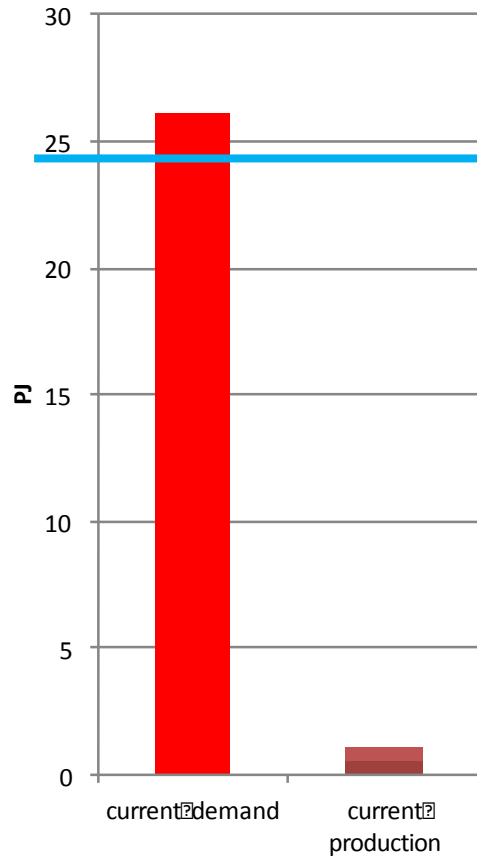


Elektriciteitspotentiescenario

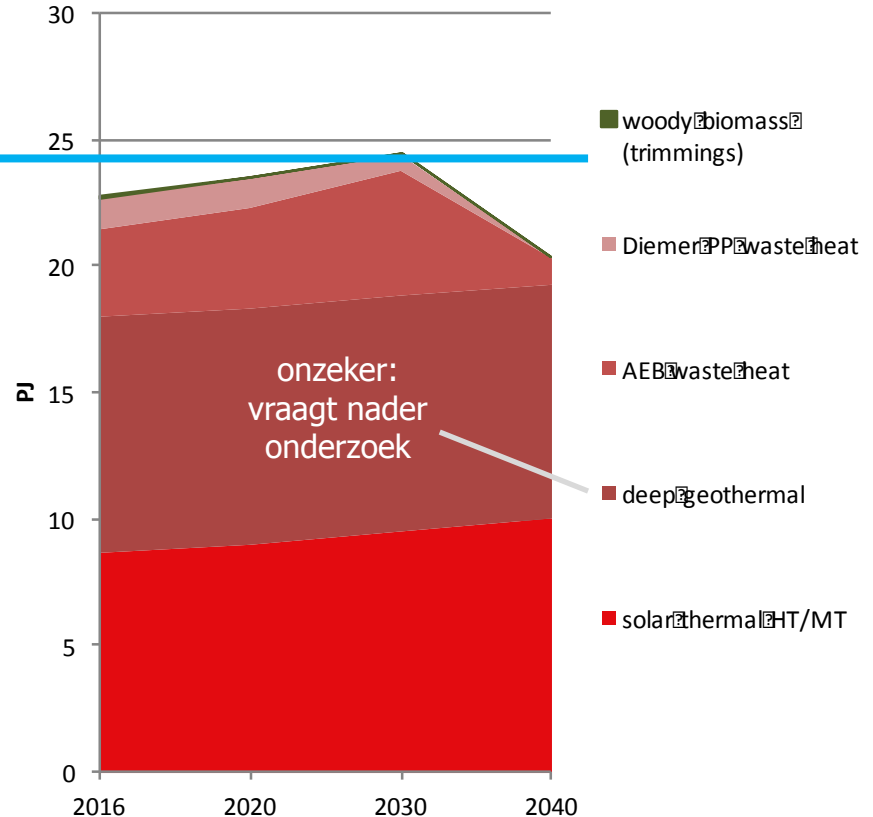


Duurzame hogetemperatuurwarmte (HT)

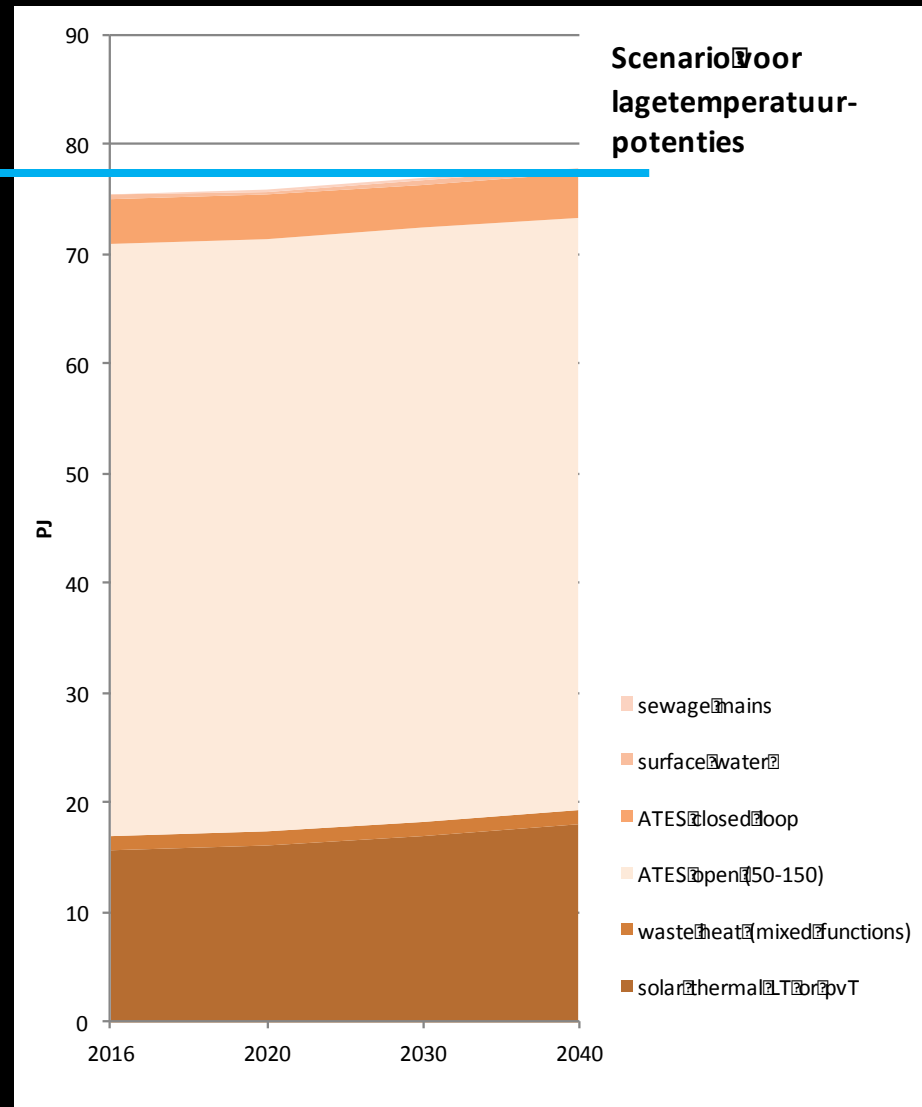
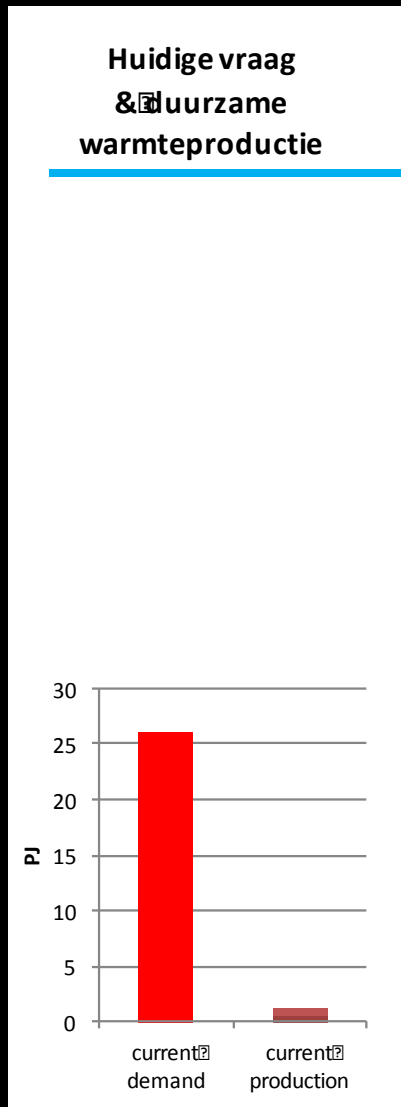
Huidige vraag & duurzame warmteproductie



Scenario voor hogetemperatuurpotenties



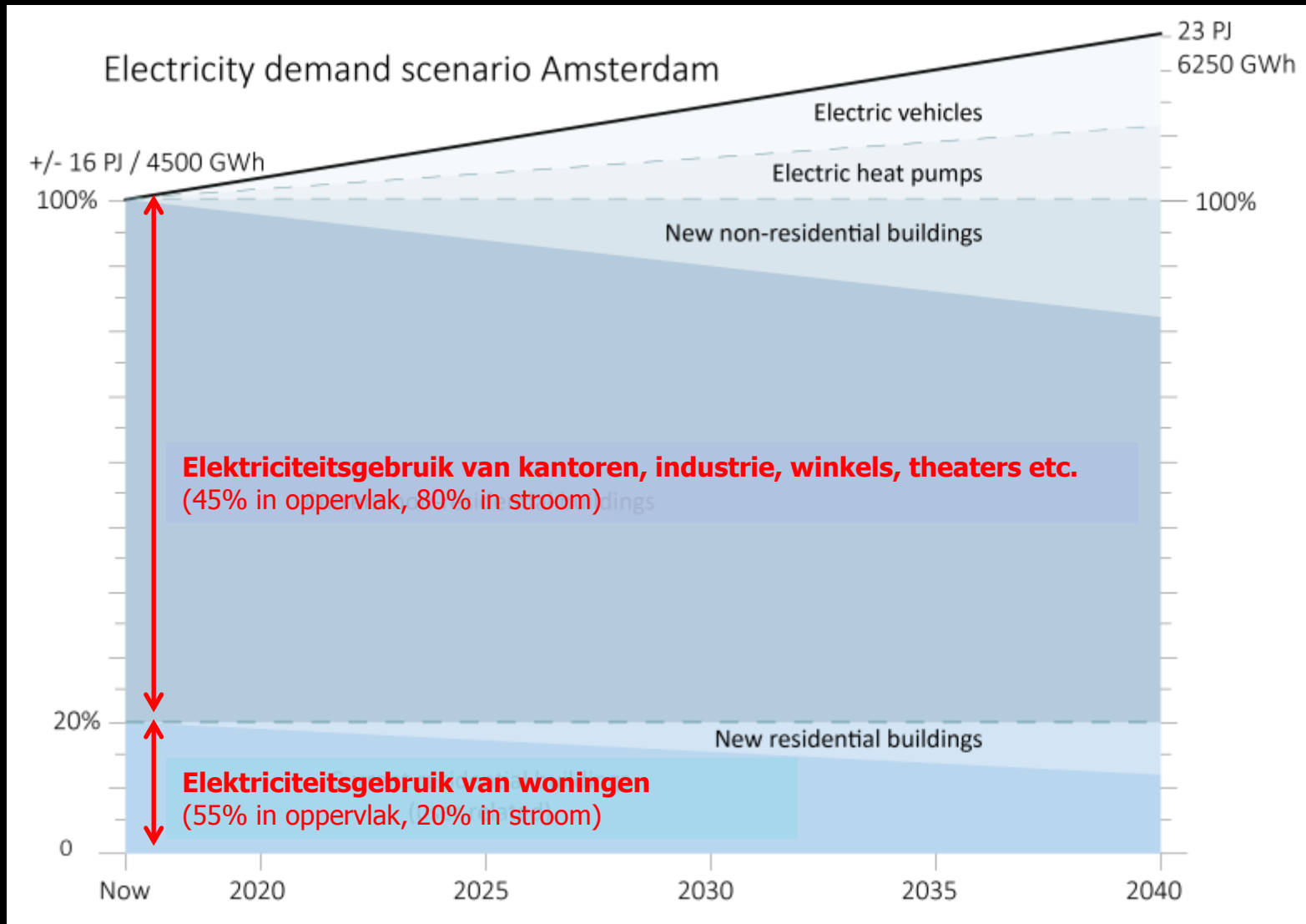
Duurzame laagtemperatuurwarmte (LT)



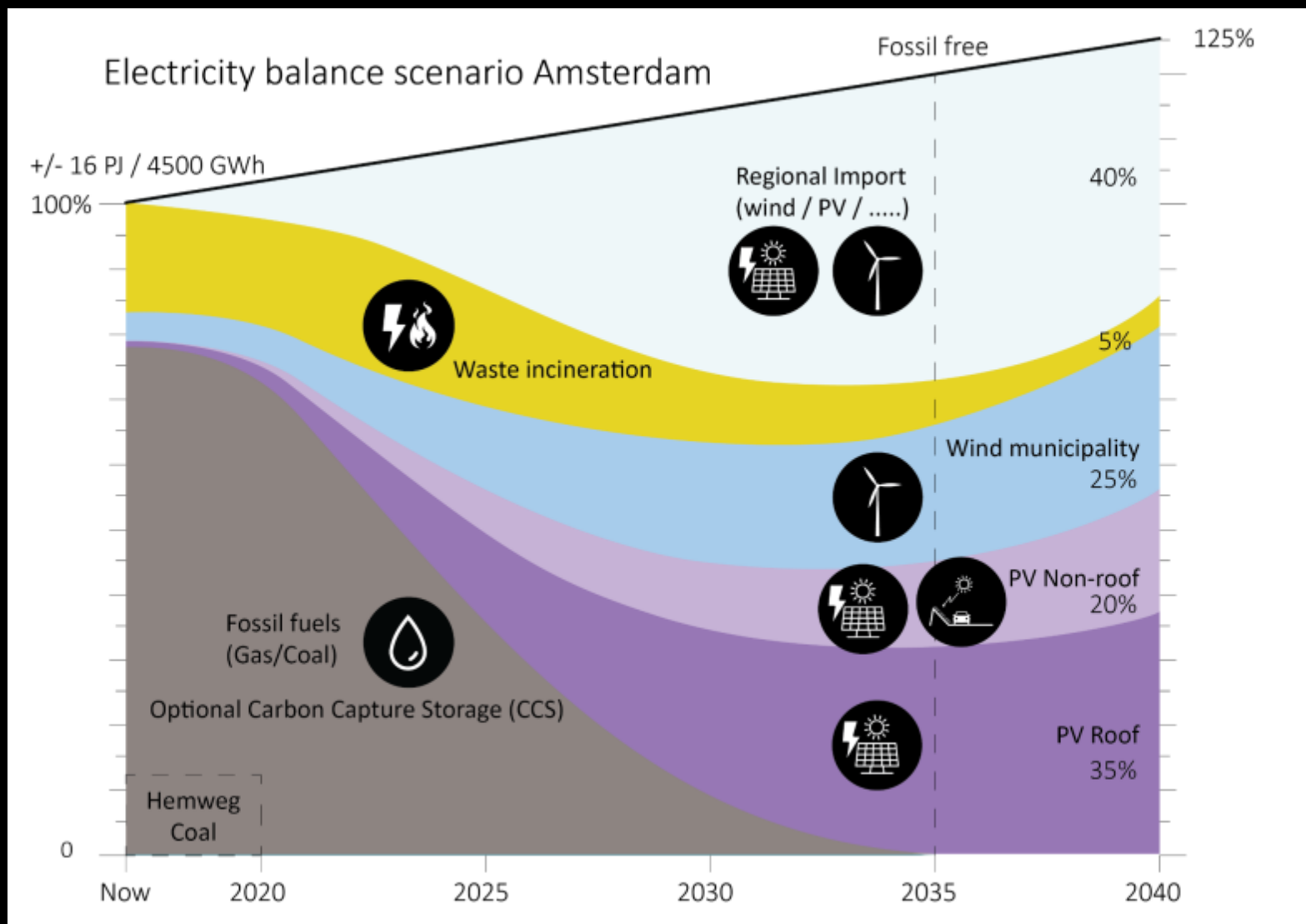
Beperkingen van de toekomst

- Amsterdam kan op zijn grondgebied **onvoldoende duurzame stroom** opwekken. De vraag moet omlaag.
- **Afvalverbranding** kan op lange termijn niet als duurzame bron fungeren.
- **Diepe geothermie** kan warmte van fossiel en afval alleen deels vervangen.
- Er is te weinig **biogas** om aardgas volledig te vervangen.
- Daarom: wees slim met **hoge-temperatuur (HT) warmte**:
 - Waar mogelijk van HT naar MT of LT
 - Nieuwbouw niet aansluiten op HT (of MT) netten (niet nodig)
- Laat **nieuwbouw** geen probleem zijn voor de toekomst. Maak ze tenminste **energieneutraal**. Nu al.

