

De batterij – een zegen of een vloek?

voor multivector micro-energiegemeenschappen
met het oog op een koolstofneutrale maatschappij



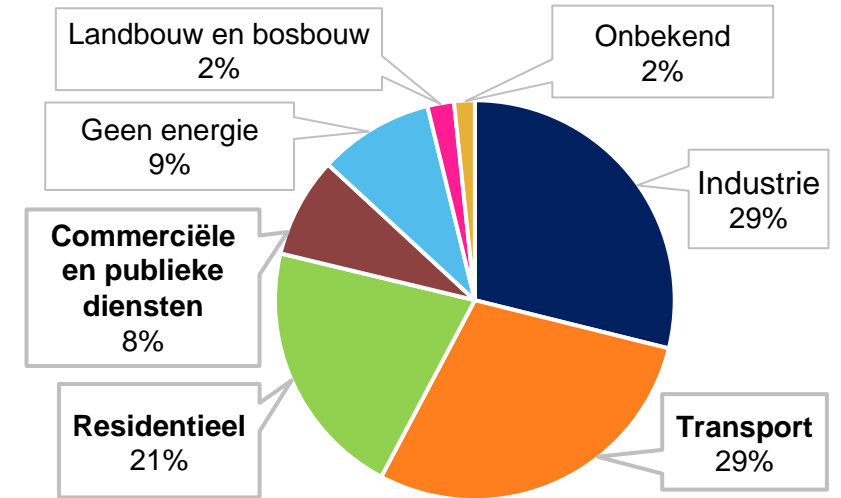
Context

- Decarbonisatie van de bebouwde omgeving
- Electrificatie van thermische toepassingen in het geval van individuele systemen → warmtepomp

1. Batterijen lijken een interessante technologie
2. Collectieve systemen hebben meer potentieel



Evaluatie van batterijen in een micro-energiegemeenschap



Primair energiegebruik (2019)



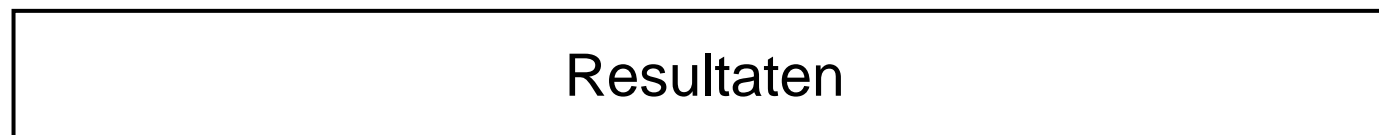
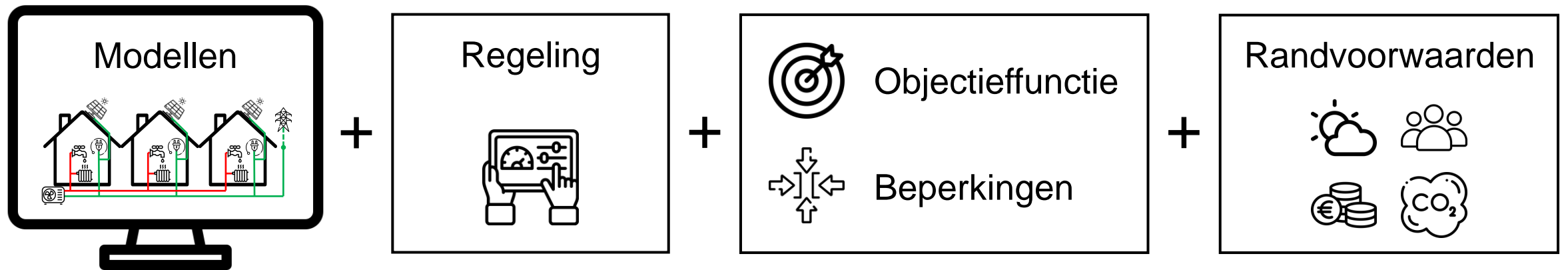
Centrale onderzoeksvraag

De kost voor CO₂-emissiereductie in kleine residentiële gebouwclusters

- Realiseert een batterij een grotere CO₂-emissiereductie?
- Hoe beïnvloedt een batterij de CO₂-emissiereductiekost?



Inhoud



Tiny cluster

- 3 gezinswoningen in Genk
- Bestaande gebouwen ¹ (label C – D)

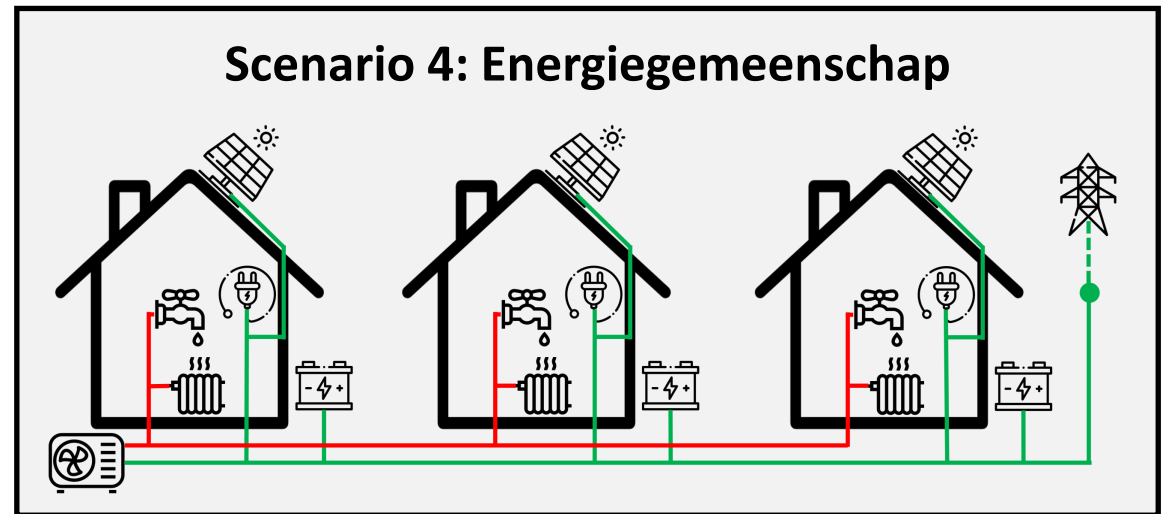
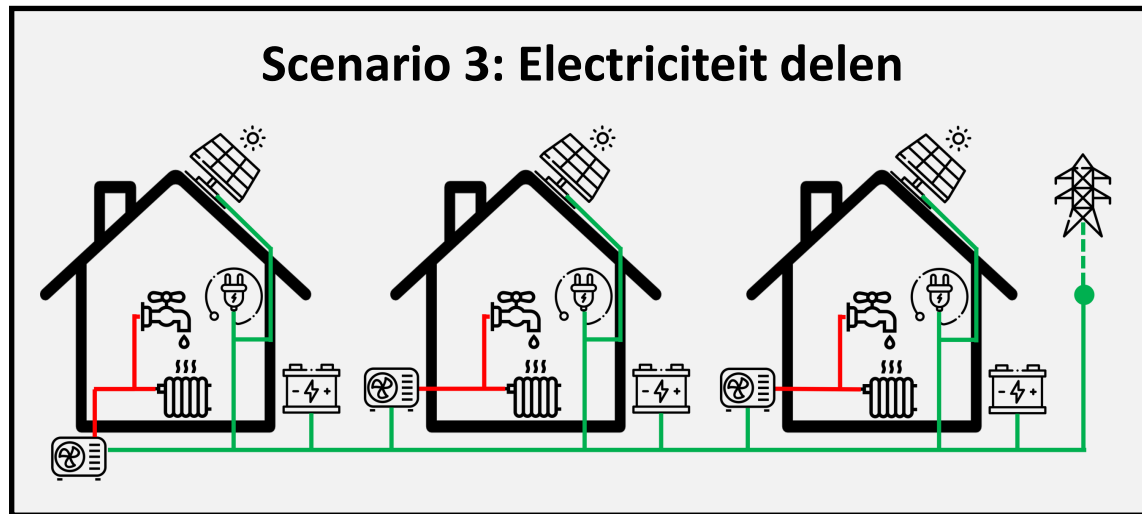
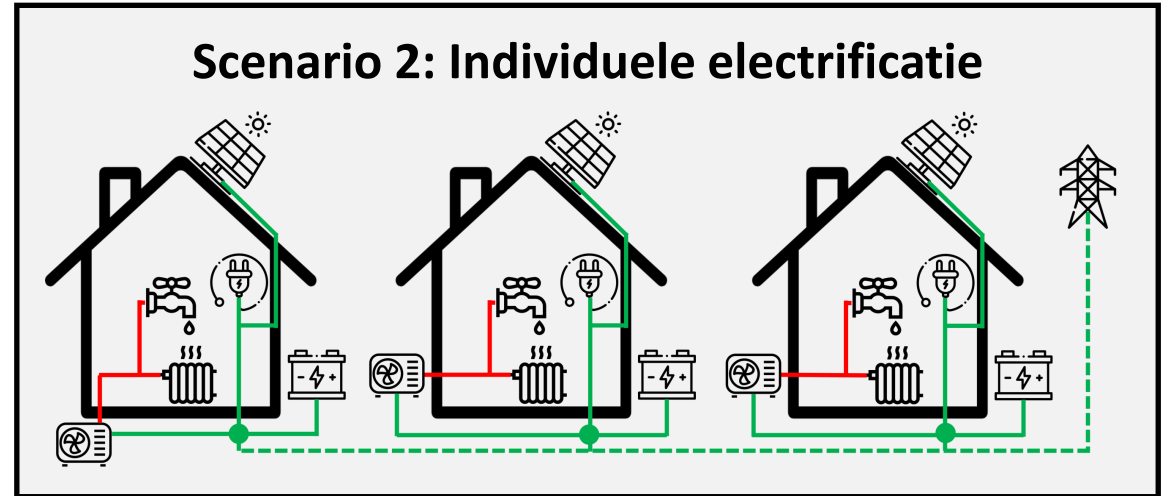
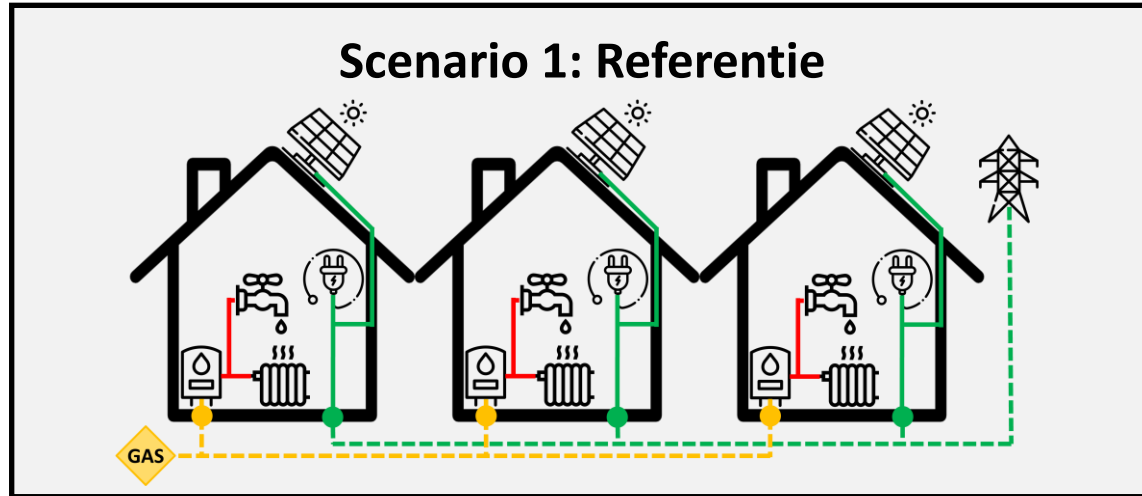