Toekomstscenario voor elektriciteit



Toekomstscenario voor elektriciteit



Elektriciteitsstrategie binnen de gemeente

PV roof area



2400 m

PV non-roof area



1700 m



Windmill
existing



Windmill
to be built

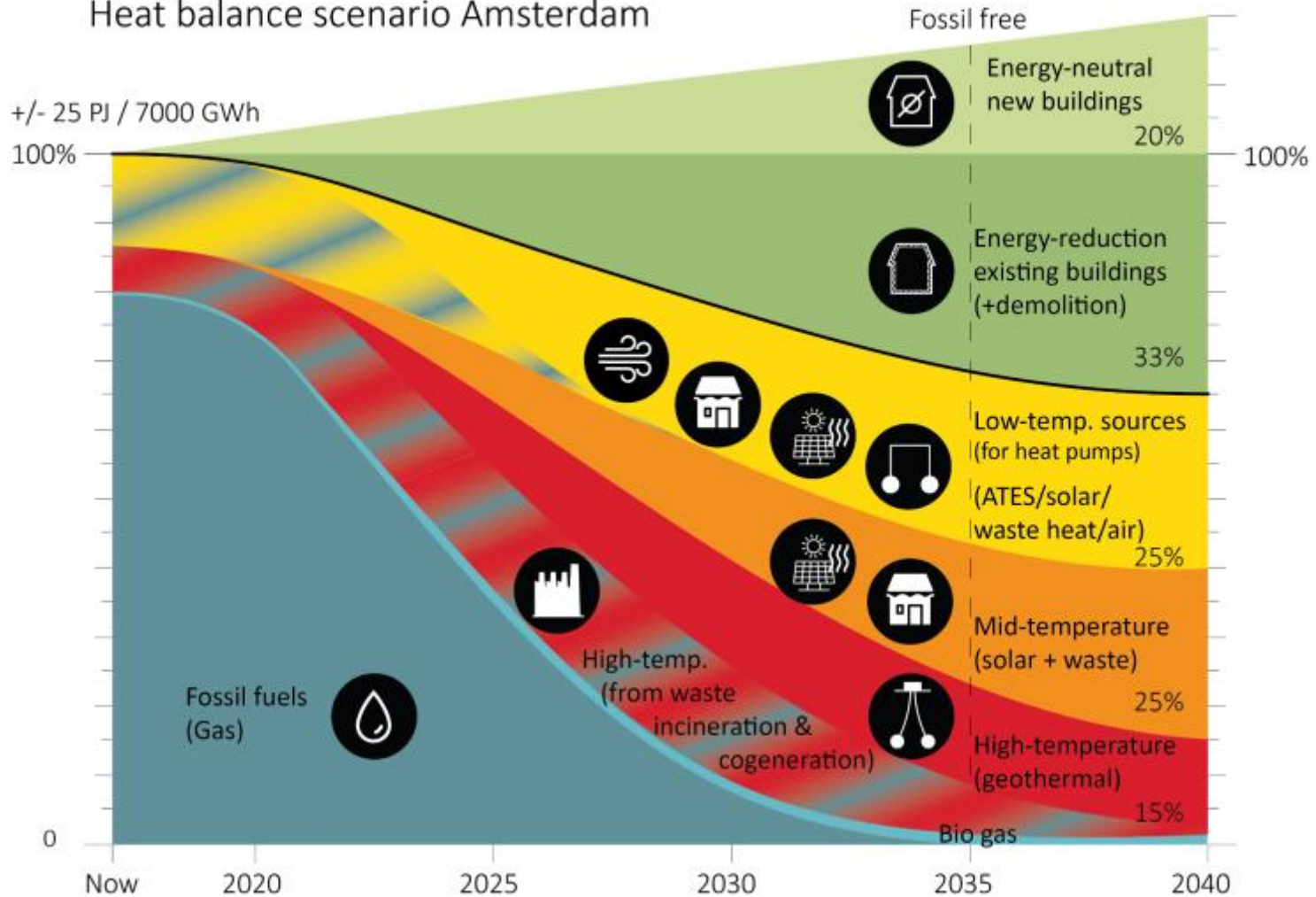
RENEWABLE ELECTRICITY PRODUCTION

CENTRALISED AND ROOFTOP ELECTRICITY PRODUCTION IN AMSTERDAM

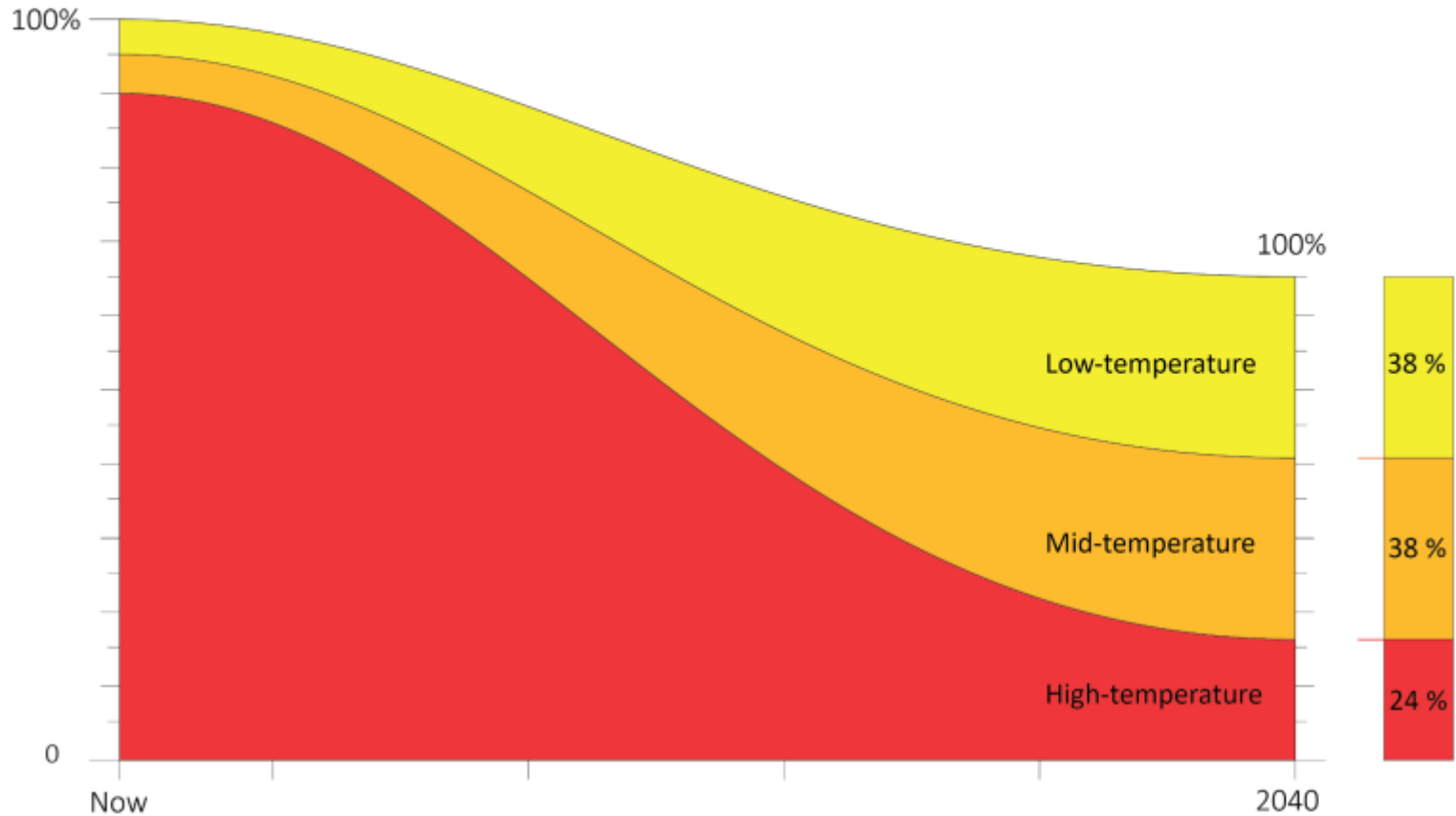
0 1 2 4 6 8 Kilometers

Toekomstscenario voor warmte

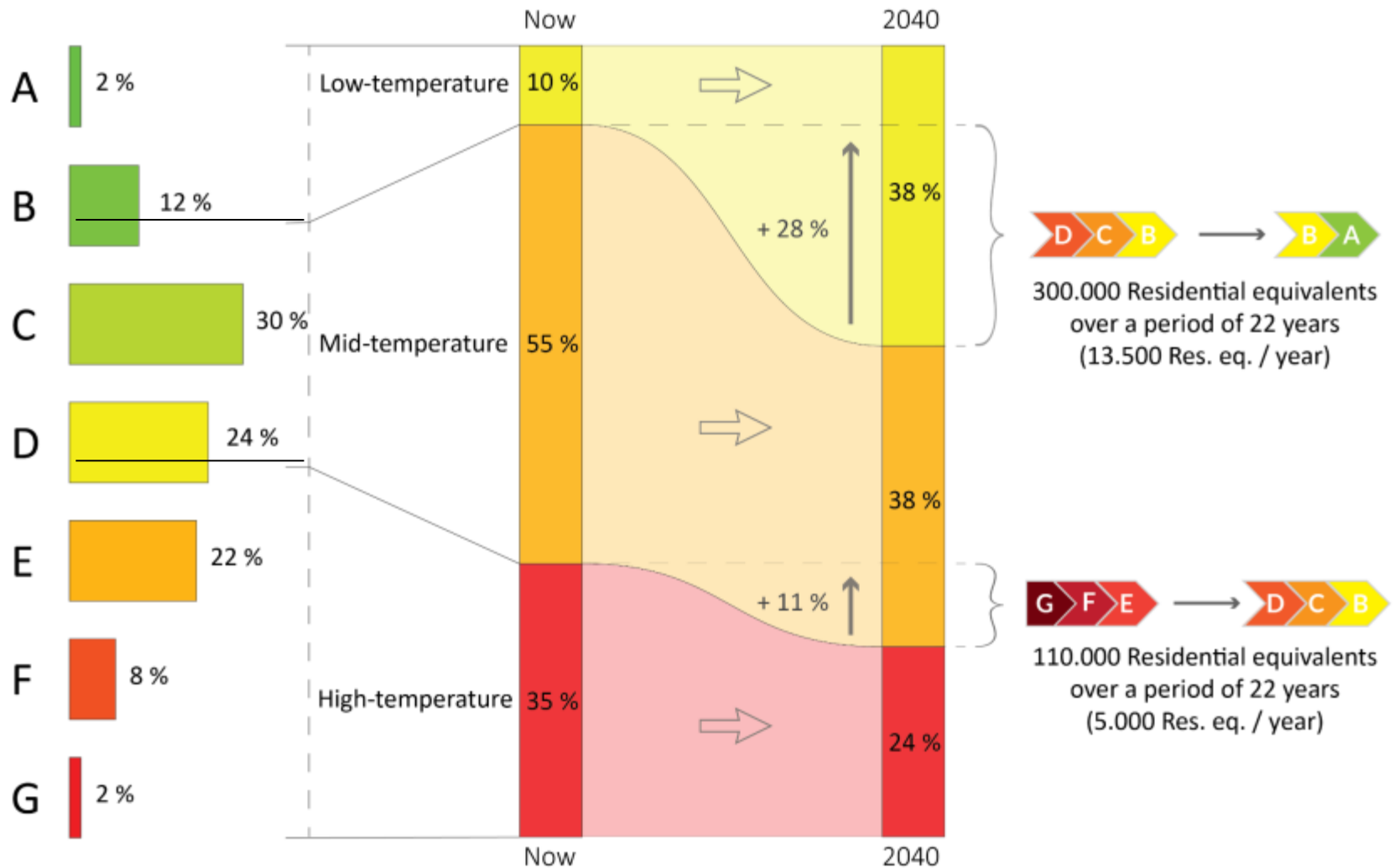
Heat balance scenario Amsterdam



Procentuele verdeling in T-niveaus



Verschuiving energielabels en T-niveaus



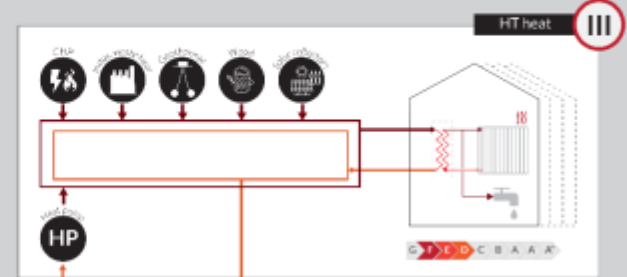
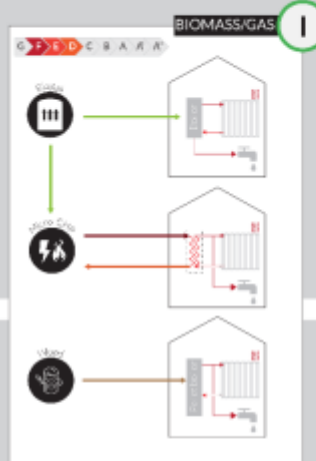
Systemen op verschillende temperaturen

SUSTAINABLE HEATING SYSTEMS

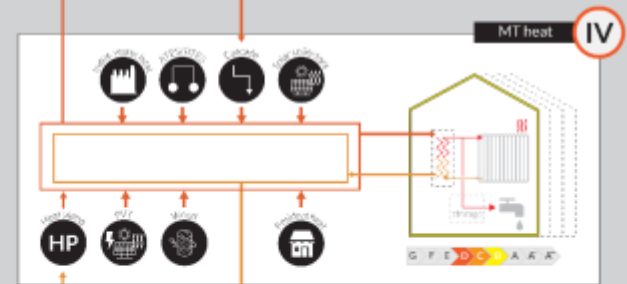
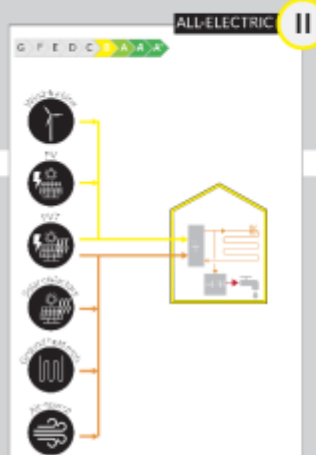
Individual systems
Building (block)