	Huis 1	Huis 2	Huis 3
Bewoonbaar oppervlak	180 m ²	265 m ²	287 m ²
Beschermd volume	520 m ³	865 m ³	783 m ³
UA-waarde	317 W/K	507 W/K	437 W/K
Bewoners ^{*,2}	FTE + FTE	FTE + PTE + SCH	FTE + PTE + 2 x SCH

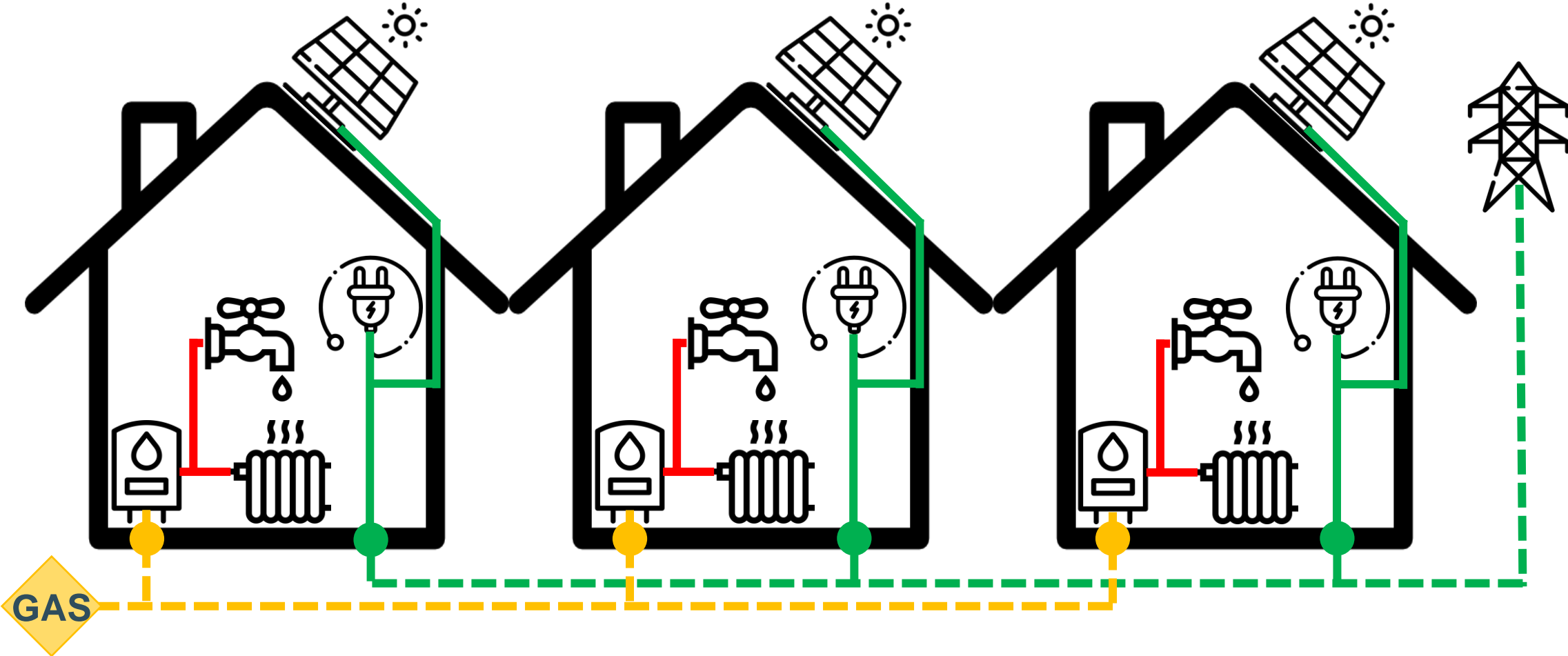
* FTE = Fulltime-equivalent, PTE = Parttime-equivalent, SCH = Schoolgaand kind



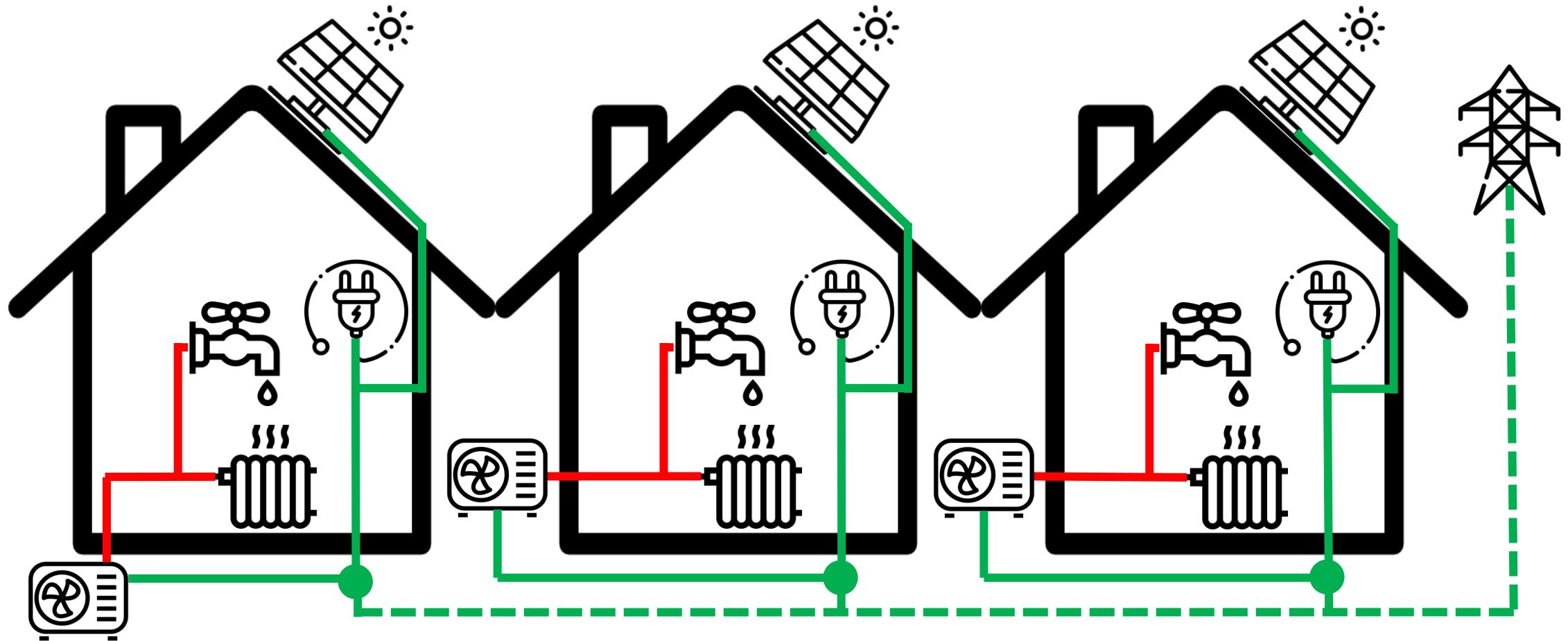
Energiesysteemsenario's



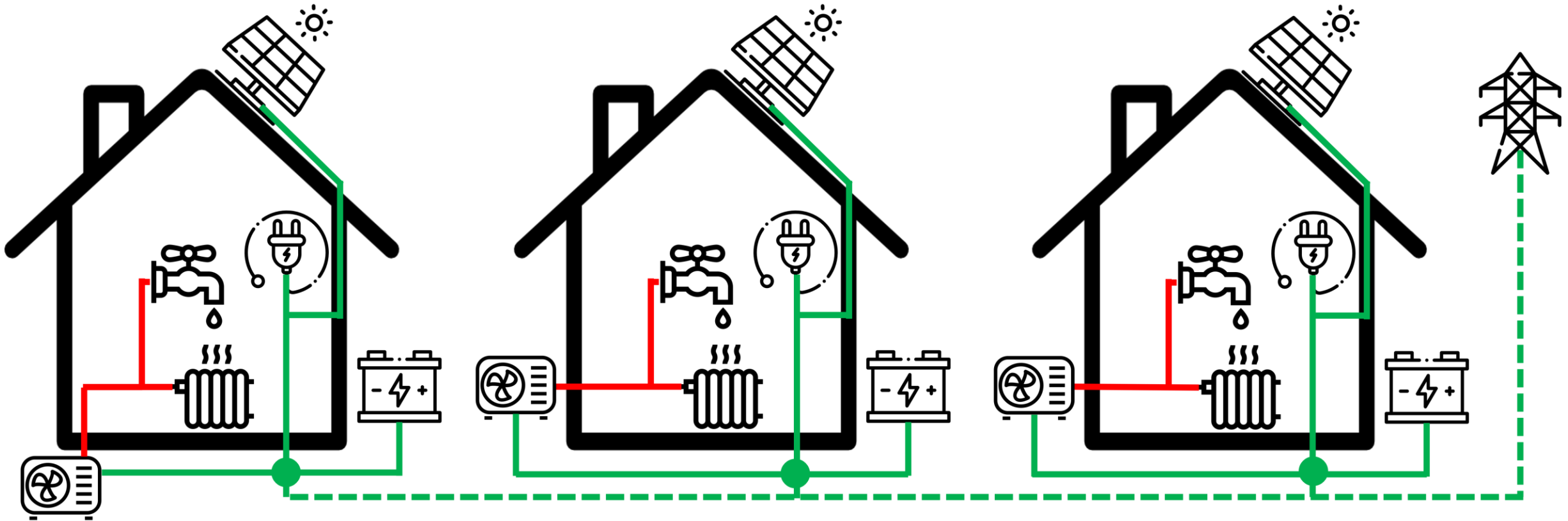
Scenario 1: Referentie



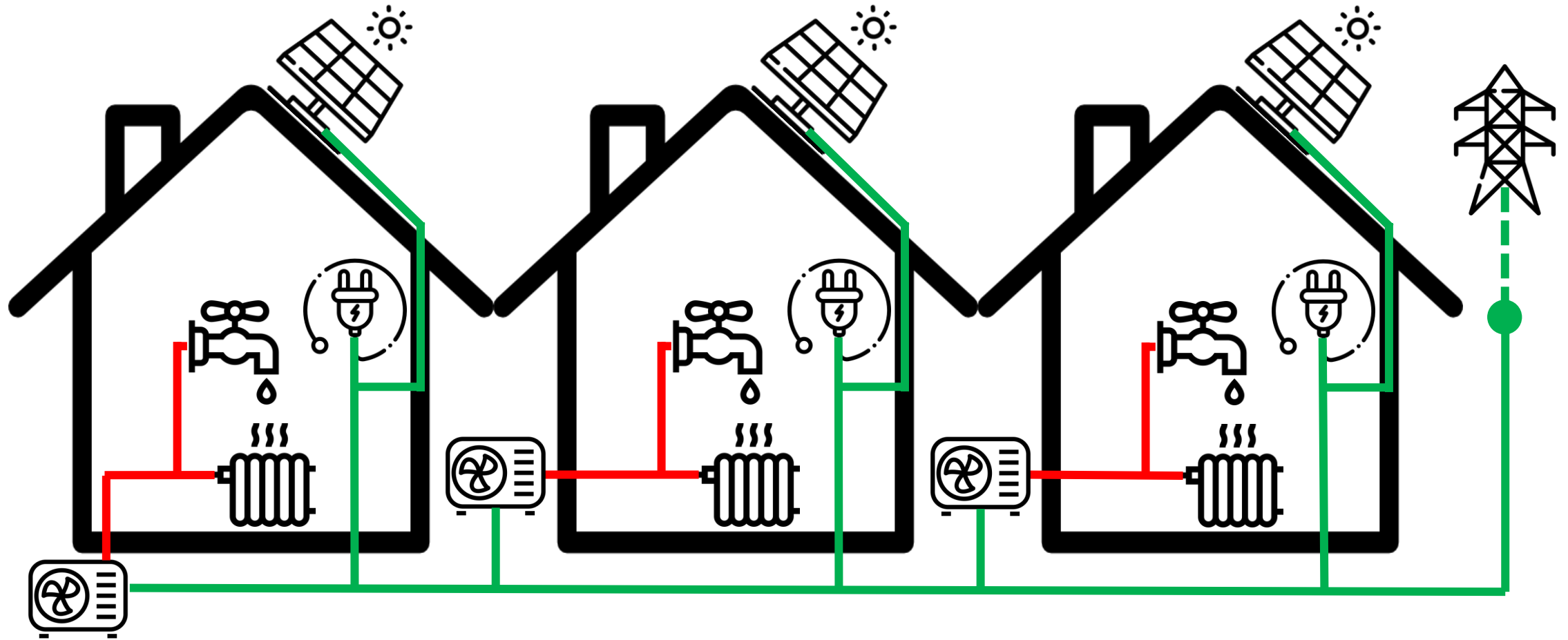
Scenario 2: Individuele elektrificatie



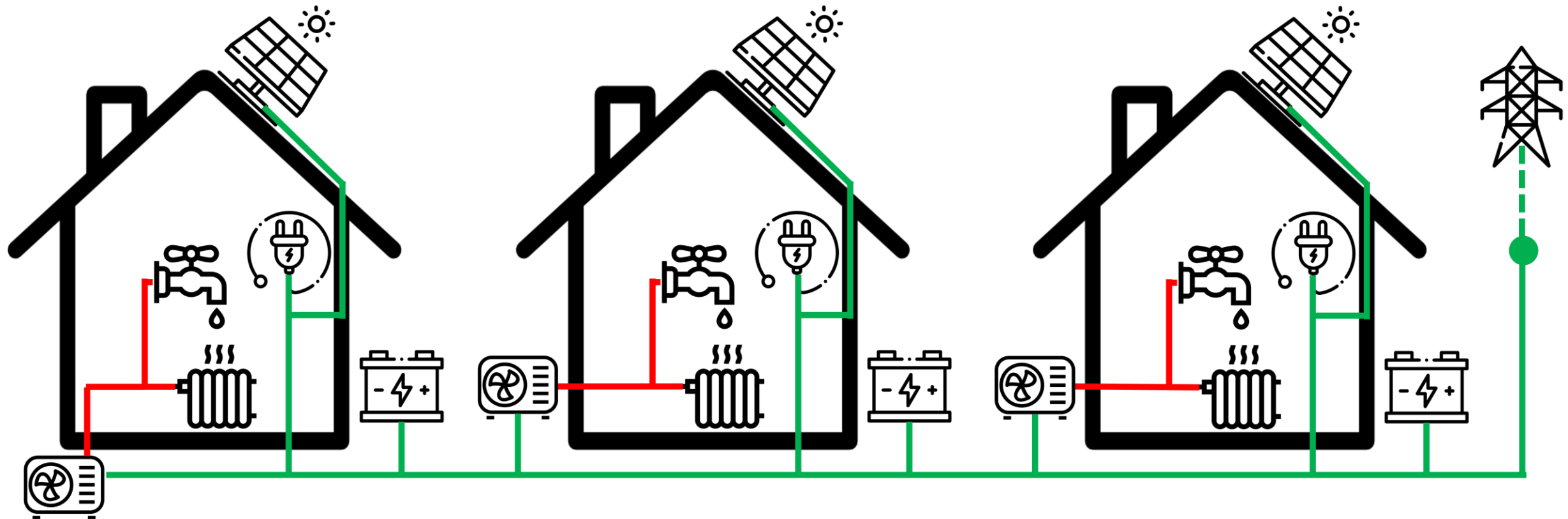