Collective systems
Urban-district-neighbourhood scale

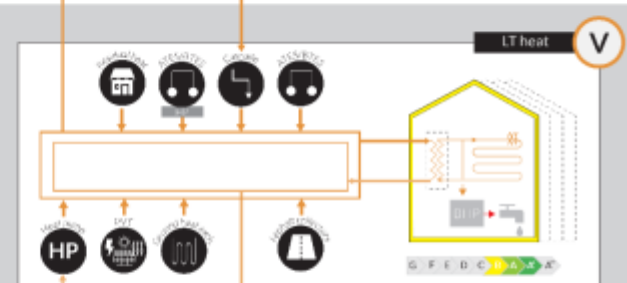
HT
90-65°C



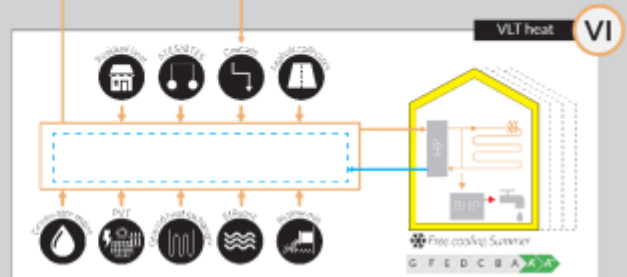
MT
65-40°C



LT
40-25°C



vLT
25-15°C

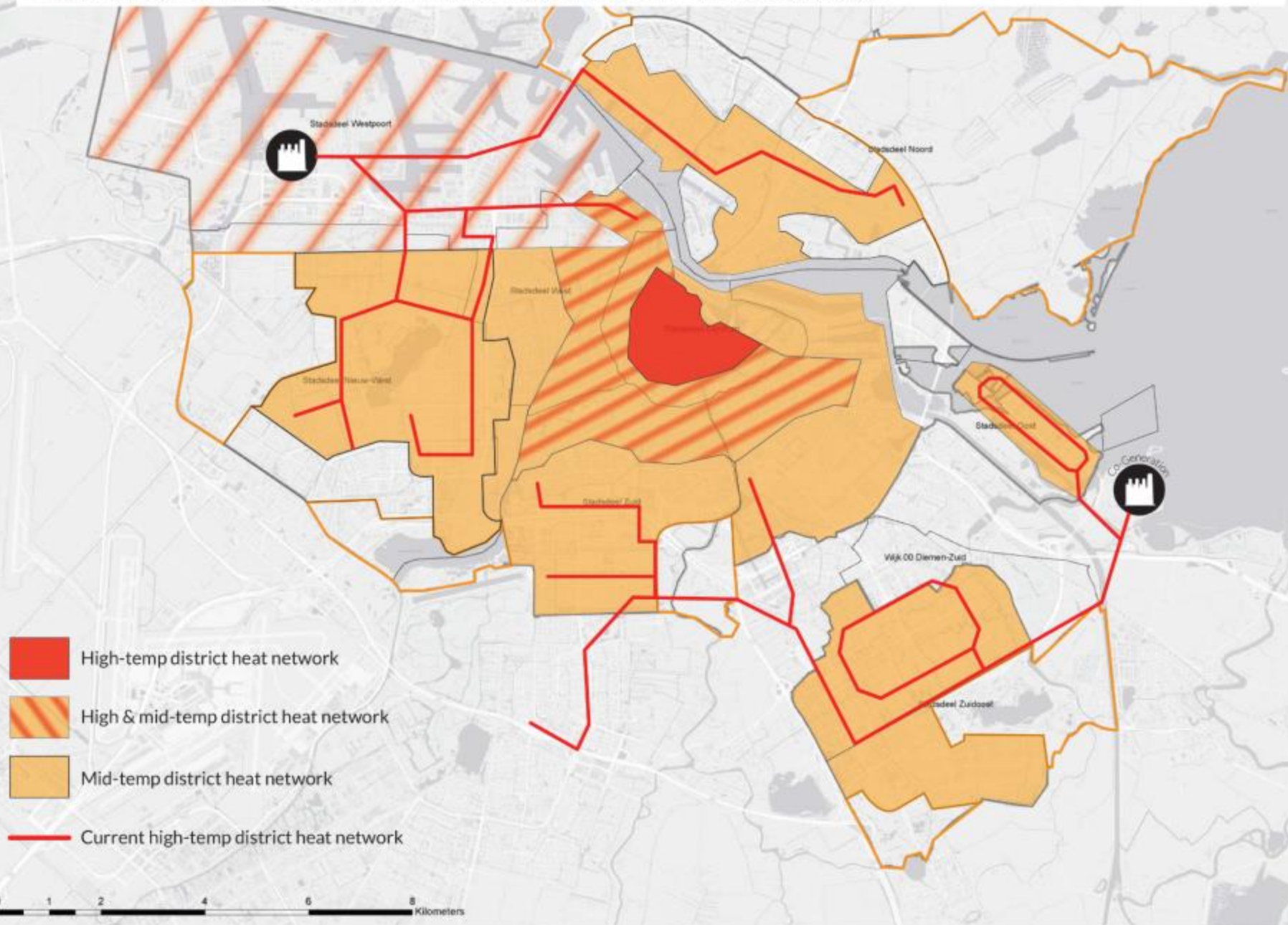


Warmtenetten liggen op de verkeerde plek



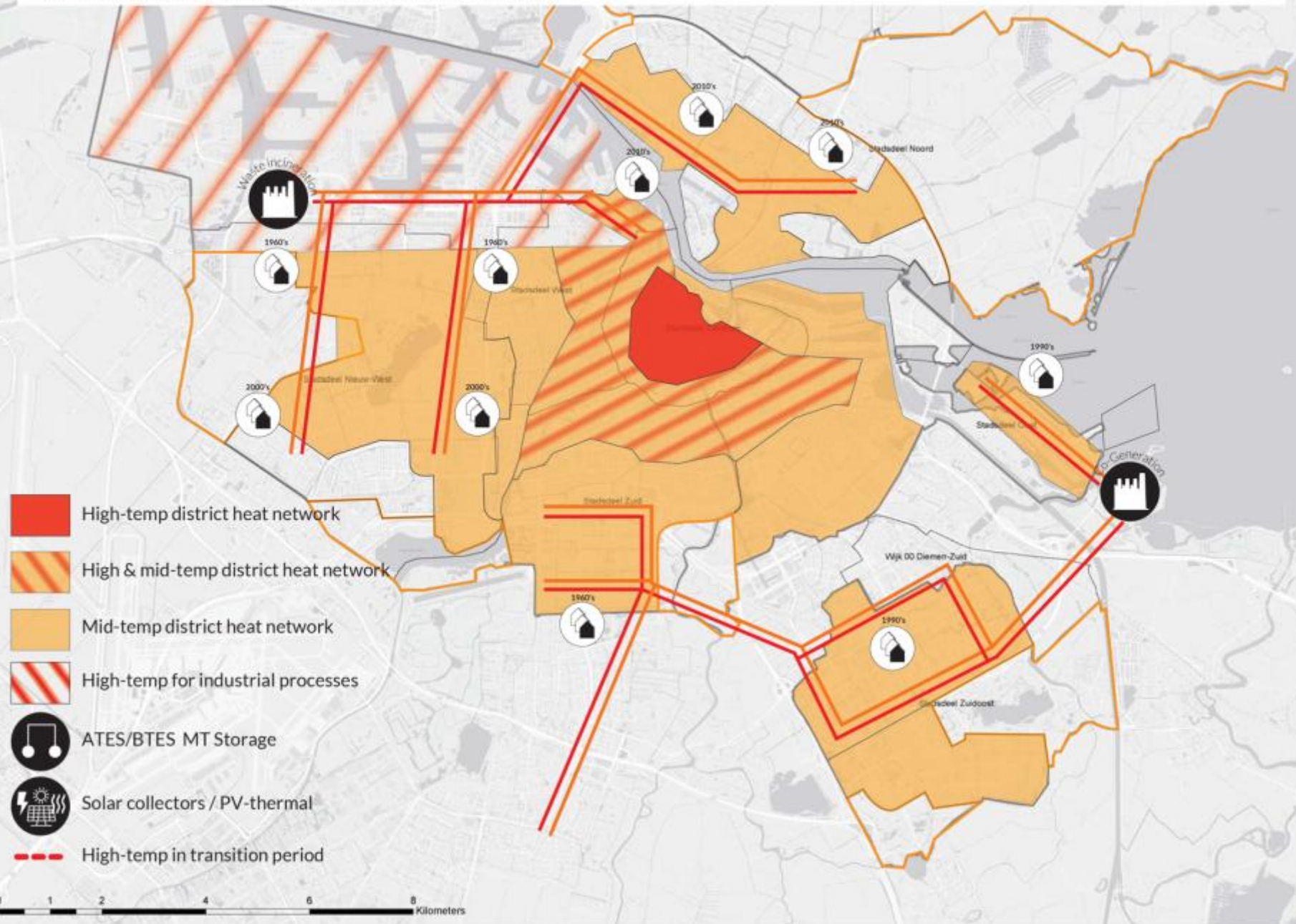
FAVOURABLE DISTRICT HEAT NETWORK EXPANSION AREAS

INDICATING HIGH-TEMPERATURE AND MID-TEMPERATURE AREAS AND EXISTING HIGH-TEMPERATURE NETWORK



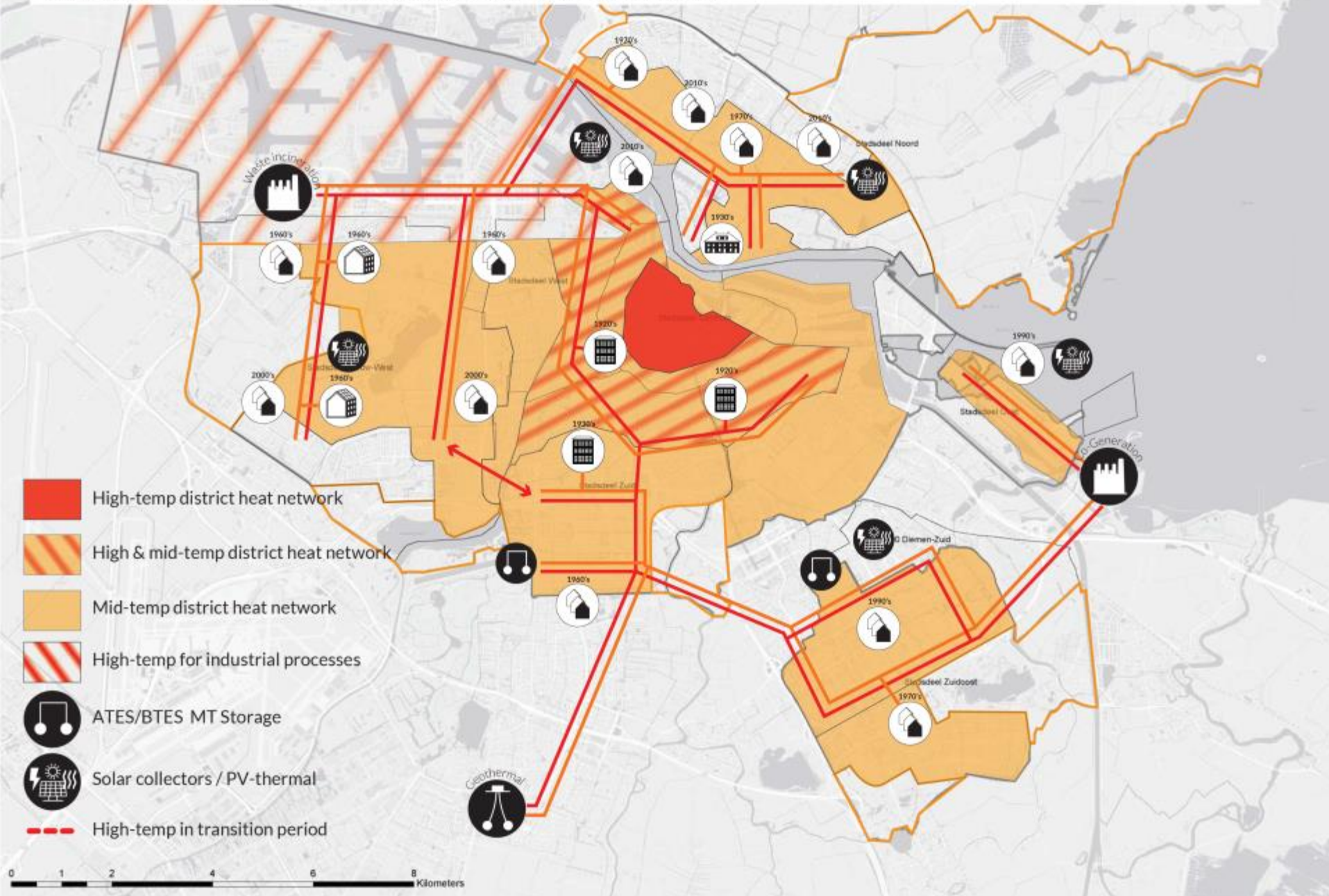
AMSTERDAM DISTRICT HEAT NETWORK TRANSFORMATION

TO AN OPEN (CASCADED MID- AND HIGH-TEMPERATURE NETWORK : 1 - (4)



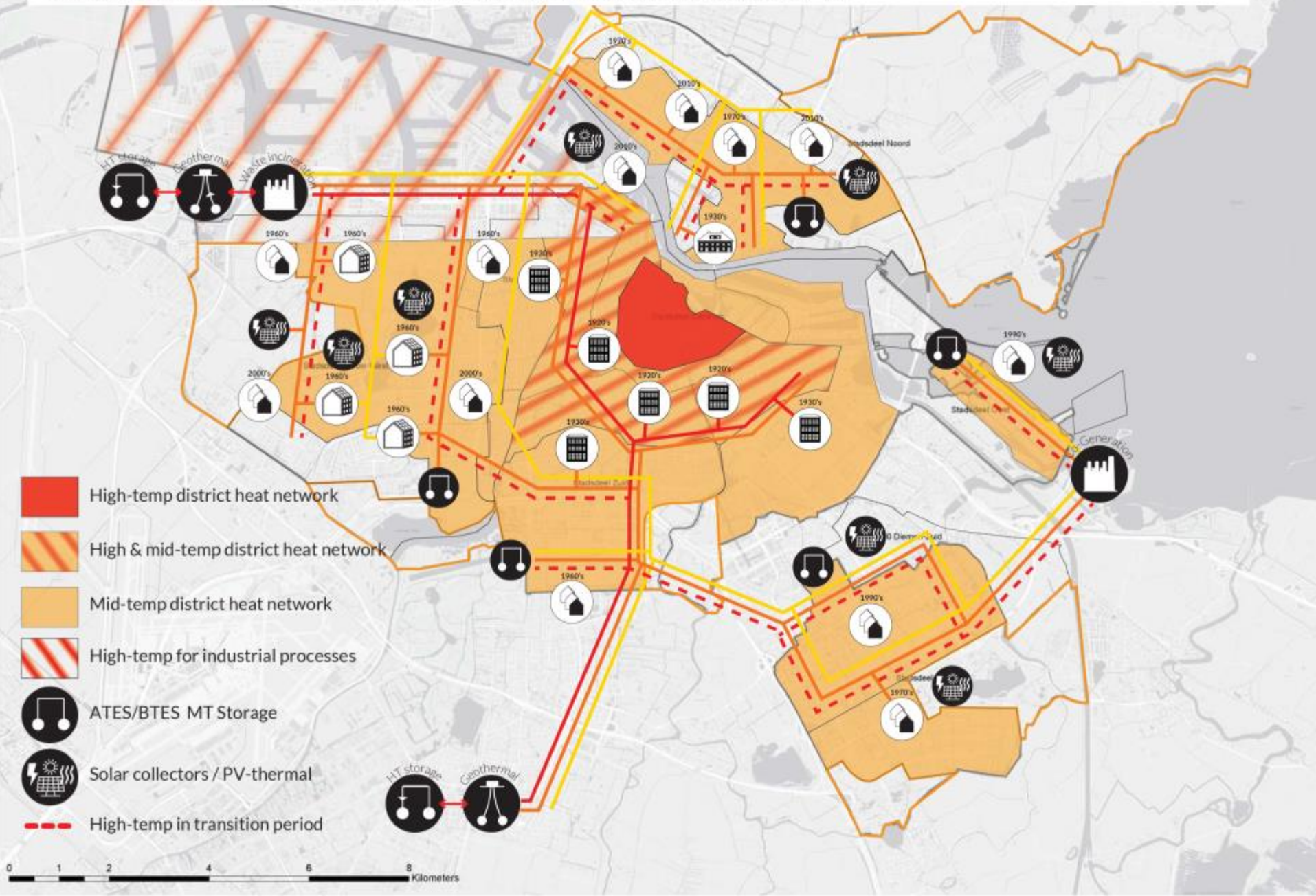
AMSTERDAM DISTRICT HEAT NETWORK TRANSFORMATION

EXPAND DHN TO EXISTING BUILDINGS & (TEST) CONNECTION OF LOCAL SOURCES : 2 - (4)



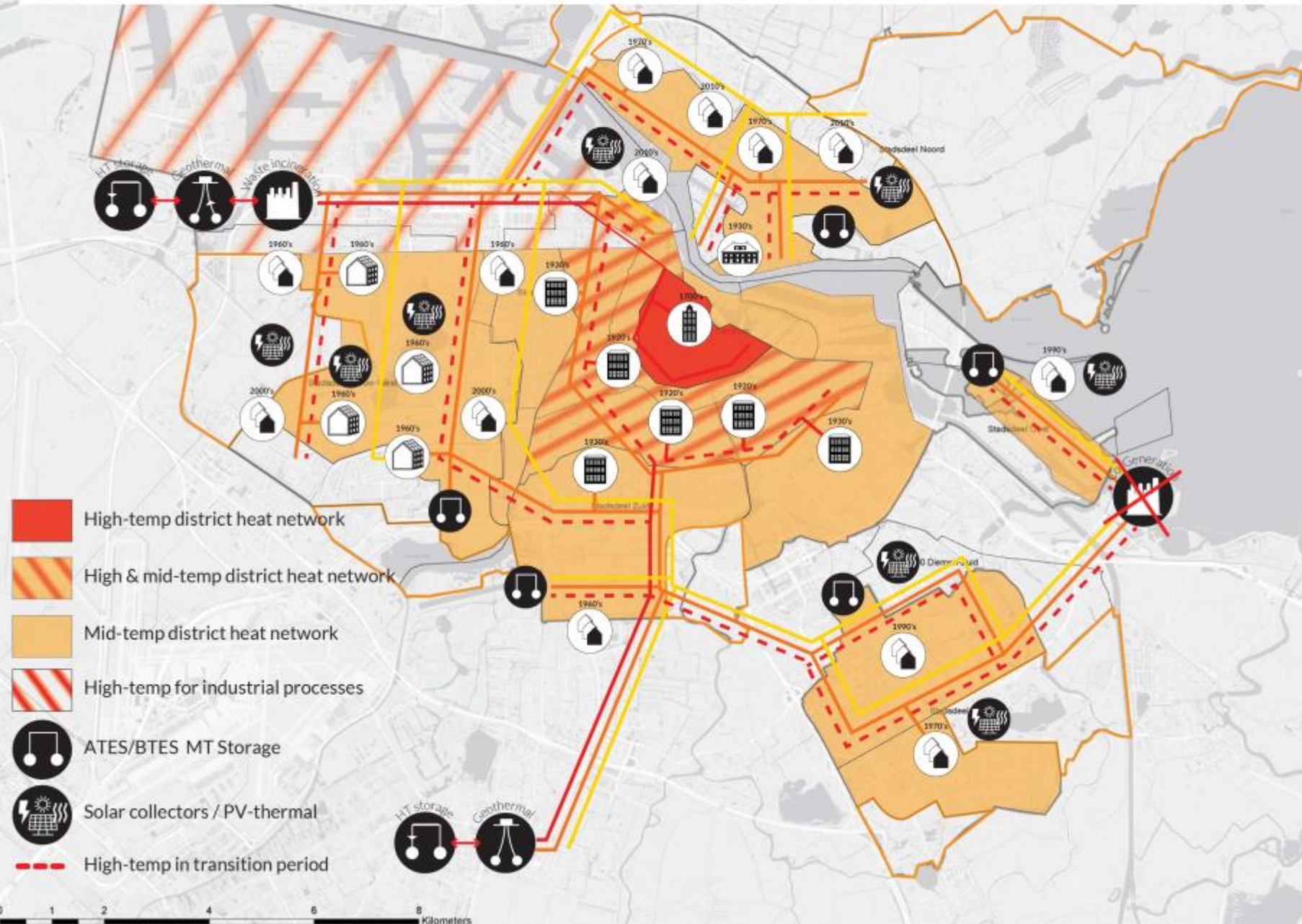
AMSTERDAM DISTRICT HEAT NETWORK TRANSFORMATION

INCREASE LOCAL SOURCES AND STORAGE CONNECTIONS & REDUCE TEMPERATURES &/OR CASCADE : 3 - (4)



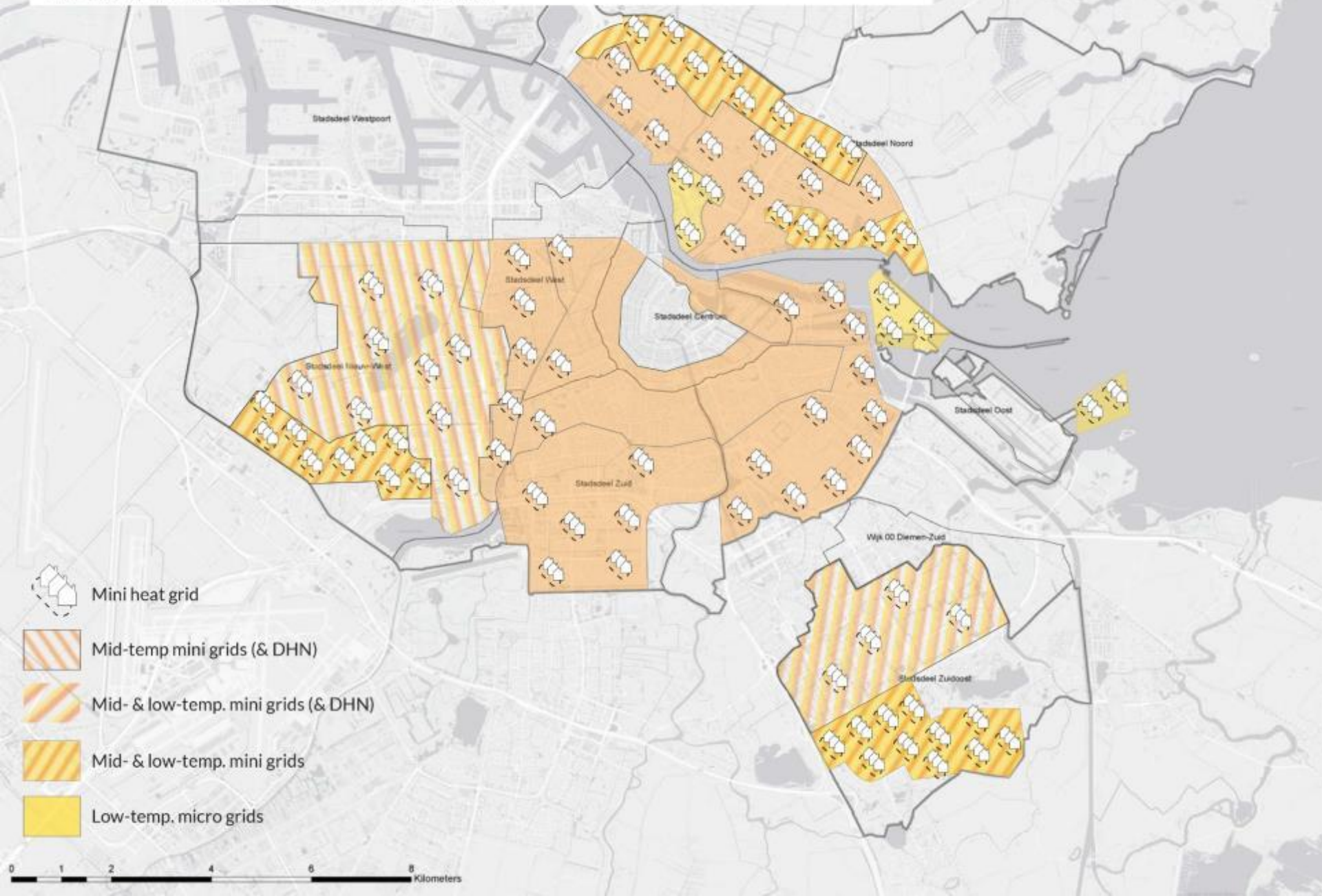
AMSTERDAM DISTRICT HEAT NETWORK TRANSFORMATION