Scenario 2: Individuele elektrificatie



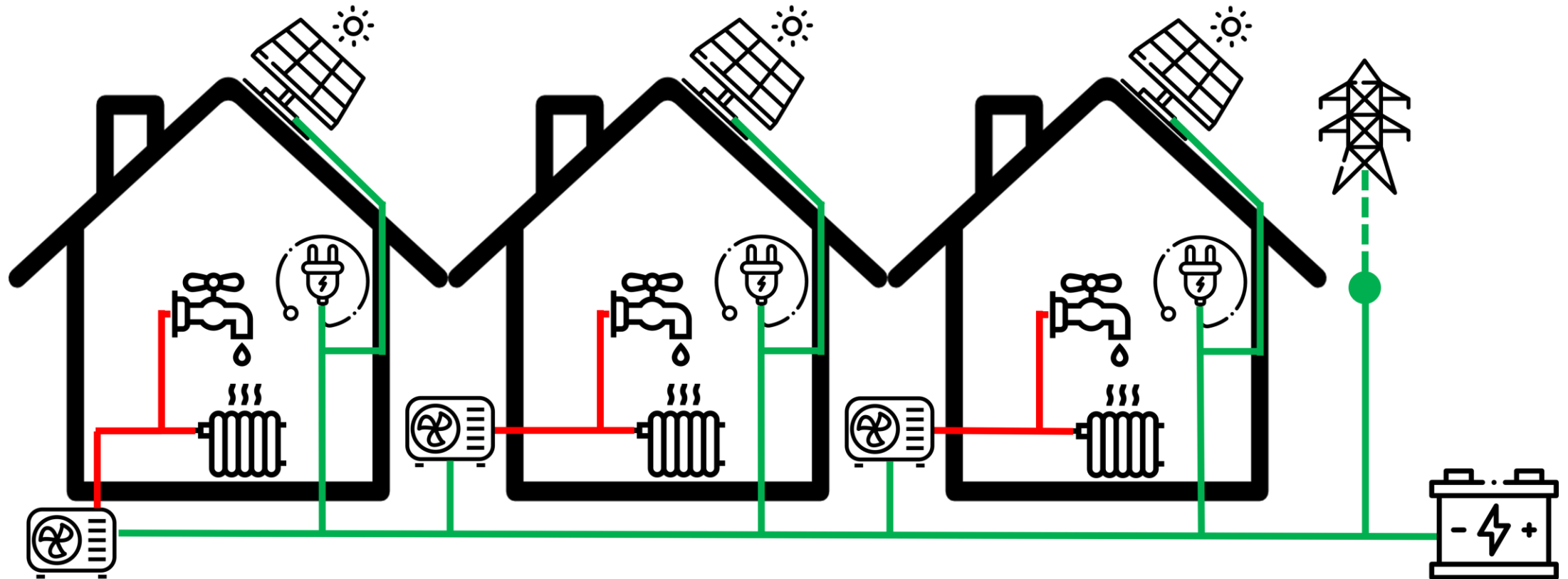
Scenario 3: Elektriciteit delen



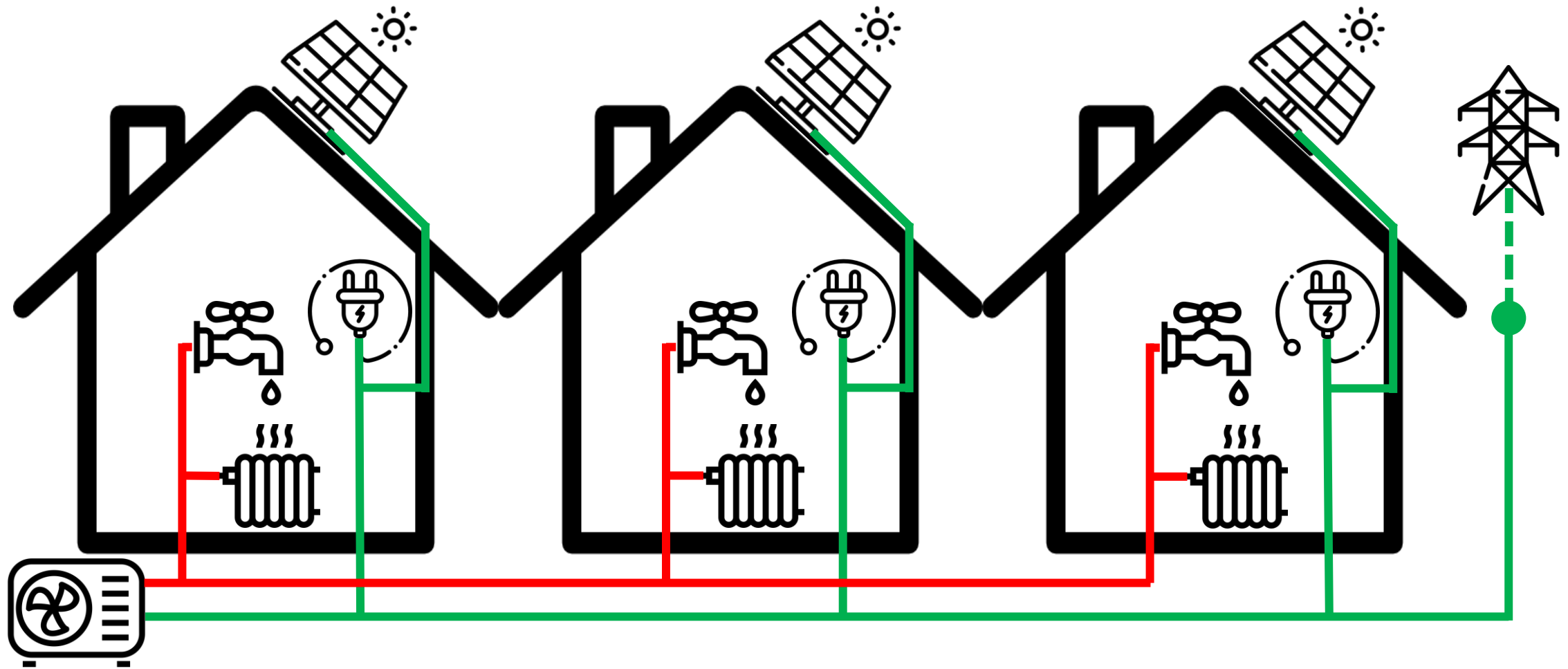
Scenario 3: Elektriciteit delen



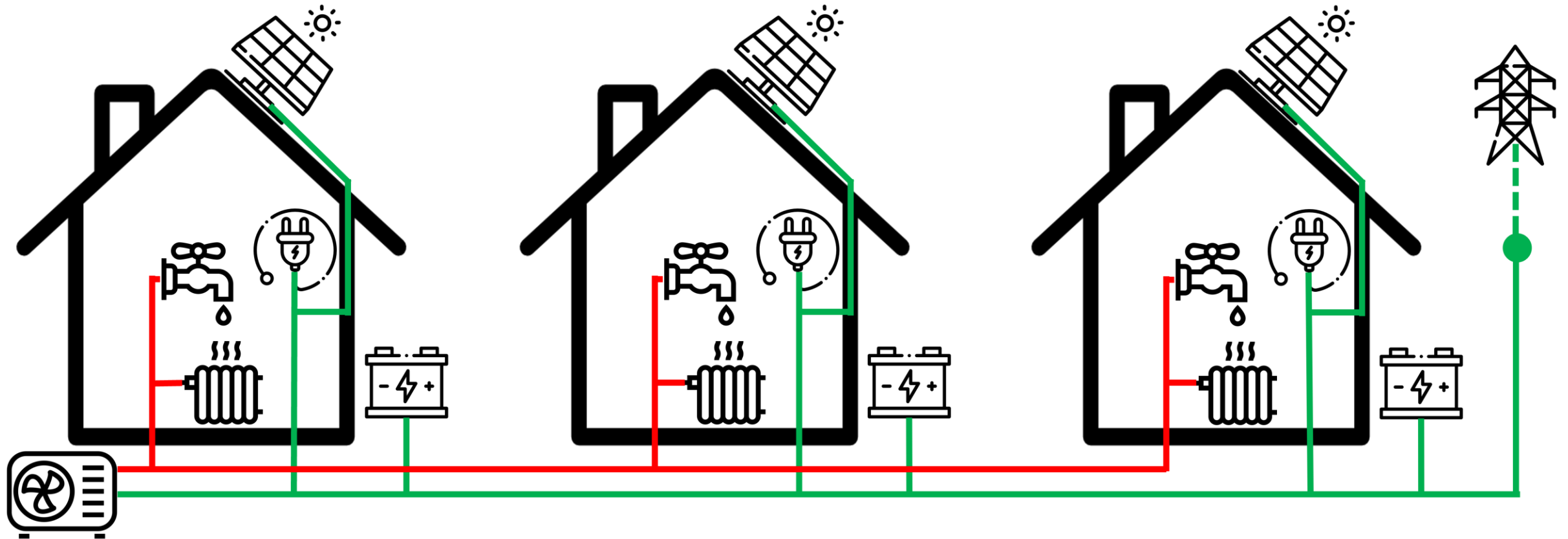
Scenario 3: Elektriciteit delen



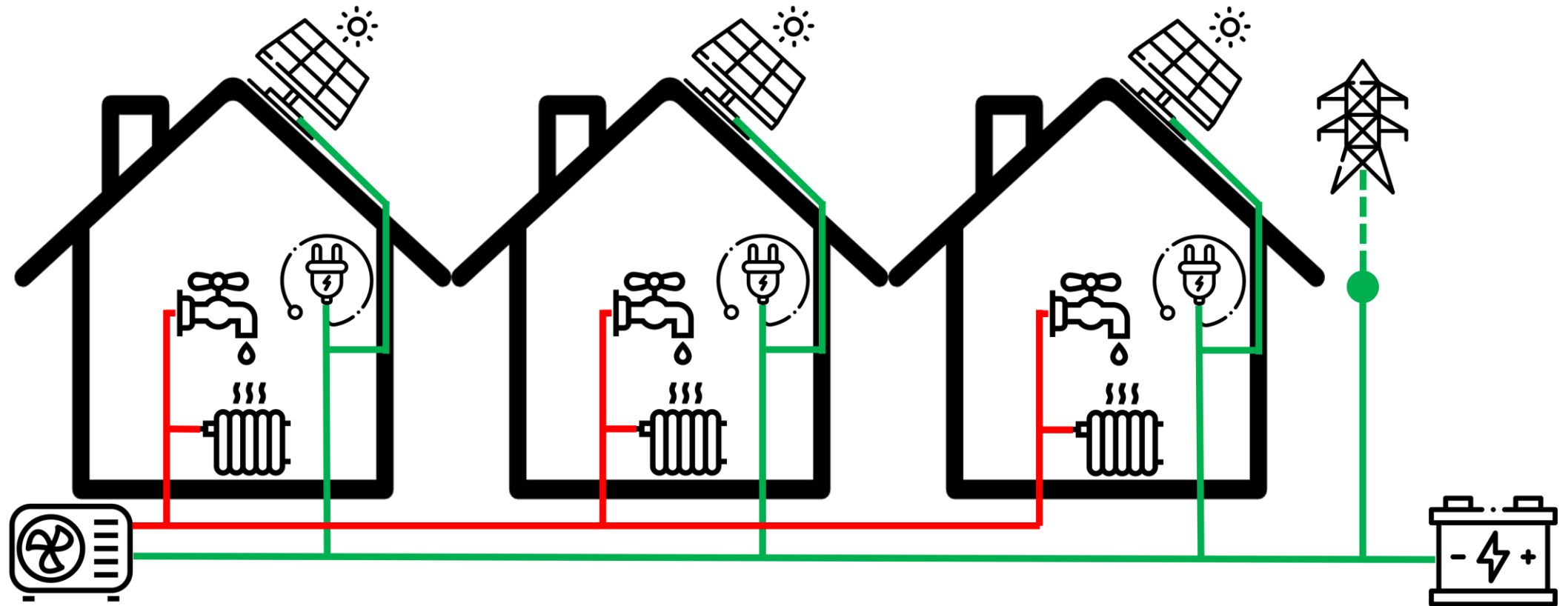
Scenario 4: Energiegemeenschap



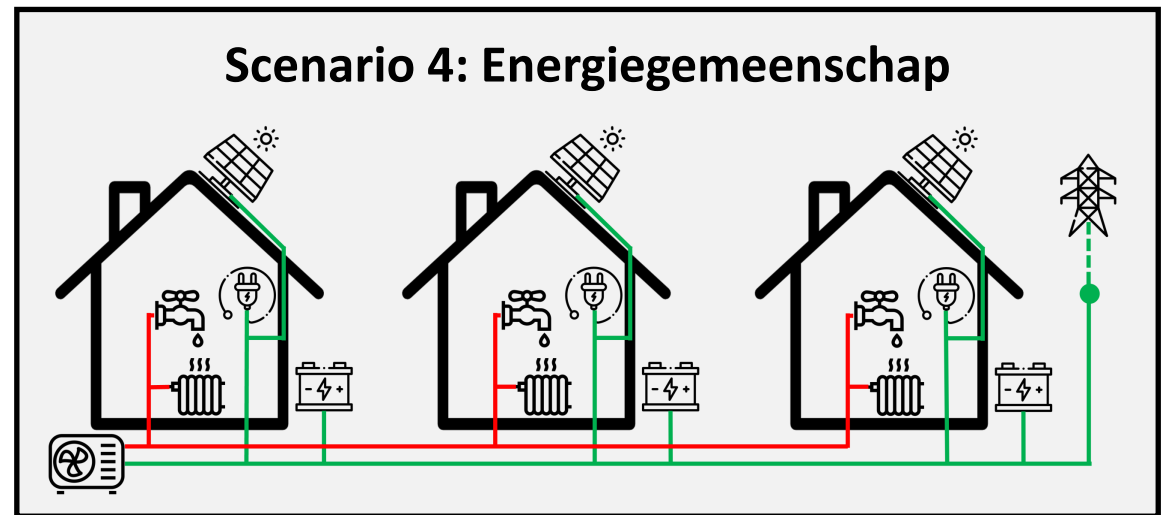
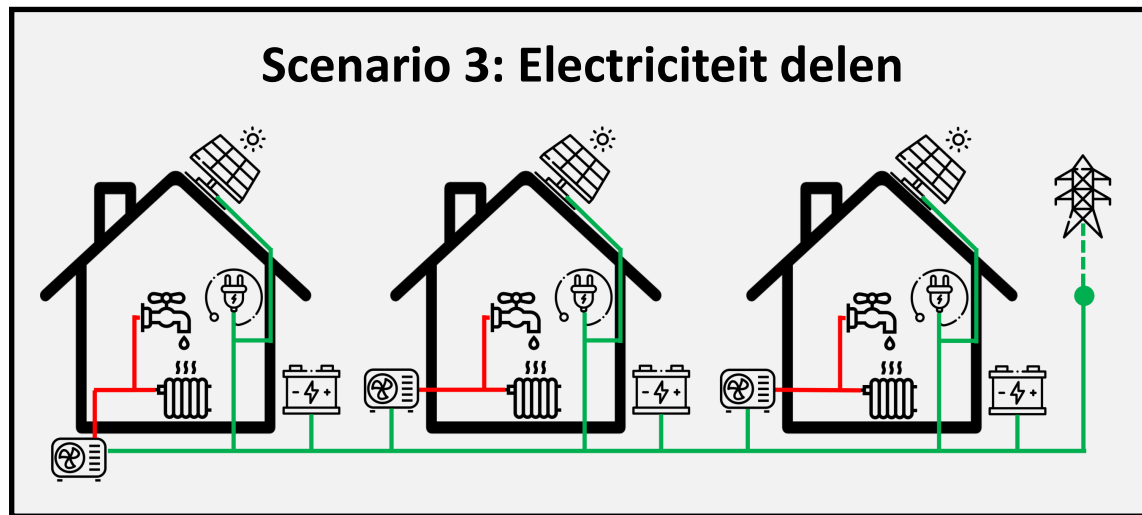
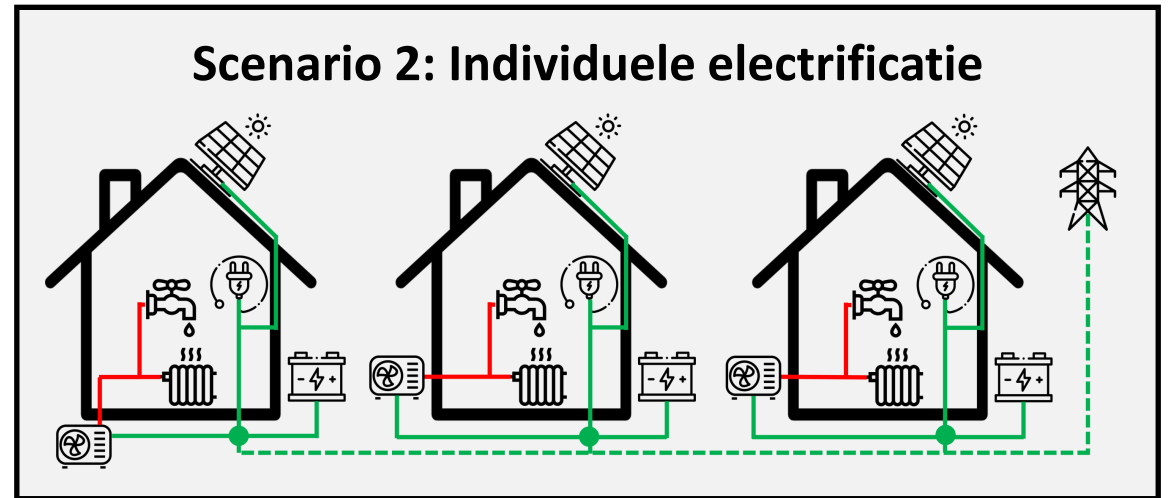
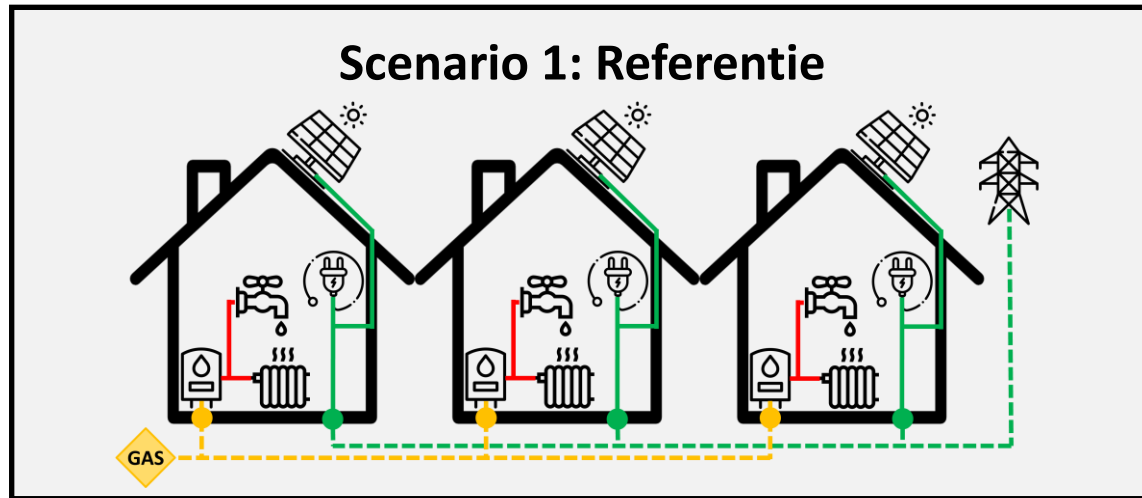
Scenario 4: Energiegemeenschap