CONNECT CITY-CENTRE TO HIGH-TEMPERATURE BRANCH : 4 - (4)

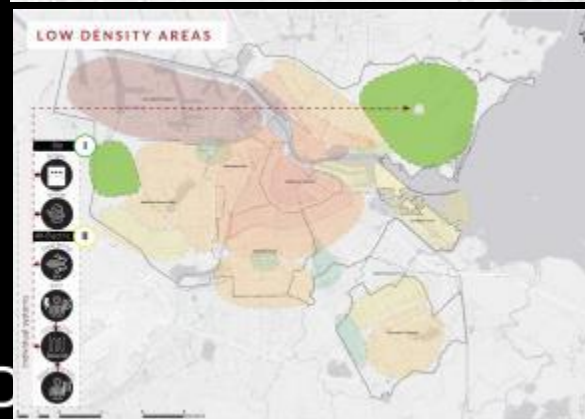
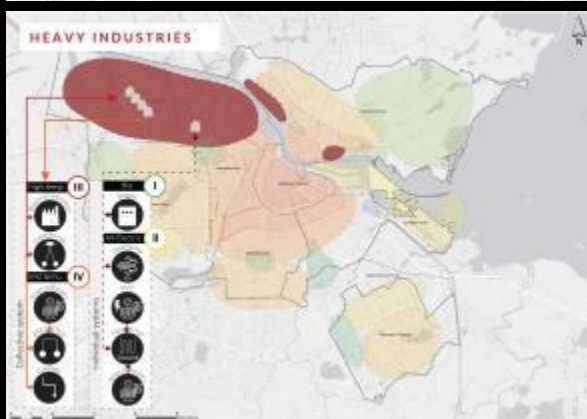
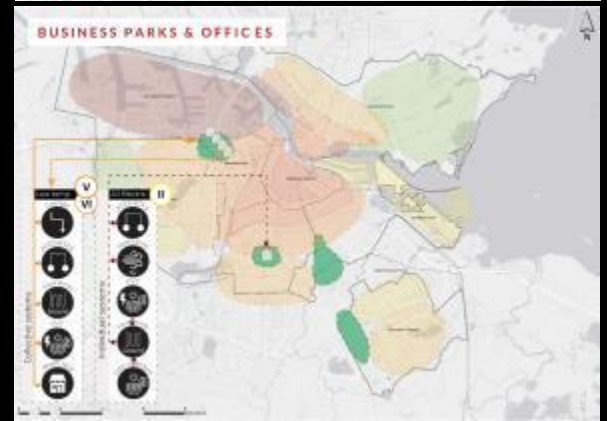
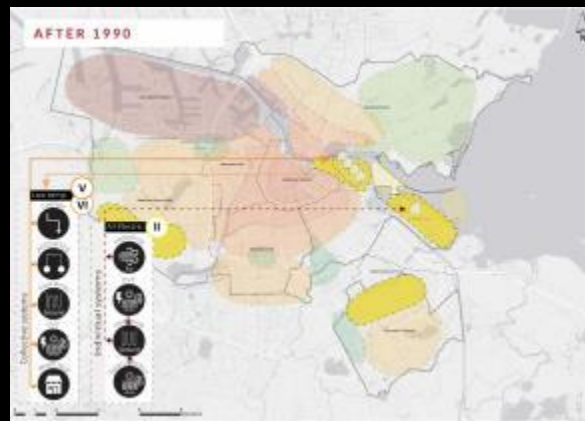
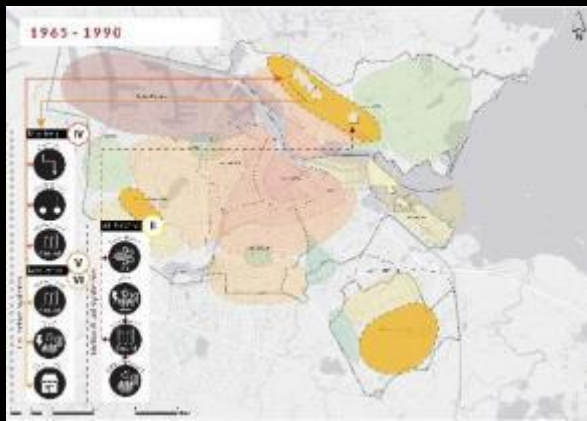
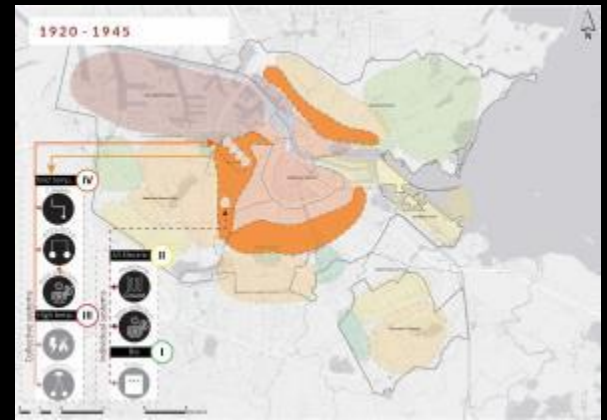
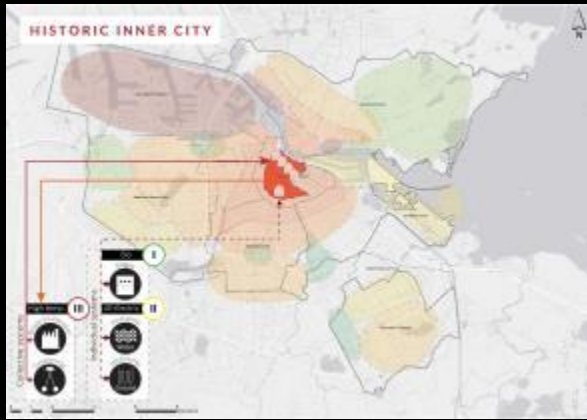


FAVOURABLE AREAS FOR MINI HEAT GRIDS

MID- & LOW-TEMPERATURE MINIGRIDS ON LOCAL SOURCES



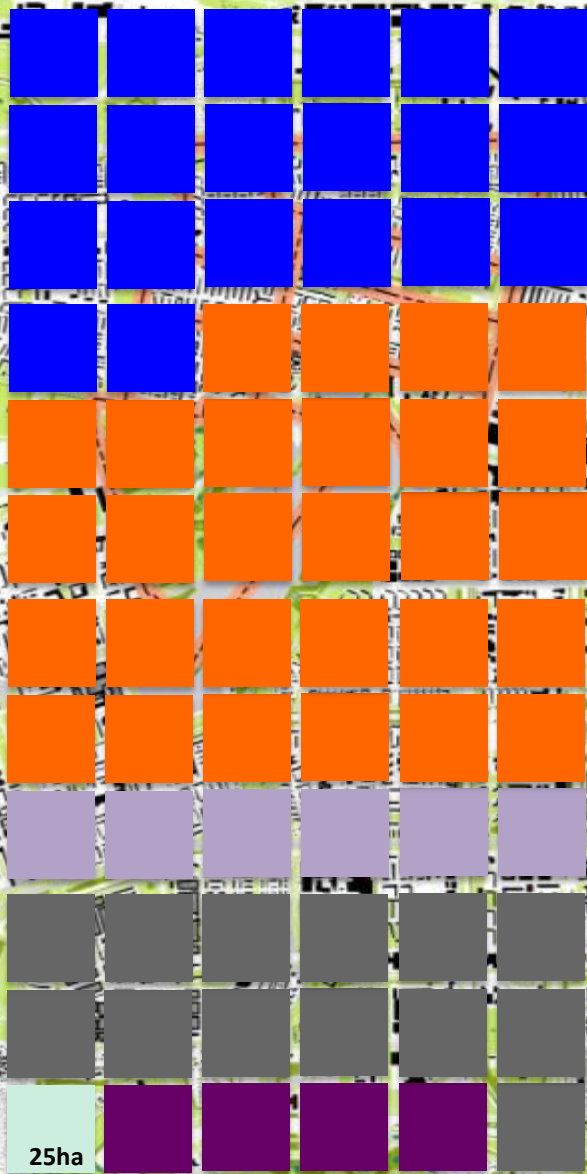
Warmtestrategieën per wijk





Amsterdam Centrum

CO₂-voetafdruk 'Brouwerskruis'

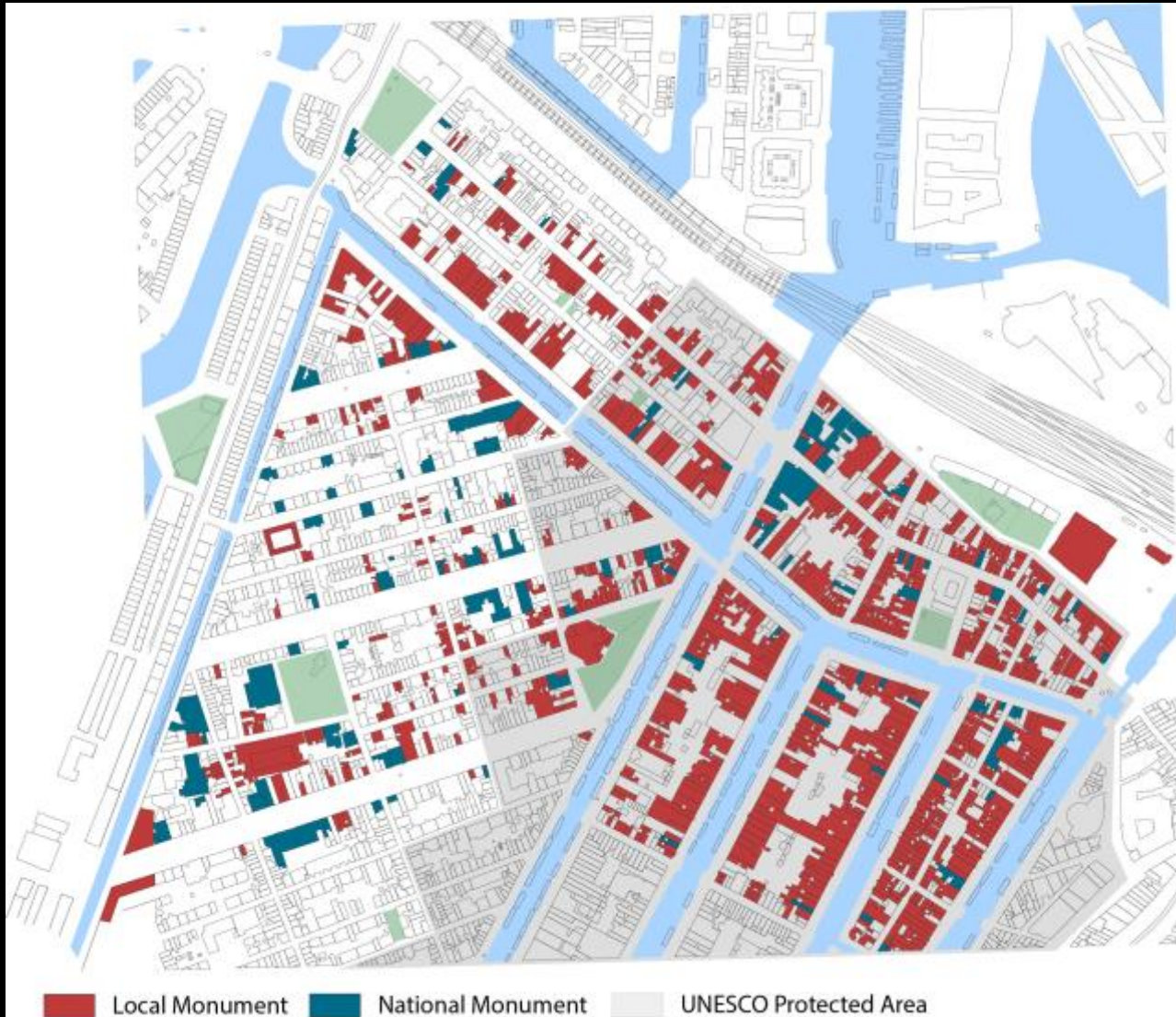


10.600 inwoners
6.900 huishoudens (1,54 inw/won)

-  ELEKTRICITEIT 15.000 MWh
-  AARDGAS 7,6 miljoen m³
-  MOBILITEIT 2700 km/won
-  AFVAL 3300 ton (685 kg/won)
-  WATER 496.000 m³ (71 m³/won)

NB: alleen huishoudelijke energie (geen diensten); mobiliteit geschat op -60% Nederlands gemiddelde; afval geschat op 60% verbranding.

Wat te doen met de monumenten?



Energiestrategieën Amsterdam Centrum

		elektriciteit					
		maximale PV-toepassing op alle oppervlakken	PV-pannen op panelen op opzichtbare plekken	PV-panelen op onzichtbare plekken	geen PV	geen PV, groene stroominkoop	
individueel				groene stroom van Amsterdams grondgebied (AGP: Amsterdam Green Power)	groene stroom van Amsterdams grondgebied (AGP: Amsterdam Green Power)	geen Amsterdams stroombedrijf	
gemeenschappelijk							
bouwkundig							
warmtebron							
warmte-sys	ingrijpende renovatie	WP op kanaalwater	interessant, maar lastig met huidige monumentenbeleid				
	beperkte renovatie	HT warmtenet van geothermie	haalbaar alternatief bij flexibele houding MonZ, relatief duur	haalbaar alternatief, extra groene stroom nodig, relatief duur			
	beperkte renovatie	groen gas (AGF: Amsterdam Green Fuel)	goede combinatiekans, gas is risico, relatief goedkoop	combinatie is haalbaar, groene stroom nodig, relatief goedkoop			
	geen renovatie	HT warmtenet van restwarmte/afval			mogelijk, groene stroom extra nodig, dure infra, lage ambitie	uitdaging om de stroomproductie te realiseren, dure infra	elektriciteit afgeschoven op anderen (af), AB in the lead
	geen renovatie	groen gas (AGF: Amsterdam Green Fuel)			slechts een beetje beter dan nu, goedkoop, weinig ambitieus, genoeg groen gas hiervoor?	dan zou ook alles met de Amsterdam Green Energy (AGE) bedrijf moeten worden opgelost	de afstekerlaaffoplossingen, Amsterdam schuift haar verantwoordelijkheden af

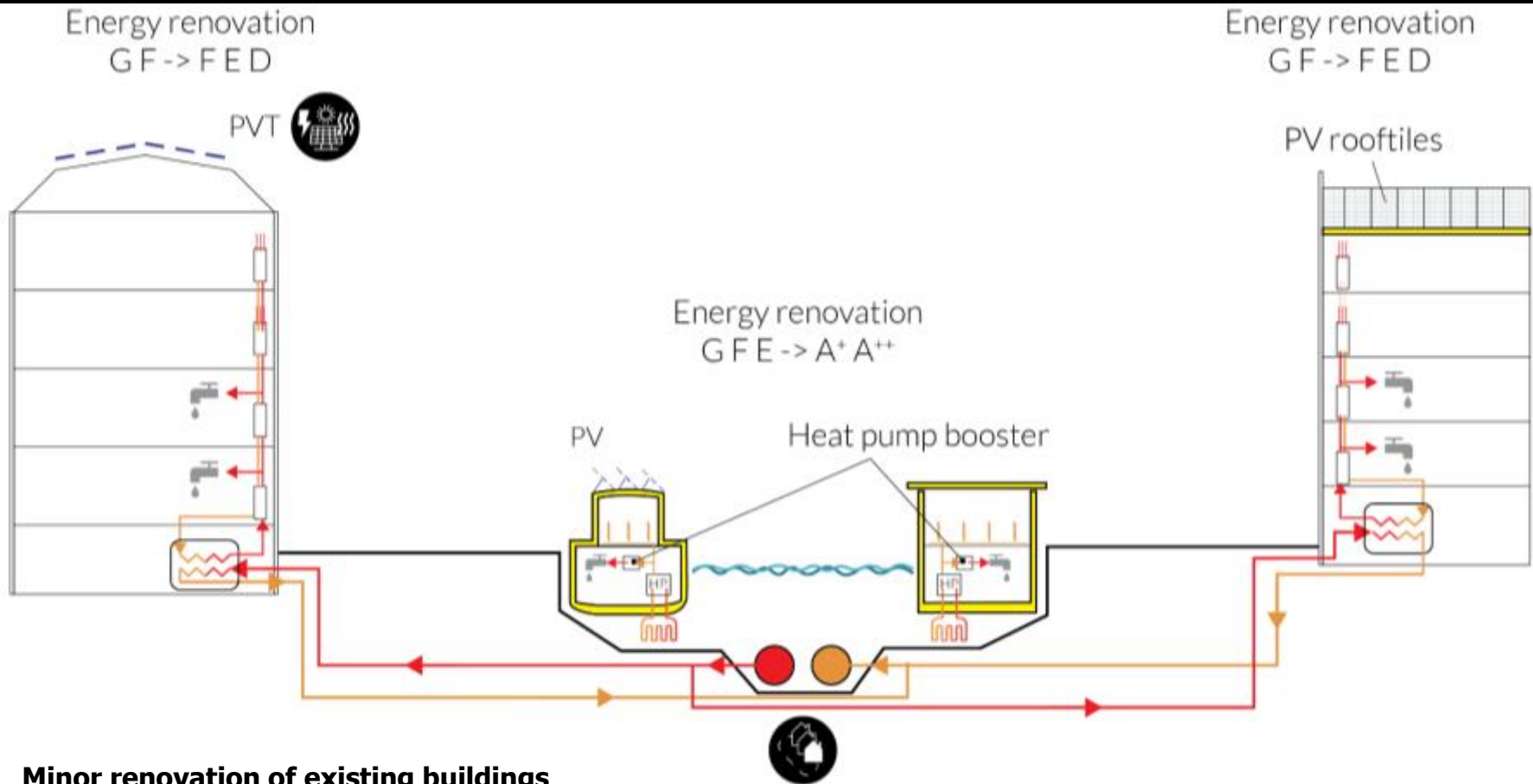
Hoofdkeuzes:

1. Radicale energierenovatie met maximale PV
2. HT/MT warmtenet met onzichtbare PV
3. Groen gas met geen of onzichtbare PV

De Grachten



De grachten: warmtenet en autarke arken



- Minor renovation of existing buildings
- PV panels and roof tiles where possible
- Connection to the HT/MT grid
- House boats to all-electric units with heat pumps on water

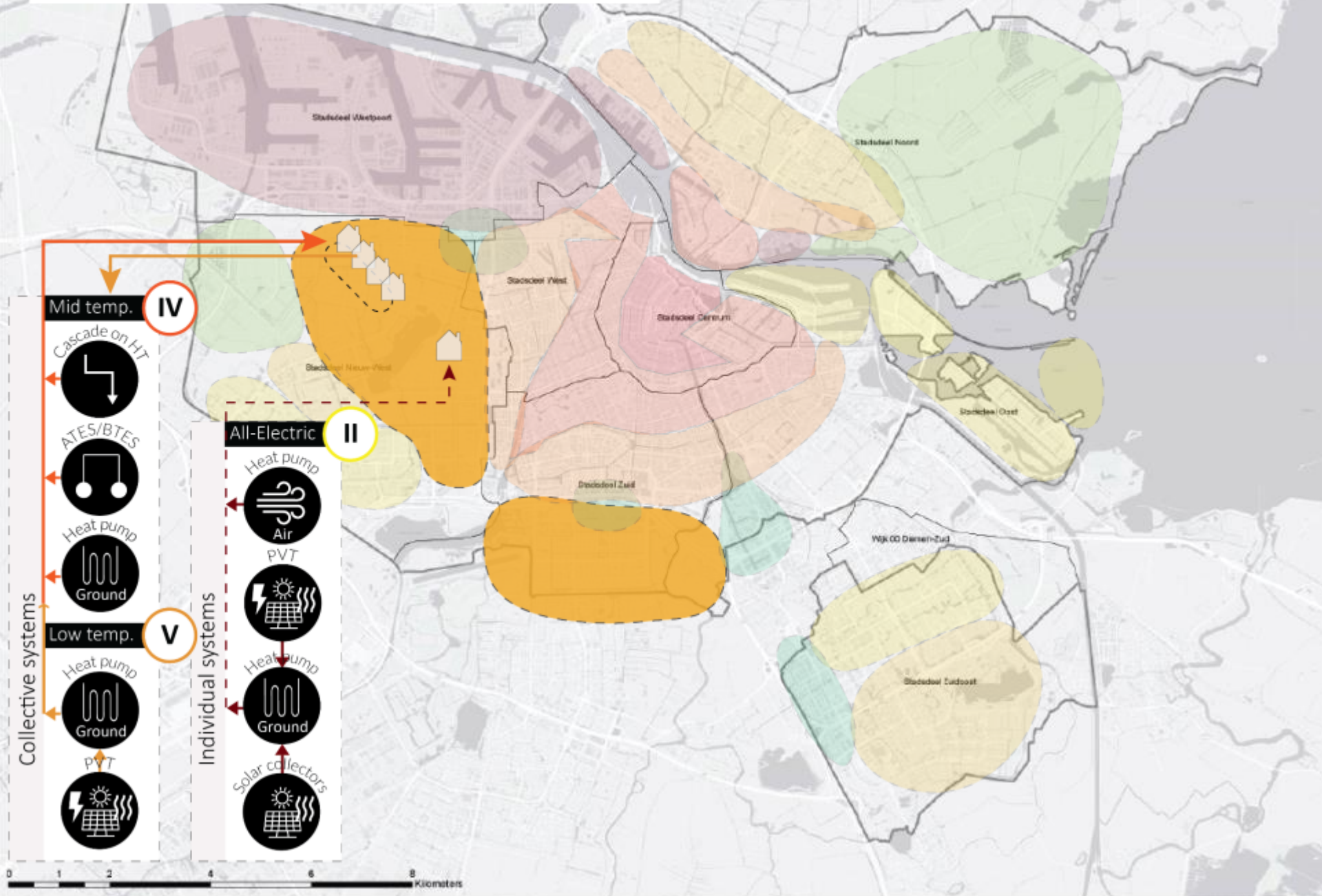


Amsterdam Slotervaart



EXPANSION PLAN 1945 - 1965

HEATING STRATEGY AMSTERDAM

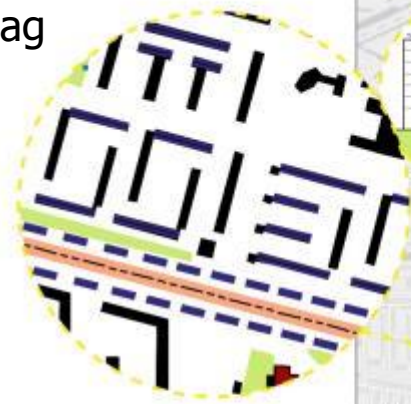


Energiestrategieën voor Slotermeer

		elektriciteit				
		maximale PV(T)-toepassing op de daken	geschikte zuidelijkde dakdelen met PV(T)	redelijk PV	geen PV, groene stroominkoop	
bouwkundig		individueel				
		gemeenschappelijk		groene stroom van Amsterdams grondgebied (AGP: Amsterdam Green Power)	geen Amsterdams stroombedrijf	geen Amsterdams stroombedrijf
warmtebron						
warmte-systeem	nieuwbouw					
	nieuwbouw	All-electric E-neutraal/positief individueel of op collectief mini-net op lokale bronnen	gemakkelijk haalbaar voor alle nieuwbouw	haalbaar voor alle nieuwbouw; zorg voor seizoensopslag		
	nieuwbouw	Aansluiten op MT cascade van huidige HT warmtenet met eigen productie ZC + (PV)T	E-positief, haalbaar voor alle nieuwbouw; zorg voor seizoensopslag	haalbaar voor alle nieuwbouw; zorg voor seizoensopslag; gauw testen met lokale warmteproductie	goed haalbaar op locaties nabij huidige warmtenet.	
	nieuwbouw	Aansluiten op huidige HT-netwerk			gebruik HT-net niet voor nieuwbouw, welke gemakkelijk zelfstandig E-neutraal kan	Amsterdam maakt zich er gemakkelijk van af en schuift haar verantwoordelijkheden af
	individueel					
	ingrijpende renovatie	WP op buitenlucht of bodemwarmtewisselaars	haalbaar voor individuele woningen met goed financieel plan, interessant voor corporatiewoningen			
	bepaalde renovatie	WP op buitenlucht of bodemwarmtewisselaars	haalbaar voor individuele woningen, zeer goed haalbaar voor corporatiewoningen	haalbaar voor individuele woningen, zeer goed haalbaar voor corporatiewoningen	eenvoudige weg om van het gas te gaan, duurzame elektriciteit moet geïmporteerd worden	gemakkelijke weg om van het gas af te zonder warmtenet. Levert grote extra elektriciteitsvraag op
	collectief					
	behoorlijke renovatie	MT mini-warmtenet + LT of MT-bodemopslag op PVT/restwarmte/zonnecollectoren	haalbaar voor cooperatiewoningen - als proefproject MT-opslag, of na wetswijziging	haalbaar voor cooperatiewoningen - als proefproject MT-opslag, of na wetswijziging		
	behoorlijke renovatie	Huidig HT warmtenet (gecascadeerd) uitbreiden en stapsgewijs naar MT brengen op ZC + (PV)T (+ geo)	haalbaar voor cooperatiewoningen, snel proefprojecten op MT	goed haalbaar voor cooperatiewoningen, snel proefprojecten op MT		
	bepaalde renovatie	Uitbreiding HT warmtenet op afvalverbranding/geothermie	ook haalbaar voor individuele huiseigenaren bij goed financieel plan	mogelijk, groene stroom extra nodig, dure infra	uitdaging om de stroomproductie te realiseren, dure infra	elektriciteit afgeschoven op anderen (= laf), AEB in the lead
	geen renovatie	Uitbreiding HT warmtenet van restwarmte/afvalverbranding		mogelijk, lage ambitie warmtebronnen; in de toekomst niet als hernieuwbaar gezien	uitdaging om de stroomproductie te realiseren, dure infra	elektriciteit afgeschoven op anderen (= laf), AEB in the lead
	bepaalde renovatie	groen gas (AGF: Amsterdam Green Fuel)		weinig lokale biomassa, gebruiken daar waar echt nodig, veel groene stroom nodig, relatief goedkoop	dan zou ook alles met een Amsterdam Green Energy (AGE) bedrijf moeten worden opgelost	
	geen renovatie	groen gas van elders		slechts een beetje beter dan nu, goedkoop, weinig ambitieus, genoeg groen gas hiervoor?		de laatste aller laffe oplossingen, Amsterdam schuift haar verantwoordelijkheden af

Energiesystemen Sloterveer (selectie)

Miniwarmtenetten met
seizoensopslag
(LT or MT)



50% bestaande daken
bedekt met PV(T)

100% van nieuwe daken (of
gevels) bedekt met PV(T)



Krachteilanden Sloterveer



1,5 km fietsweg
met zonnecellen



Bio-afvalenergie-
installatie



MT miniwarmtenetten op PVT* en BTES**



* Photovoltaic thermal: zonnecellen die stroom en warmte produceren

** Borehole thermal energy storage: warmtepompsysteem dat warmte uitwisselt met de bodem

BTES – uit de City-zen Catalogue of Measures

BTES BOREHOLE THERMAL ENERGY STORAGE



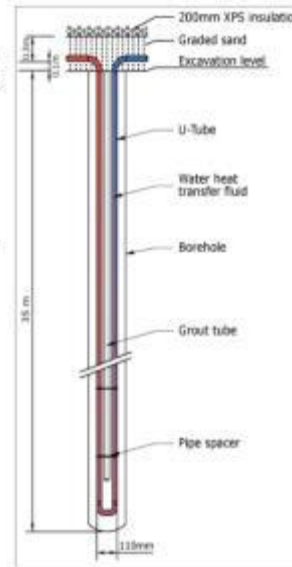
IMPLEMENTATION STRATEGY

The BTES in the Drake Landing Solar Community (DLSC) consists of 144 boreholes, each stretching to a depth of 37 meters and planned in a grid with 2.25 meters between them. The BTES field covers 35 metres in diameter. At the surface, the U-pipes are joined together in groups of six that radiate from the centre to the outer edge, and then connect back to the Energy Centre building. The entire BTES field is then covered in a layer of insulation and then soil - with a landscaped park built on top.¹

Because BTES is a closed-loop geothermal technology, there should be little difficulty in obtaining permits. Typically, the most common constraint is on the available land area in which to construct the GHX array.

CARBON ACCOUNT APPROACH

The buildings annual heat demand can be divided by the COP in order to get the annual electricity use for the heating system. If this electricity comes from the national grid, the national CO₂-emission factor must be multiplied with this electricity use to define the annual CO₂-emissions.



1. BTES Summer Operation - Cooling¹

POTENTIALS

- TECHNICAL / GEOGRAPHICAL**
 - The underground has in generally everywhere very large seasonal storage capacities.
- POLITICAL / LEGAL**
 - The use of the underground for energy systems is most often allowed, yet often permits must be given first.
- FINANCIAL / ECONOMIC**
 - Relative high investment costs but low total-life costs.
- SOCIAL**
 - Hardly any or no systems visible
- ENVIRONMENTAL**
 - ...

BARRIERS & SOLUTIONS

BARRIERS	AREA	SOLUTIONS
<ul style="list-style-type: none"> Even with sunny Alberta weather, it will take approximately three years to fully charge the BTES field. In the first year of operation, the field will operate at relatively low temperatures, and the recoverable energy will be largely depleted before the end of the heating season. 		<ul style="list-style-type: none"> However, after a few years of operation, the core temperature of the BTES field will approach 80 °C by the end of summer, with sufficient heat for almost an entire heating season.
<ul style="list-style-type: none"> In the Netherlands it is not allowed to heat the underground above 25 °C by ATEs or BTES because of unknown effects to the underground water that may be used for drinking water. 	NL	<ul style="list-style-type: none"> Many underground water layers are very salty and will not be used for drinking water purposes. The law should be adapted for this reason.
<ul style="list-style-type: none"> What are financial or economic barriers for implementation? 		<ul style="list-style-type: none"> Which solutions may overcome these barriers/challenges?
<ul style="list-style-type: none"> What are social barriers for implementation? 		<ul style="list-style-type: none"> Which solutions may overcome these barriers/challenges?

PRINCIPLE

BTES is an underground structure for storing large quantities of solar heat collected in summer for use later in winter. It is basically a large, underground heat exchanger.²

BTES is an improvement on conventional closed-loop ground source heat pump (GSHP) geothermal systems. The ground heat exchanger (GHX) array for a BTES system is designed and operated in a manner such heat is stored or abstracted seasonally, whereas conventional GSHP systems are designed to simply dissipate heat or cold into the subsurface. BTES essentially uses the Earth as a thermal battery, as opposed to a radiator.

BTES typically involves design and operation of the GHX in a manner such that heat is sequentially built up in, or abstracted from, a cylindrical volume of soil or rock. This is accomplished by configuring the GHX array in a radial fashion, and reversing the flow direction seasonally.

COST-BENEFIT

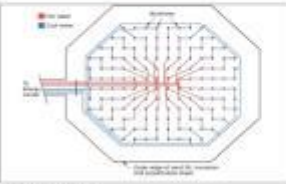
BTES can achieve coefficient of performance (COP) values from 4 to about 8, compared to COP values

of around 3.5 for a conventional GSHP geothermal installation.

The capital cost of a large BTES system can be significant, as a large number of geothermal boreholes will need to be drilled, compared to just a few thermal wells for an ATEs system. However, the installation cost should be similar to conventional GSHP systems, and the higher COP values will result in a lower total life-cycle cost than a conventional GSHP system. Both closed-loop geothermal systems will have a lower life-cycle cost than a conventional fossil-fuel fired HVAC system.³

STAKEHOLDERS

Which stakeholders need to be involved to get the measure/technology implemented?



Aerial view of BTES¹



BTES Summer Operation - Cooling¹

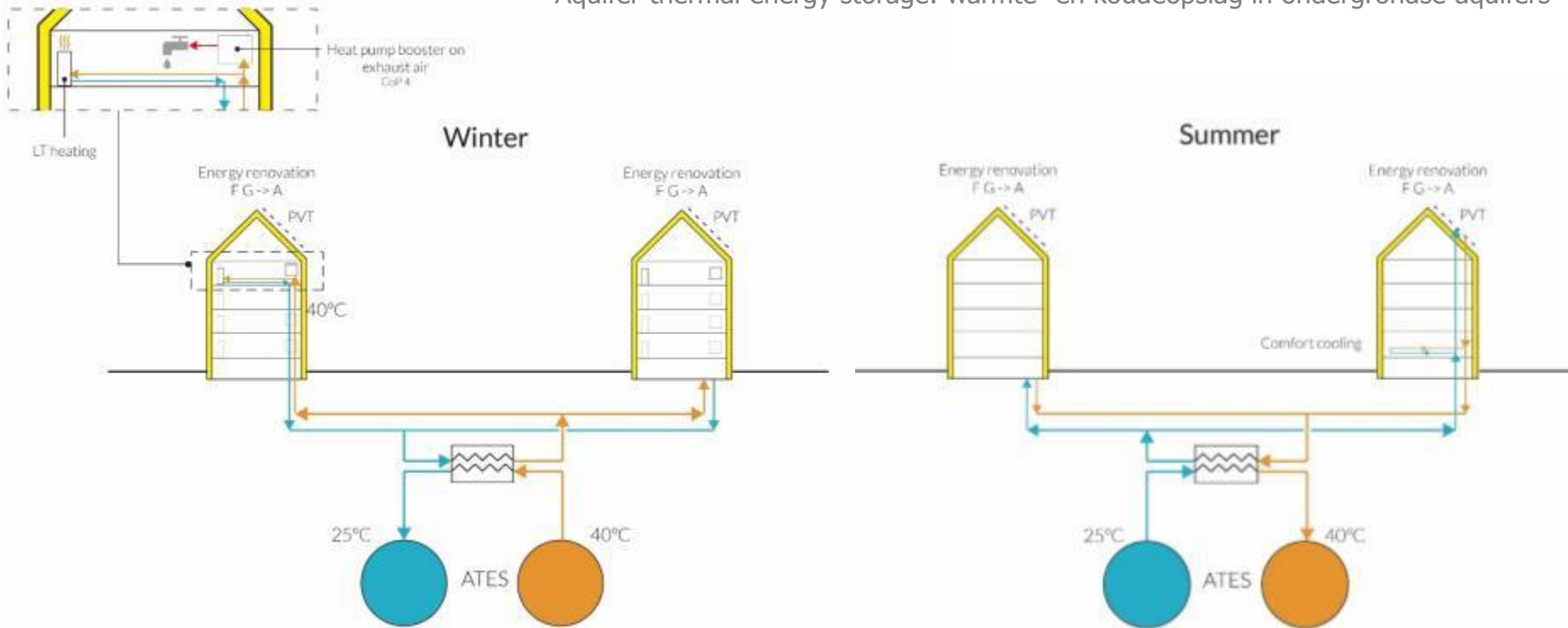
MORE INFO
& MANUFACTURERS

¹ Borehole Thermal Energy Storage
² <http://www.geothermalenergy.com/BTES.html>

³ <http://www.dtu.dk/for/indhold/191>

MT miniwarmtenetten op PVT met ATES*

* Aquifer thermal energy storage: warmte- en koudeopslag in ondergrondse aquifers



- Energierenovatie
- LT net $\sim 40^{\circ}\text{C}$ + ATES (of BTES)
- Directe verwarming (COP = 20-40)
- Booster warmtepompen (COP = 6)
- Elektriciteit en warmte van PVT