Scenario 4: Energiegemeenschap



Energiesysteemscenario's



Technische details

- Verwarming: Warmtepomp, gasketel → Ontwerpwaarde ¹
Afgiftesysteem → Radiatoren

	Huis 1		Huis 2		Huis 3	
Thermisch vermogen	<u>Zone 1</u>	<u>Zone 2</u>	<u>Zone 1</u>	<u>Zone 2</u>	<u>Zone 1</u>	<u>Zone 2</u>
	7,5 kW	6,2 kW	11 kW	9,9 kW	11 kW	9,4 kW

Technische details

- Elektriciteit: PV → A) Vuistregel ¹: o.b.v. toestellen
B) Vuistregel ¹: o.b.v. toestellen + warmtepomp
C) Volledig dak

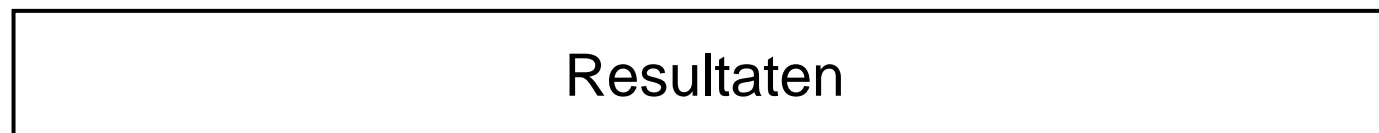
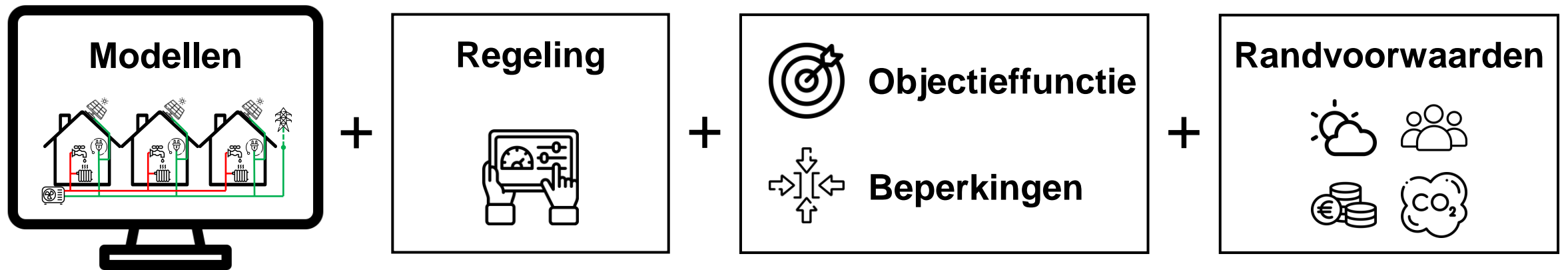
$$\text{PV inverter} \rightarrow [W]_{\text{inverter}} = 0,7 * [W_{\text{piek}}]_{\text{PV}}$$

$$\text{Batterij}^1 \rightarrow \text{Capaciteit: } [Wh]_{\text{batterij}} = [W_{\text{peak}}]_{\text{PV}}$$