- 2 m² bespaard voor warmtepompen
- Alle blokken van 1 corporatie
- Kan enkel wanneer wetgeving voor ondergrondse opslag aangepast wordt

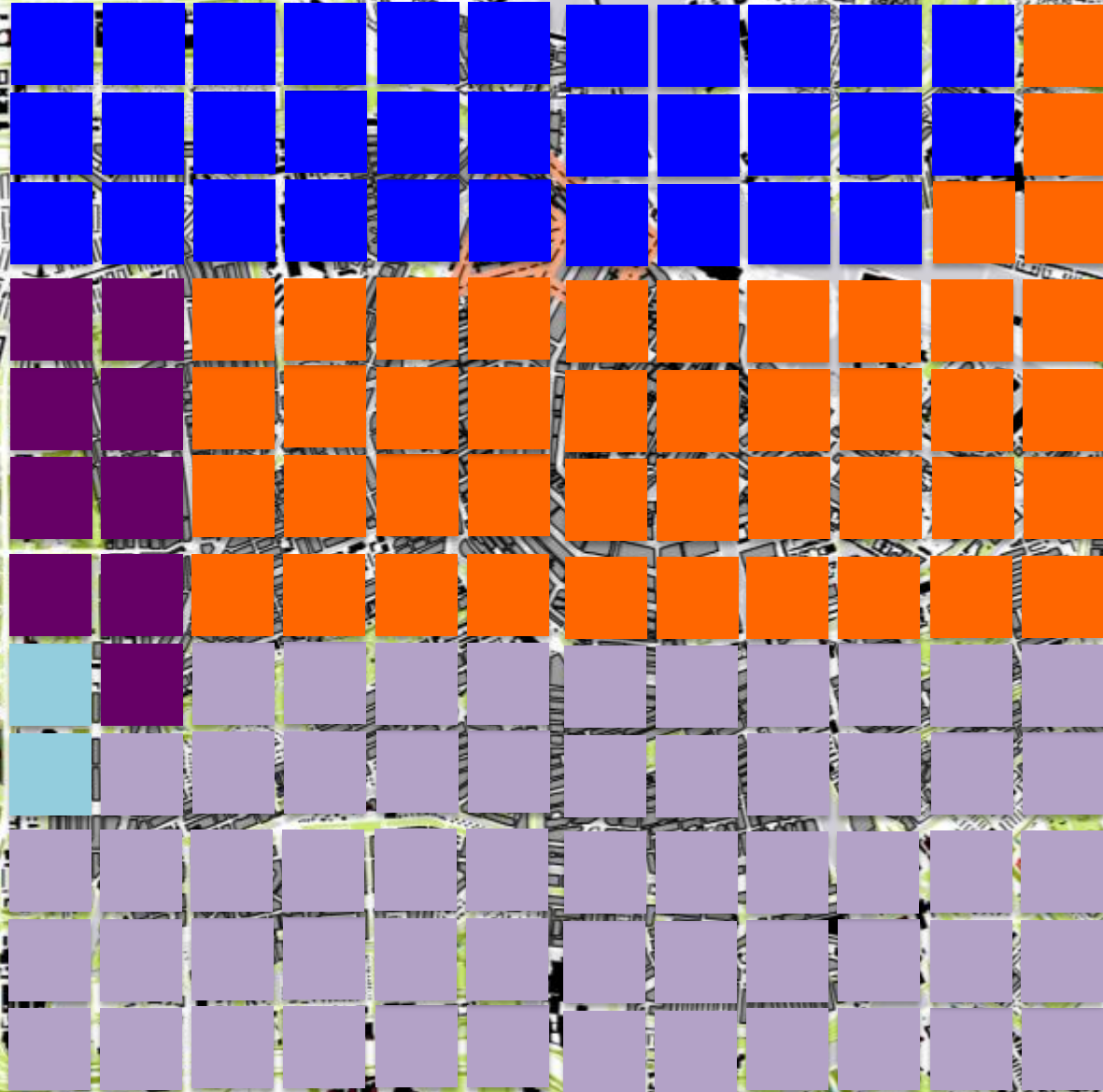
Laten we de CO₂ wegeten

ENERGIETRANSITIE SLOTERMEER

LET'S GO,

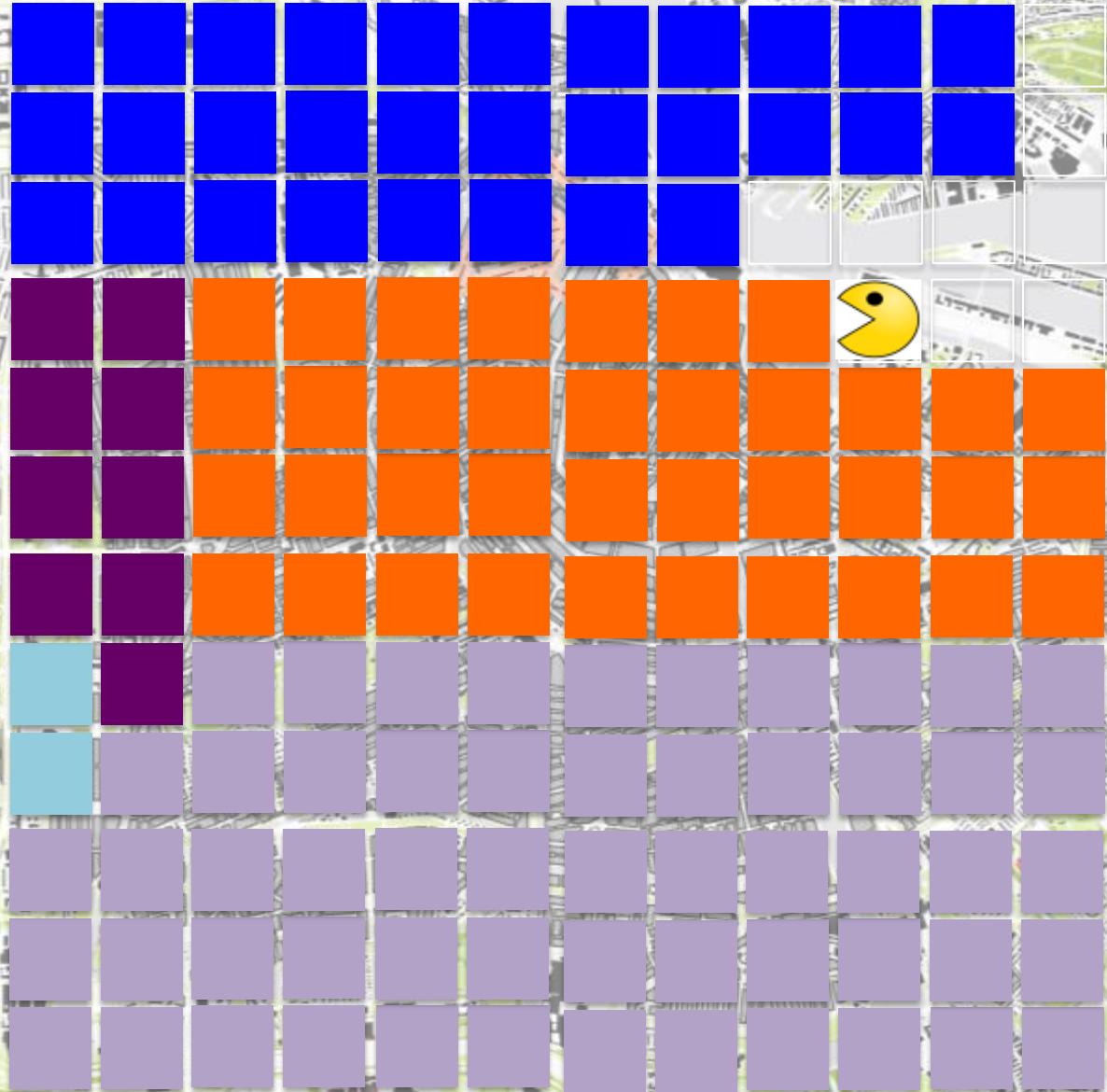
carbon pacman!

-  **ELEKTRICITEIT** 25.000 MWh
-  **AARDGAS** 11,4 miljoen m³
-  **MOBILITEIT** 4600 km/won
-  **AFVAL** 8200 ton (685 kg/won)
-  **WATER** 1,2 mln m³ (104 m³/won)

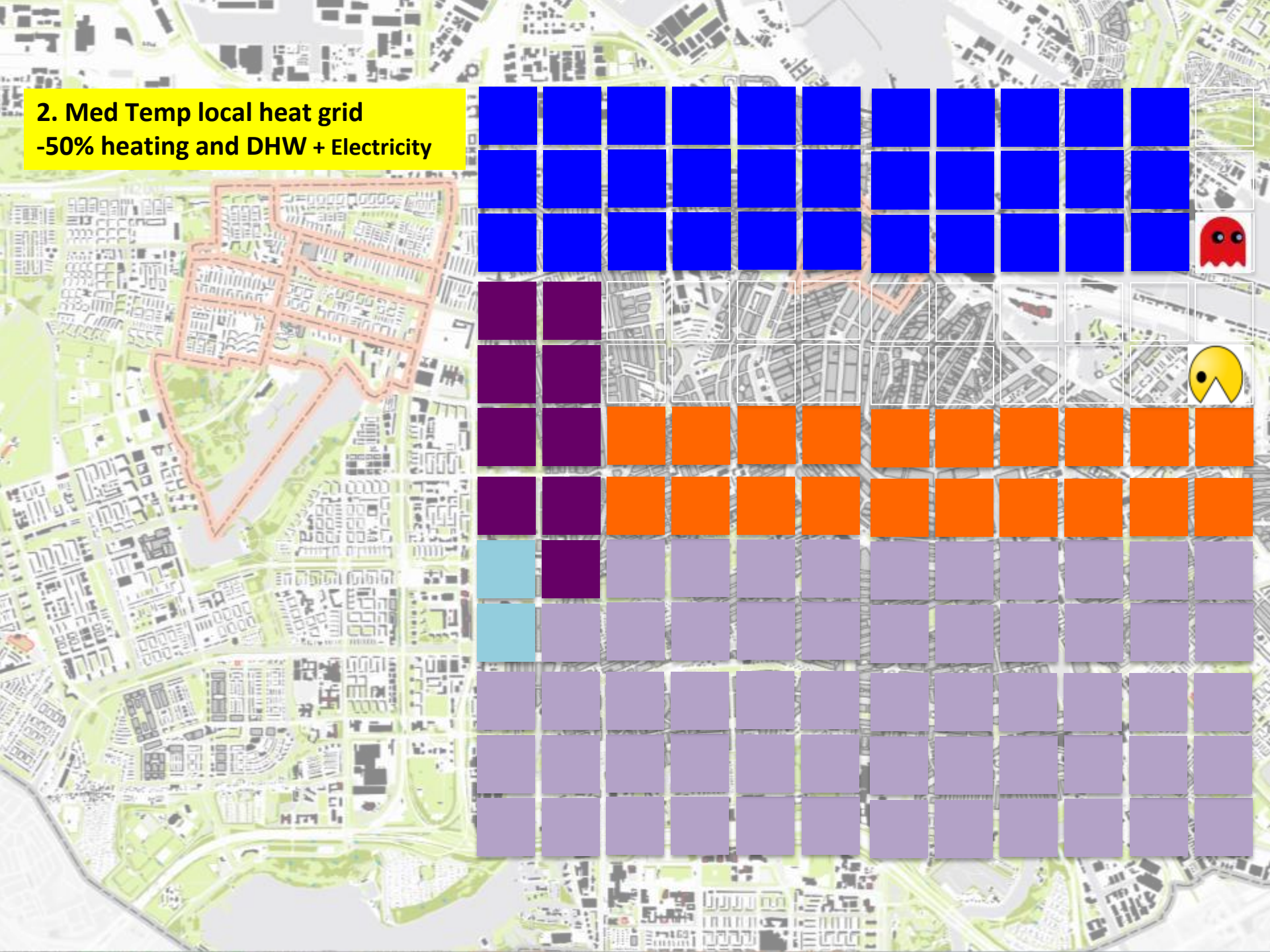


NB: alleen huishoudelijke energie (geen diensten); mobiliteit geschat op -30% Nederlands gemiddelde; afval geschat op 60% verbranding.

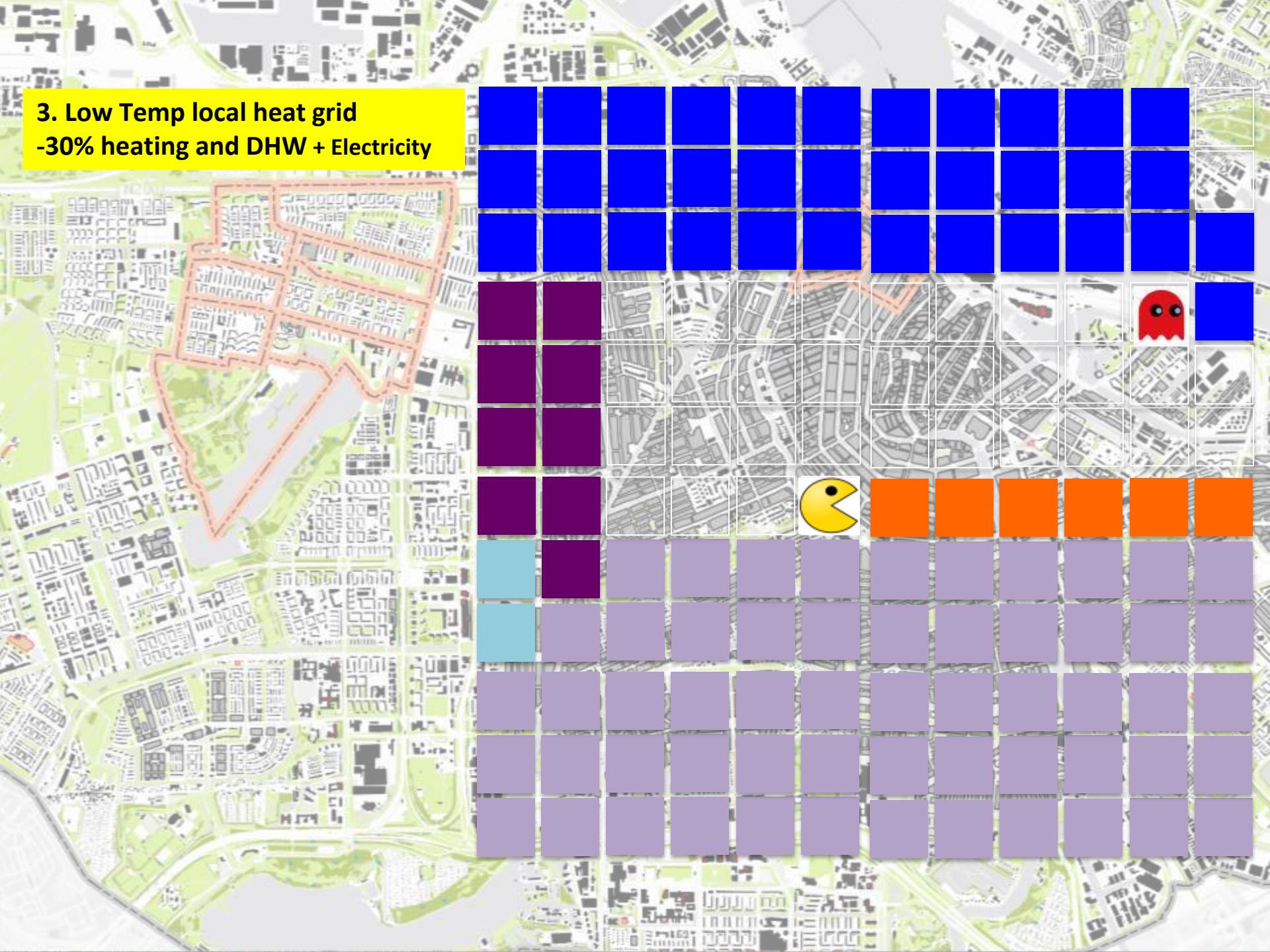
1. Building envelope retrofitting
-30% heating and cooling energy



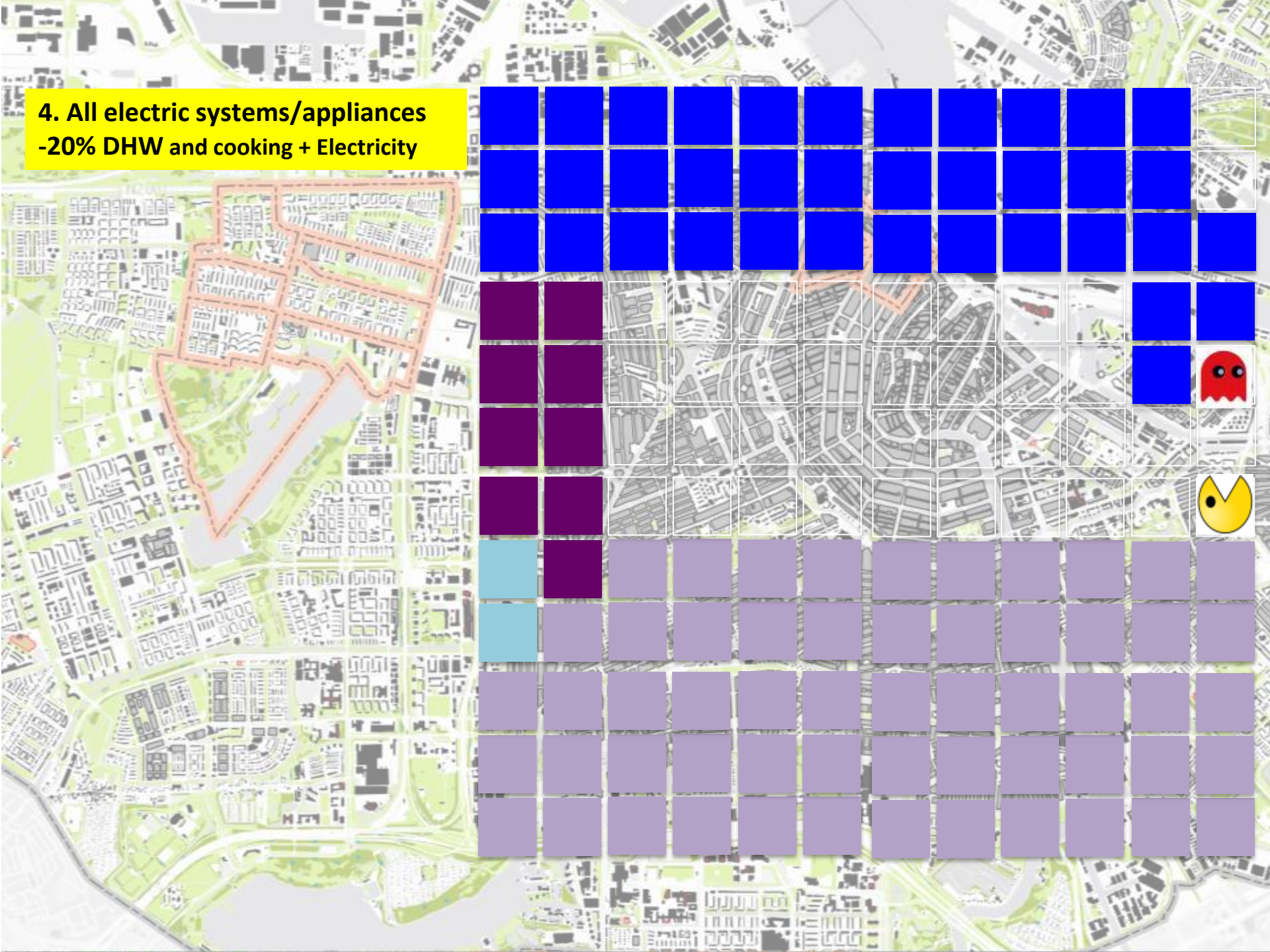
**2. Med Temp local heat grid
-50% heating and DHW + Electricity**