$$\text{Vermogen: } [W]_{\text{batterij}} = 0,5 * [Wh]_{\text{batterij}}$$

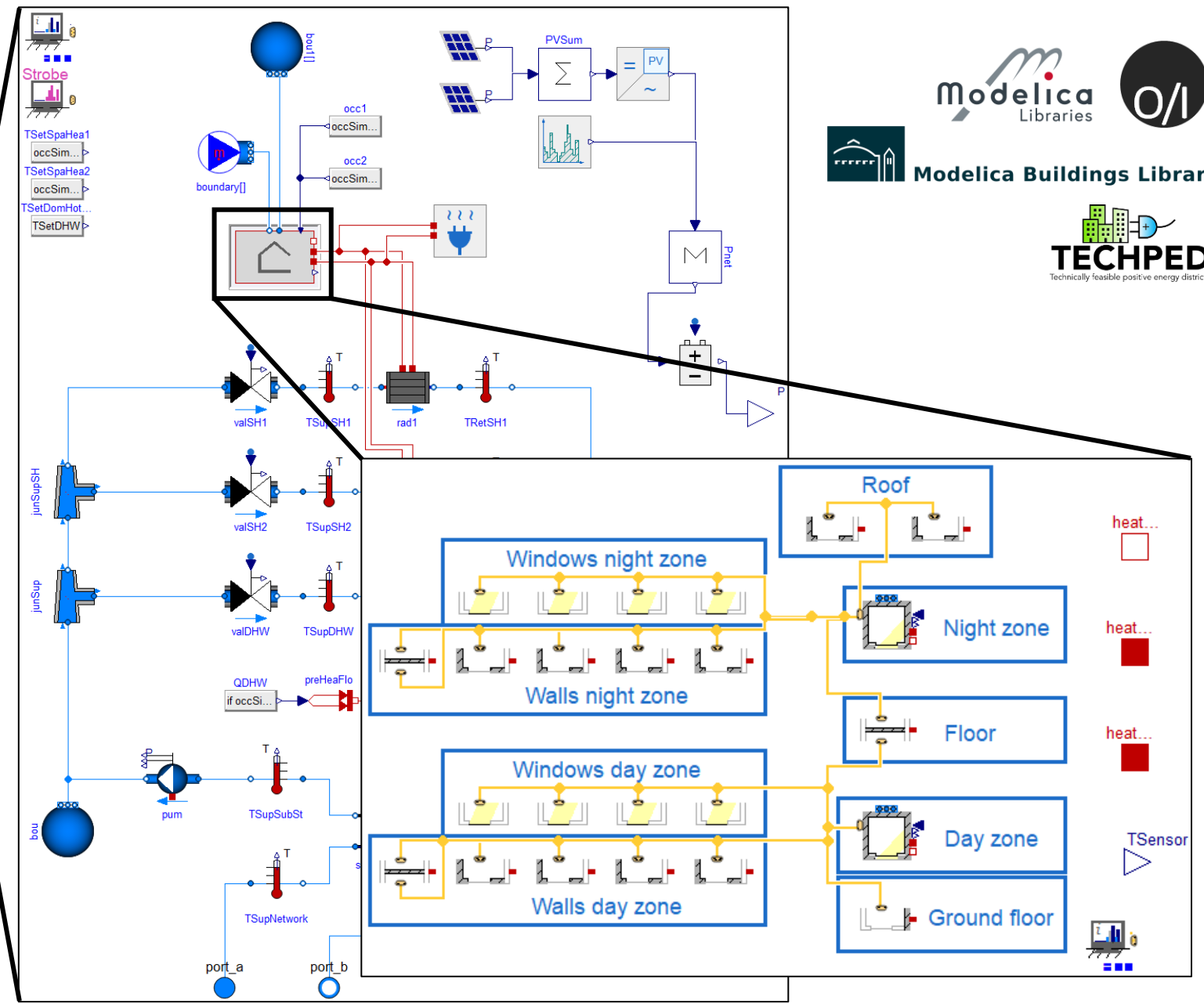
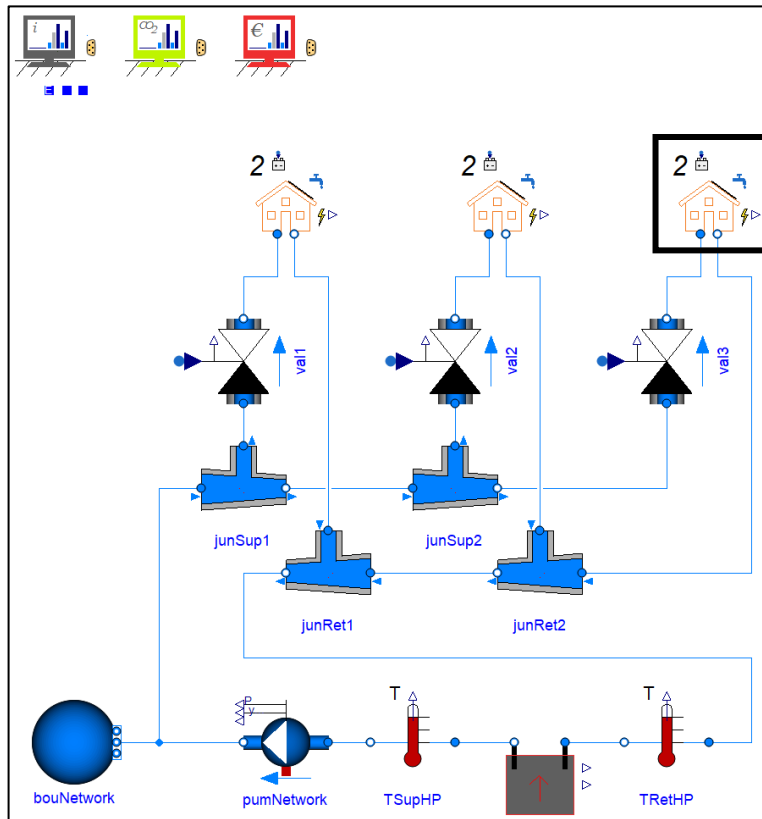
		Huis 1	Huis 2	Huis 3
PV-installatie	A	3,3 kWp – West	5,2 kWp – Zuid	5,2 kWp – Zuid
	B	3,3 kWp – Oost & 3,7 kWp – West	11,1 kWp – Zuid	9,3 kWp – Zuid
	C	8.1 kWp – Oost & 8.9 kWp – West	11.1 kWp – Zuid	9.6 kWp – Zuid

Inhoud



Modellen

- Gedetailleerde white-box modellen in Modelica



Batterijmodel

- Continu model o.b.v. vermogensstromen

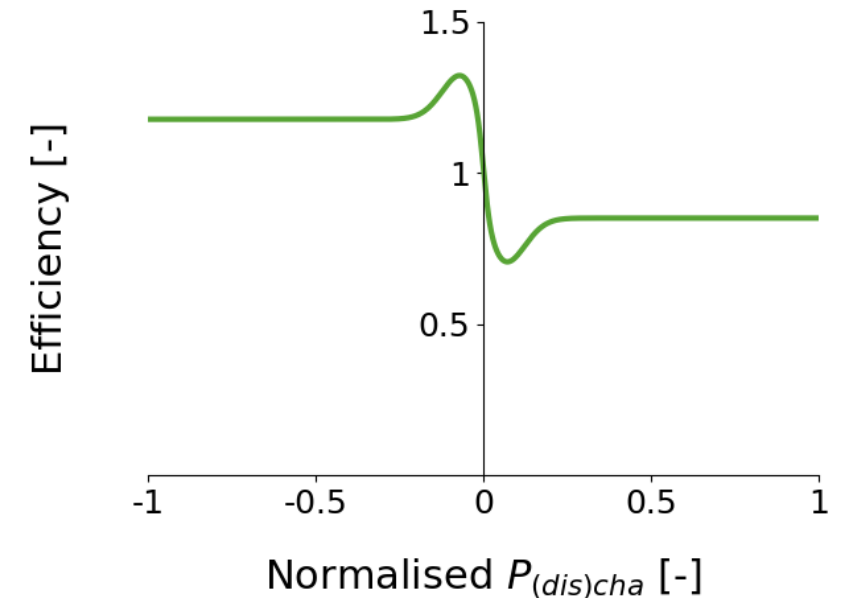
$$\frac{dE_{bat}(t)}{dt} = P_{bat}(t)$$

$$SoC(t) = \frac{E_{bat}(t)}{E_{bat,max}}$$

Regelvariabele

$$P_{bat}(t) = \eta(P_{(dis)cha}) * P_{(dis)cha}(t)$$


- Systemefficiëntie (incl. DC/AC)
- AC-gekoppeld batterijsysteem



Regeling

Referentiescenario

Regelgebaseerd → aan/uit	
Ruimteverwarming ¹ (SH)	$20^{\circ}\text{C} < T_{zone} < 23^{\circ}\text{C}$
Sanitair warm water (SWW)	<u>Tank</u> : $45^{\circ}\text{C} < T_{tank} < 60^{\circ}\text{C}$ <u>Kraan</u> : profiel, 45°C
Gasketel	<i>If SWW tank, then 60°C</i> <i>If SH, then 40°C</i> <i>Else uit</i>
Electriciteit	Prefiel

 **Dymola**

Geëlektrificeerde scenario's

Optimale predictieve regeling	
Optimalisatie van één jaar met tijdstappen van 15 min. Meest ideale bovenlimiet:	
<ul style="list-style-type: none">- Alle informatie is beschikbaar- Perfecte voorspellingen- Simulatiemodel = optimalisatiemodel (regeling)	
$\min_{o(t)} \int_{1 \text{ Jan}}^{31 \text{ Dec}} \text{objectiefunctie } dt$	
Regelvariabelen $o(t)$	WP-modulatie, debieten, (ont)laden batterij
TACO ² → niet-lineaire optimalisatie	

Objectieffunctie

→ Klimaatimpact & energie-efficiëntie

$$\min_{o(t)} \int_{t_i}^{t_i+\Delta t} P + c_k CO_2 dt$$

→ Behoeften van de gebruikers (thermisch comfort)

$$\min_{o(t)} \int_{t_i}^{t_i+\Delta t} P + c_k CO_2 + \underbrace{w_{SH} (T_{set,SH} - T)^2 + w_{SWW} (T - T_{set,SWW})^2}_{= discomfort} dt$$

Objectieffunctie

→ Beperking van de batterij SoC

$$\min_{o(t)} \int_{t_i}^{t_i+\Delta t} P + c_k CO_2 + w_{SH} (T_{set,SH} - T)^2 + w_{SWW} (T - T_{set,DHW})^2 + w_{batterij} (SoC - SoC_{set,batterij})^2 dt$$

= batterijbeperking

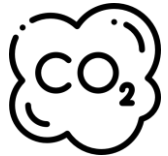
? Operationele kosten, PV-zelfgebruik

Randvoorwaarden

Gecorreleerde data uit 2021



Weerstation Leuven ¹: temperatuur, zonnestraling, wind, ...