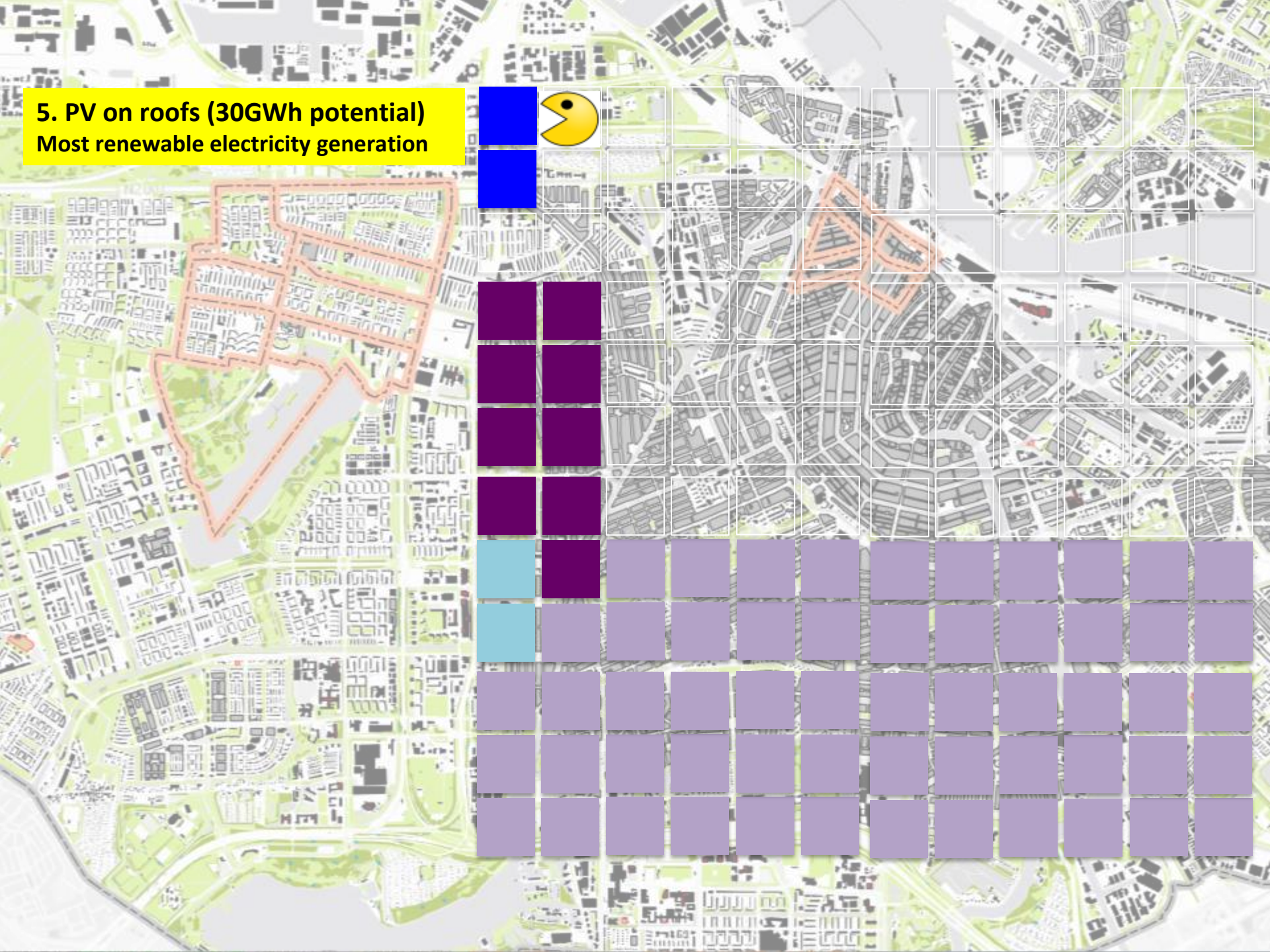
3. Low Temp local heat grid
-30% heating and DHW + Electricity



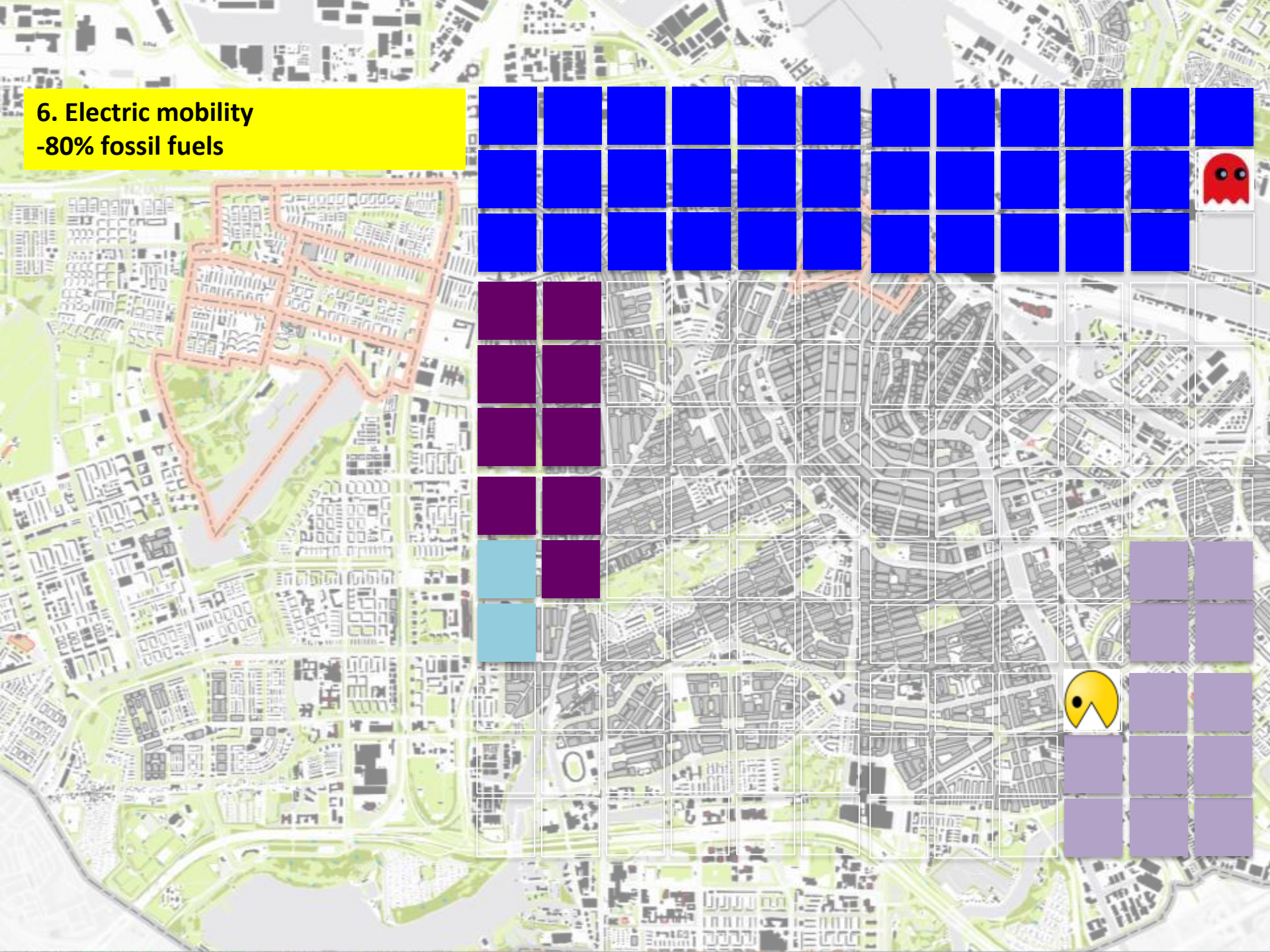
**4. All electric systems/appliances
-20% DHW and cooking + Electricity**



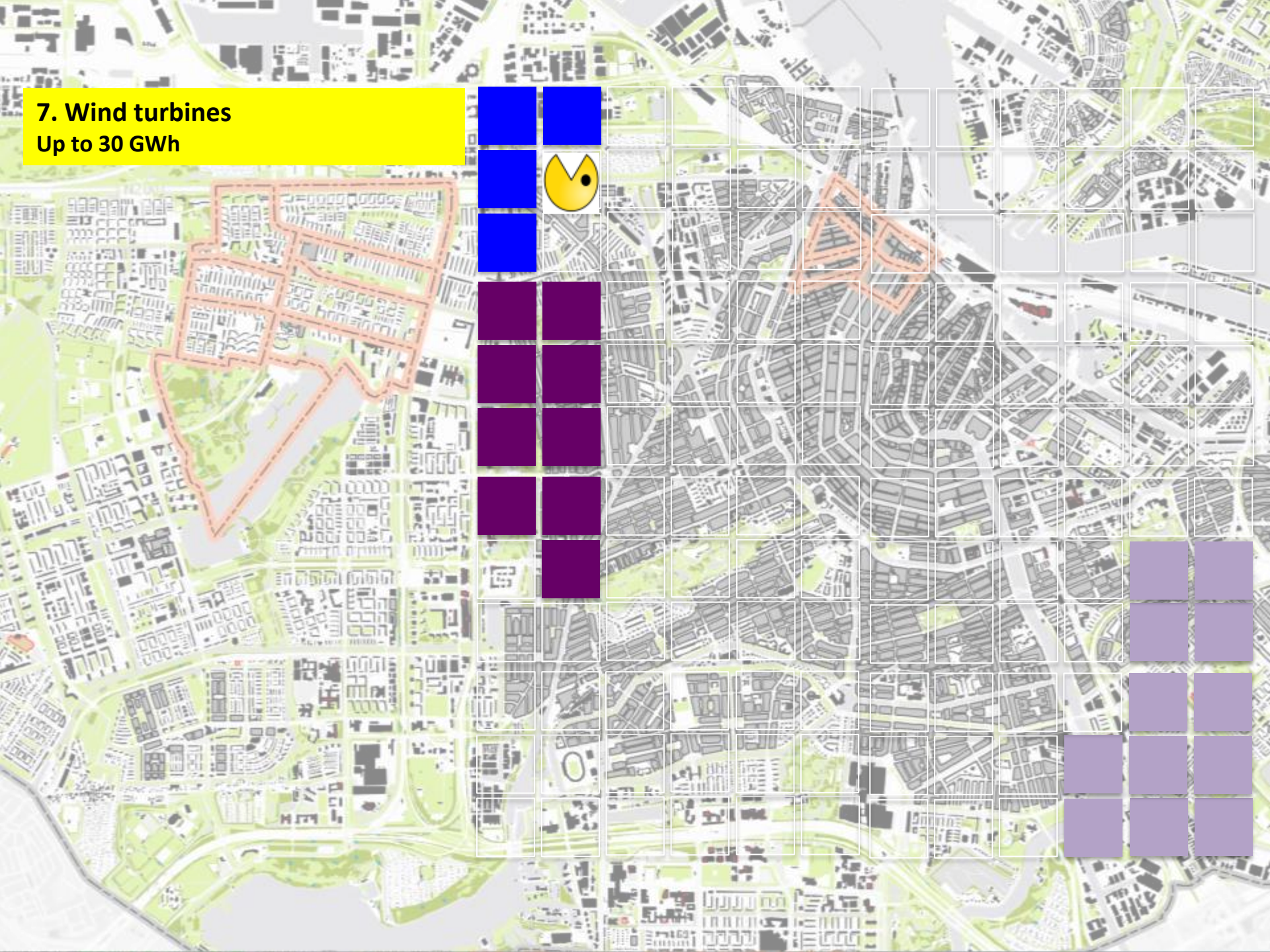
5. PV on roofs (30GWh potential)
Most renewable electricity generation



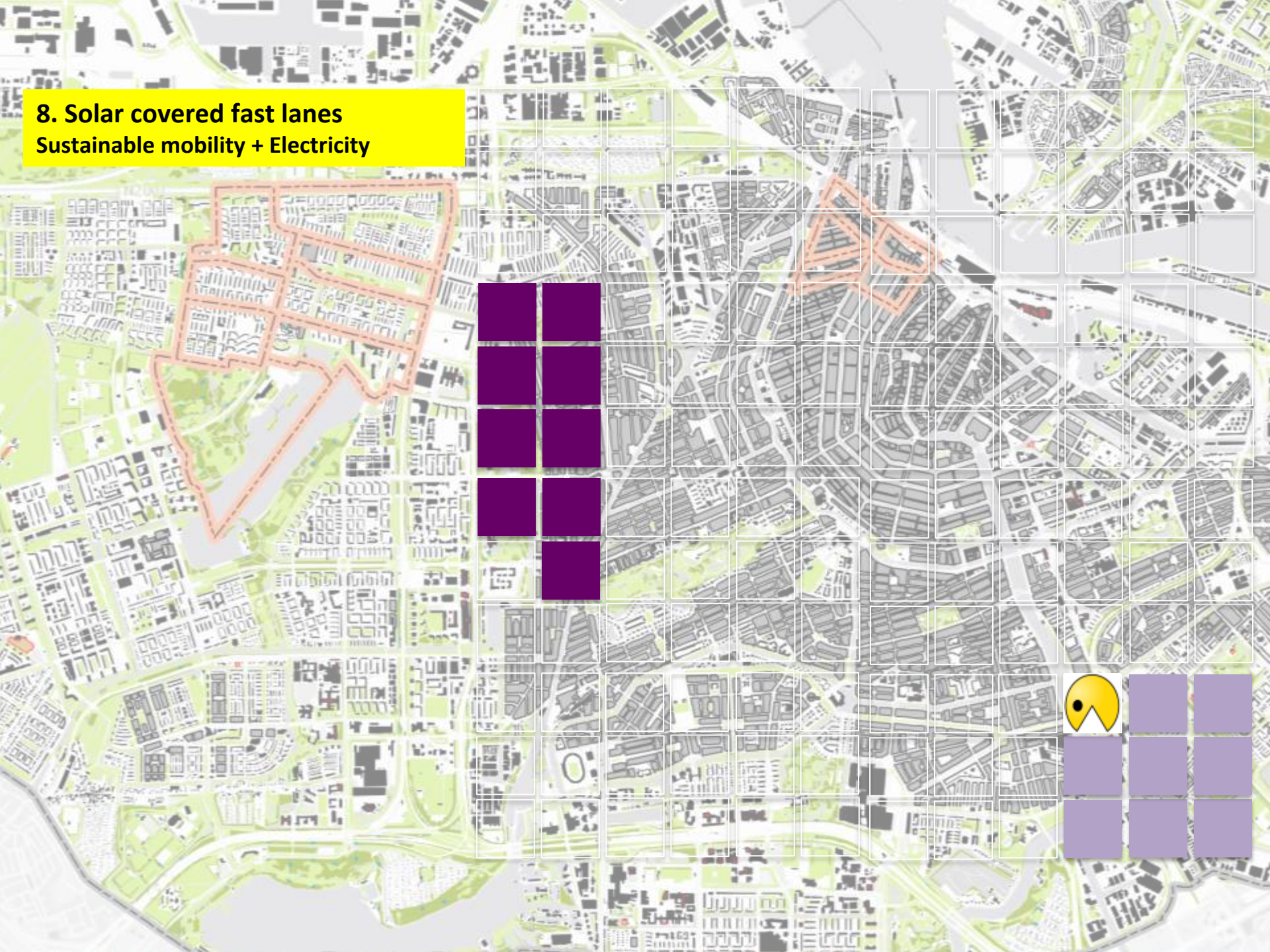
**6. Electric mobility
-80% fossil fuels**



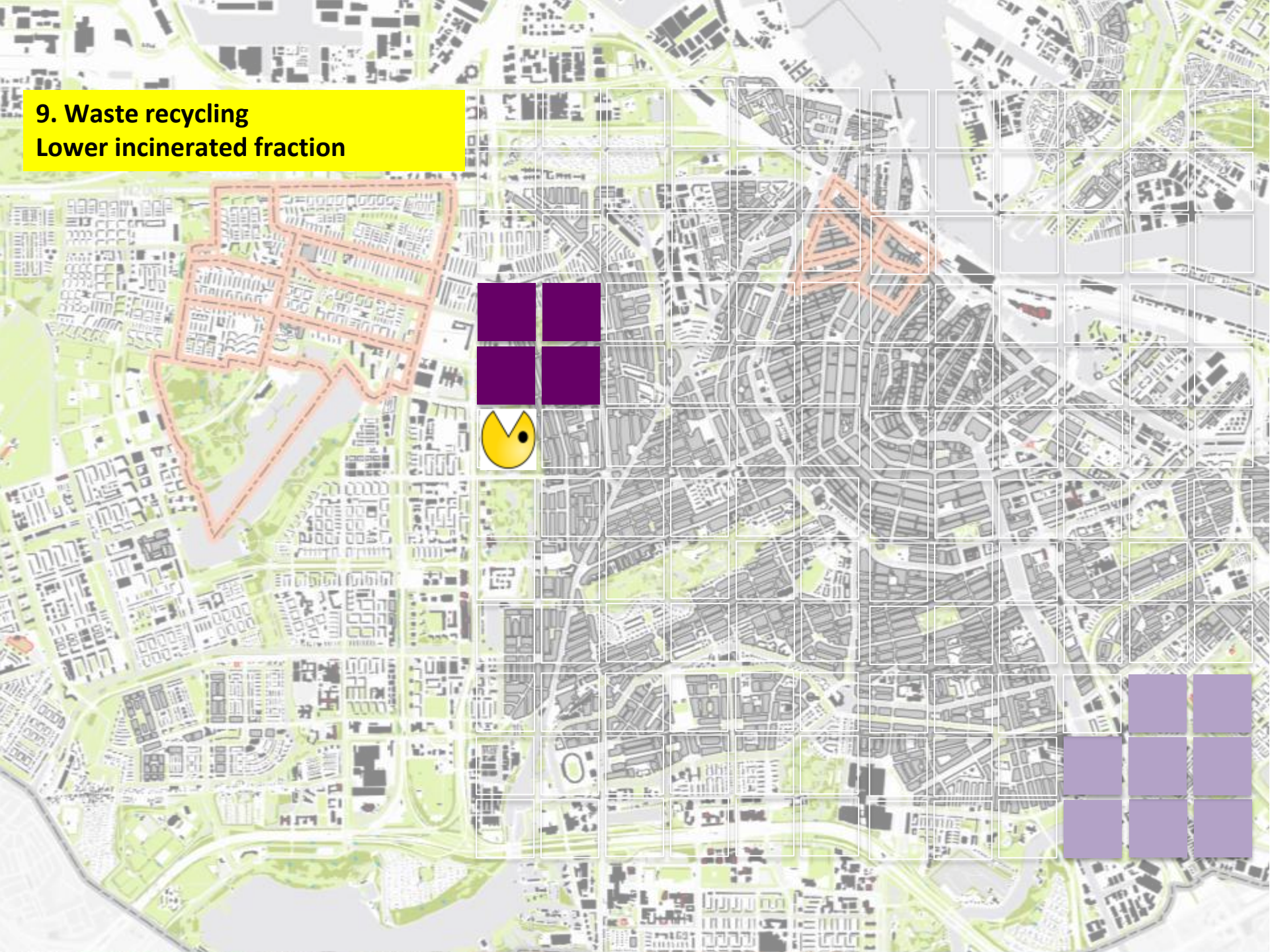
7. Wind turbines
Up to 30 GWh



8. Solar covered fast lanes
Sustainable mobility + Electricity

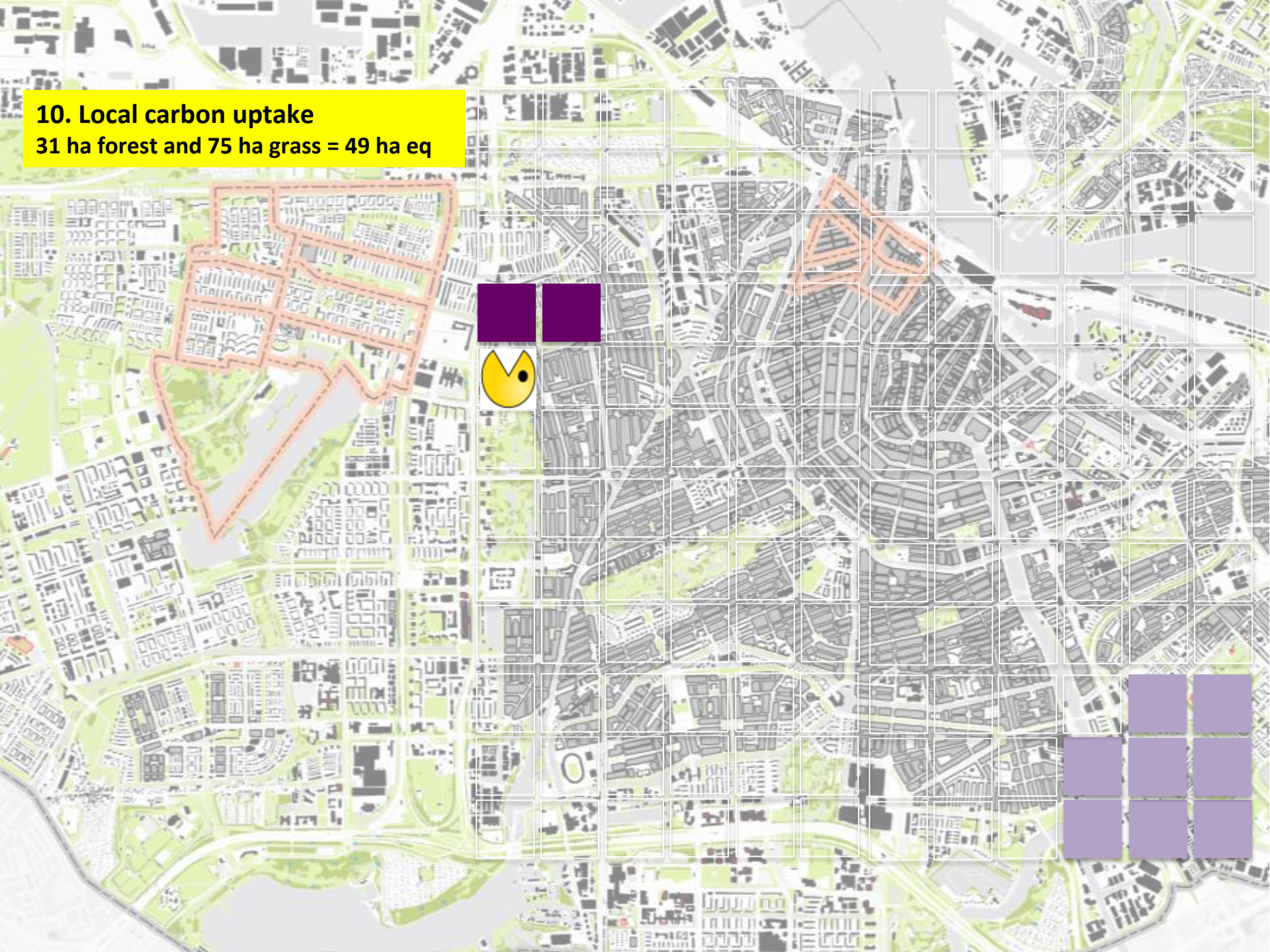


9. Waste recycling
Lower incinerated fraction



10. Local carbon uptake

31 ha forest and 75 ha grass = 49 ha eq



**TRUST YOURSELF SLOTERMEER
GO TO ZERO!**



Amsterdamse hoofdroutes naar Parijs

- **Grootschalige en kleinschalige duurzame elektriciteit**
- **Grootschalige, vergaande renovatie**
 - Van het gas af → all-electric
 - LT warmtesystemen met zonnecollector, WP-systeem of WKO en minigrids
 - Bron WP-systeem: 1. bodem, 2. oppervlaktewater, 3. (buiten)lucht
- **Warmtenetten**
 - Van het gas af
 - Van HT (90°C) heen, MT (65°C) retour naar MT (65°C) heen, LT (40°C) terug
 - Cascadering van HT-zones naar MT-zones naar LT-zones
 - Bron: van fossiele en afval naar geothermie, biowarmte en zonnewarmte
- **Groengas**
 - Biogas van vergistingsprocessen (afvalwater, snoeiafval, GFT...)
 - Waterstof, van overtollige duurzame stroom (zon, wind, waterkracht)
 - Synthetisch methaan, uit power-to-gas van overtollige duurzame stroom

Amsterdamse hoofdroutes naar Parijs

▪ Grootschalige en kleinschalige duurzame elektriciteit

▪ Grootschalige, vergaande renovatie

- Van het gas af → all-electric
- LT warmtesystemen met warmtecollector, WP-systeem of WKO en minigrids
- **Monumentenzorg wordt regelluw; stad investeert in 'heritage PV'**
Bron WP-systeem: 1. bodem, 2. oppervlaktewater, 3. (buiten)lucht

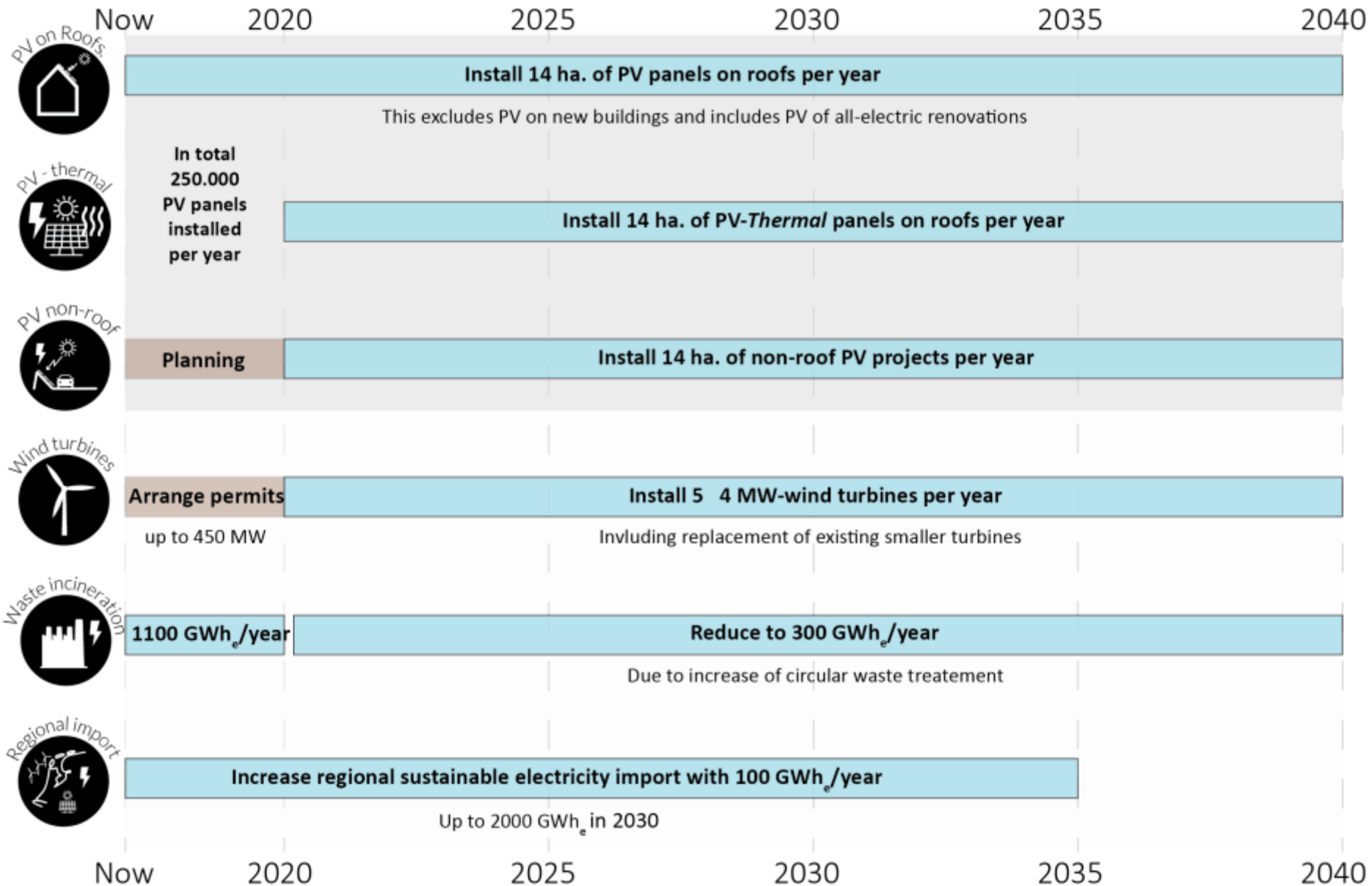
▪ Warmtenetten

- Van het gas af
- Van HT (90°C) heen, MT (65°C) retour naar MT (65°C) heen, LT (40°C) terug
- Cascadering van HT-zones naar MT-zones naar LT-zones
- **Grootschalige uitleg van netten in de binnenstad en oudere delen**
– Bron: van fossiele en afval naar geothermie, biowarmte en zonnewarmte

▪ Groengas

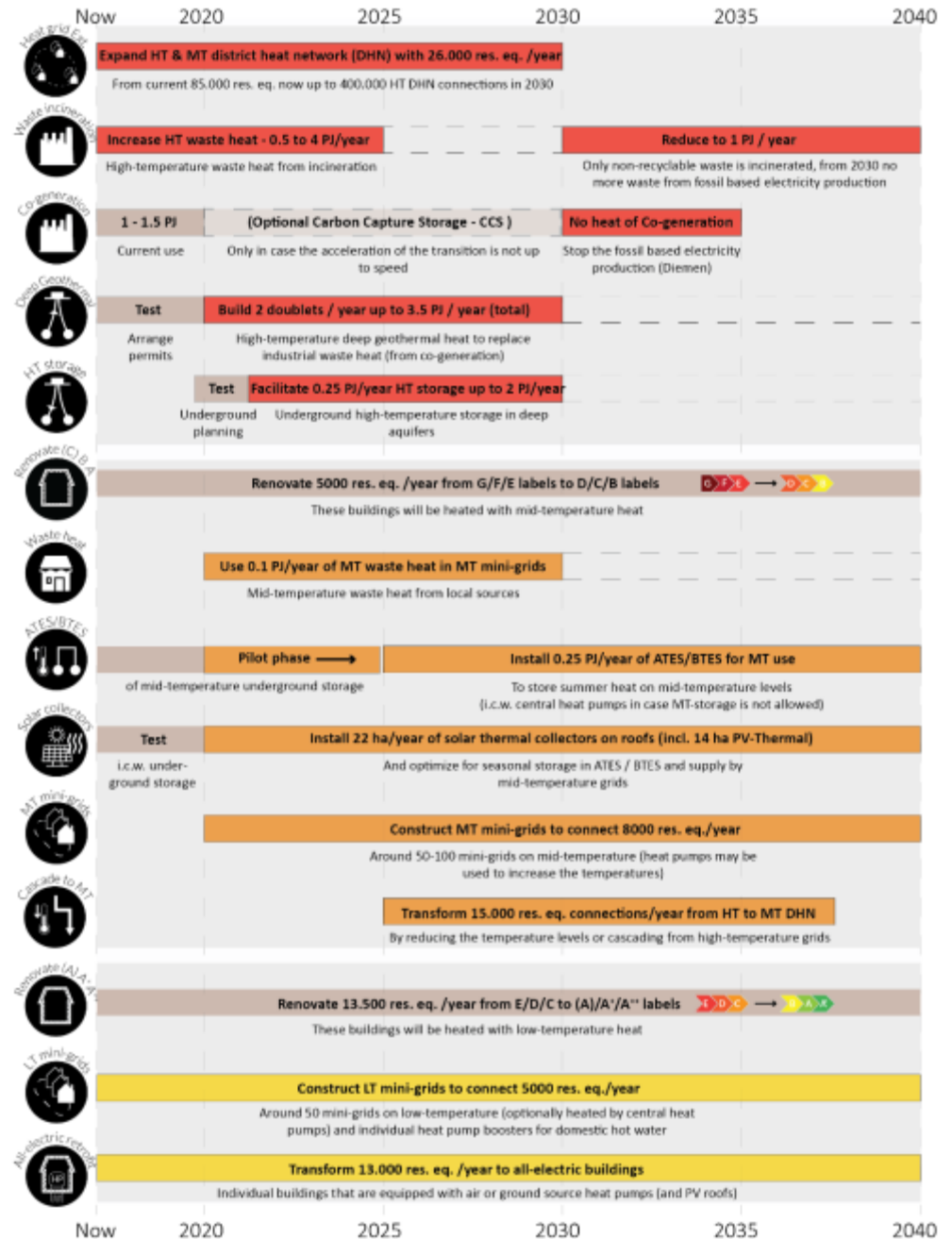
- Biogas van vergistingsprocessen (afvalwater, snoeiafval, GFT...)
- Waterstof, van overtollige duurzame stroom (zon, wind, waterkracht)
- **Nieuwe grootschalige gasproductiefabriek, gebruik bestaande gasnet**
– Synthetisch methaan, uit power-to-gas van overtollige duurzame stroom

ROADMAP FOR SUSTAINABLE ELECTRICITY OF AMSTERDAM'S EXISTING BUILT ENVIRONMENT



Warmteroadmap

ROADMAP FOR SUSTAINABLE HEATING OF AMSTERDAM'S EXISTING BUILT ENVIRONMENT



Selectie van wat per jaar moet gebeuren:

- **26.000 nieuwe aansluitingen op het warmtenet.**

Uitgaande van gemiddeld 3 m buis per aansluiting (6 m, tweezijdig in een straat) komt dit neer op het uitrollen van **78 km warmtenet per jaar**, tot 2030.

- **14 ha PV-panelen op daken + 14 ha PV op andere oppervlakken.**

280.000 m² = ± 170.000 panelen = **650 panelen per werkdag** = ± 16 woningen + ruim 500 m² op andere vlakken (industrie!) per werkdag.

Dat betekent dat **permanent 96 installateurs** bezig zijn met het aanleggen van PV-panelen (excl. de backoffice). 22 jaar lang → meer dan **2000 mensjaren**.

- **5 windturbines van 4 MW (echte joekels op land).**

Vanaf 2020, dus 100 in totaal in 2040, binnen de gemeentegrenzen.

Vooral in de haven!

- **100 GWh import aan duurzame stroom.**

Dit is 2200 GWh in 2040. Dat staat gelijk aan 275 van dezelfde 4MW-turbines elders, of **146 7,5MW zeeturbines**, momenteel de grootste (of 110 toekomstige 10 MW-zeeturbines), of **14,7 km² PV** (1470 ha) elders.



#urbanenergy - a.a.j.f.vandendobbelsteen@tudelft.nl - @dobbelska

Delft University of Technology
Climate Design & Sustainability



Co-funded by the European Union's Seventh Programme
for research, technological development and demonstration