Belgische productiemix ² & emissiefactoren ³
Geen injectiecompensatie

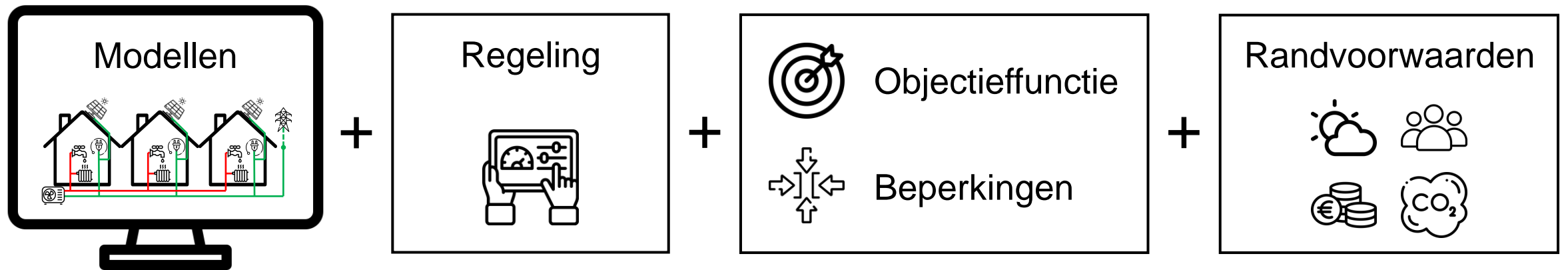


Uurlijks variërende elektriciteitsprijs: Belpex day ahead ⁴ + vaste component ⁵
Geen injectievergoeding
Maandelijks variërende gasprijs ⁵



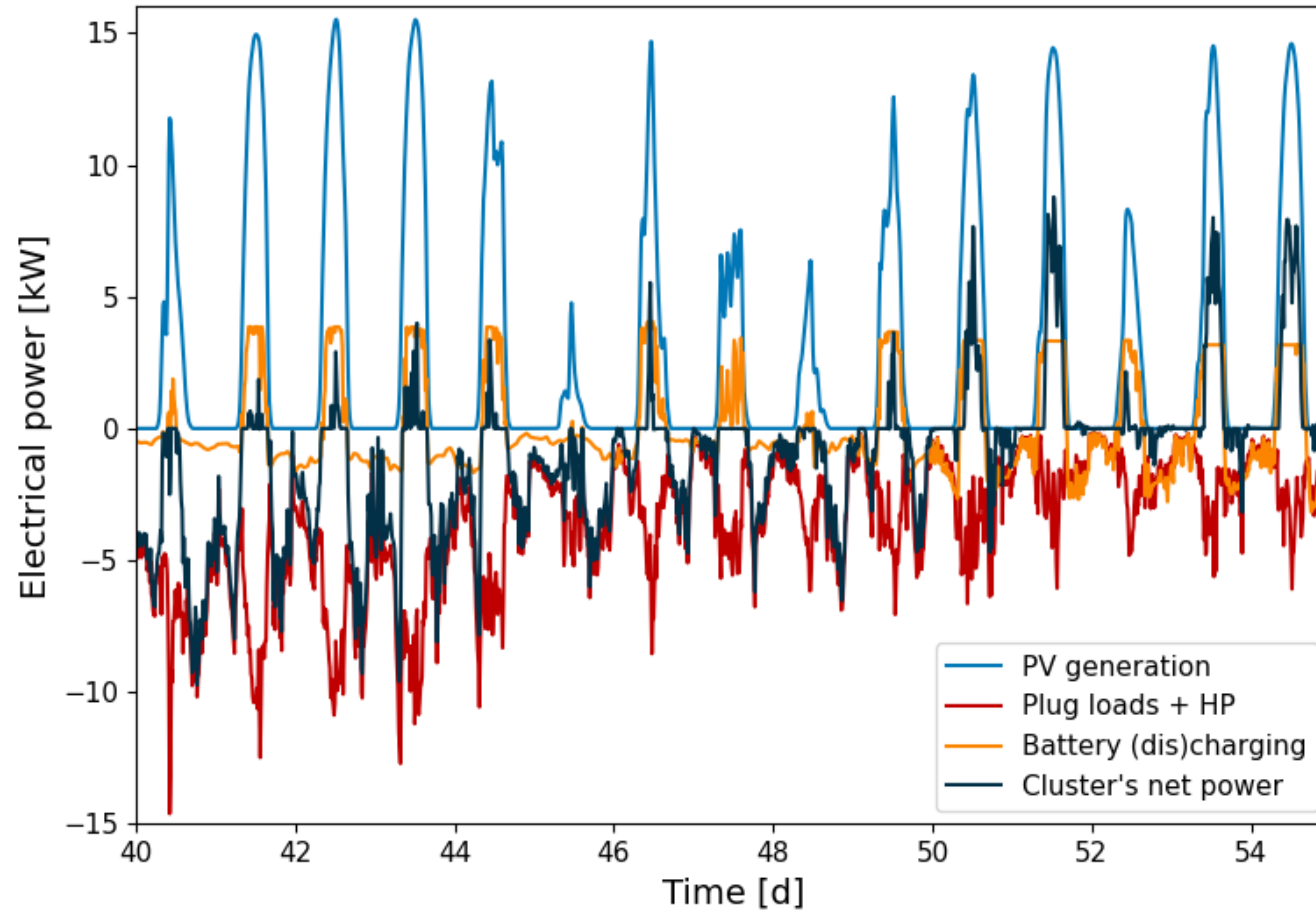
StROBe ⁶: aanwezigheden, interne winsten, profielen, ...

Inhoud



Resultaten

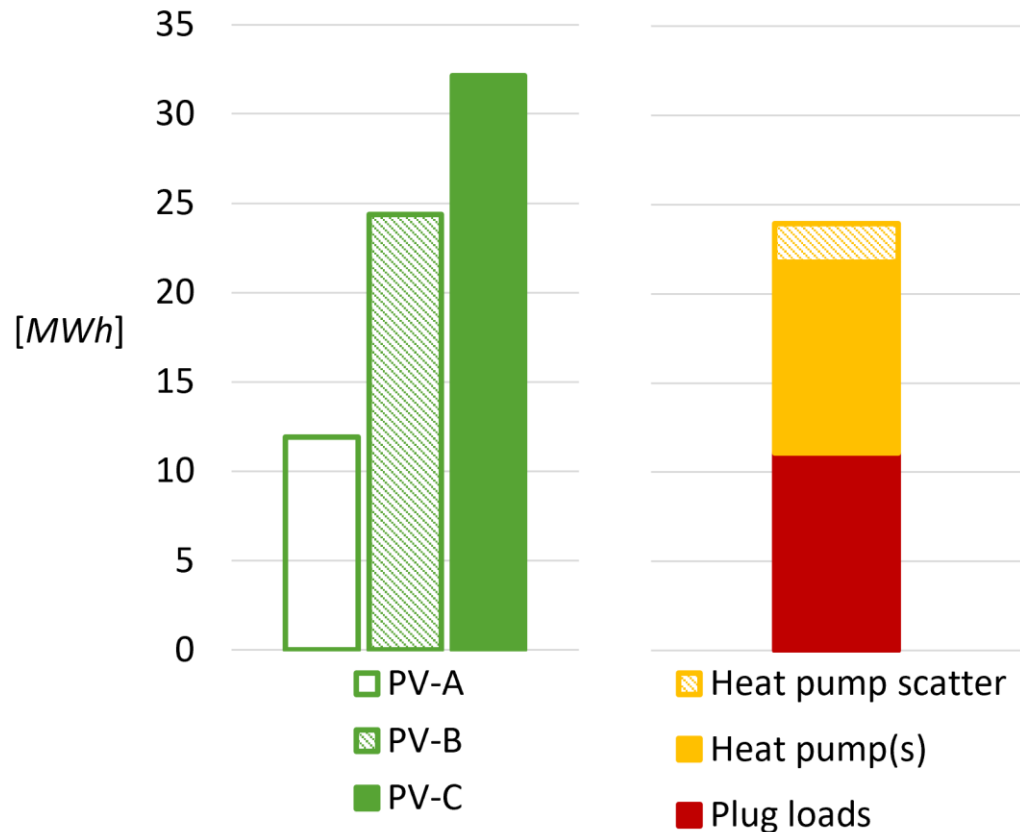
Elektrische vermogens



*Energiegemeenschap met
collectieve warmtepomp,
collectieve batterij en
PV optie B*

Resultaten

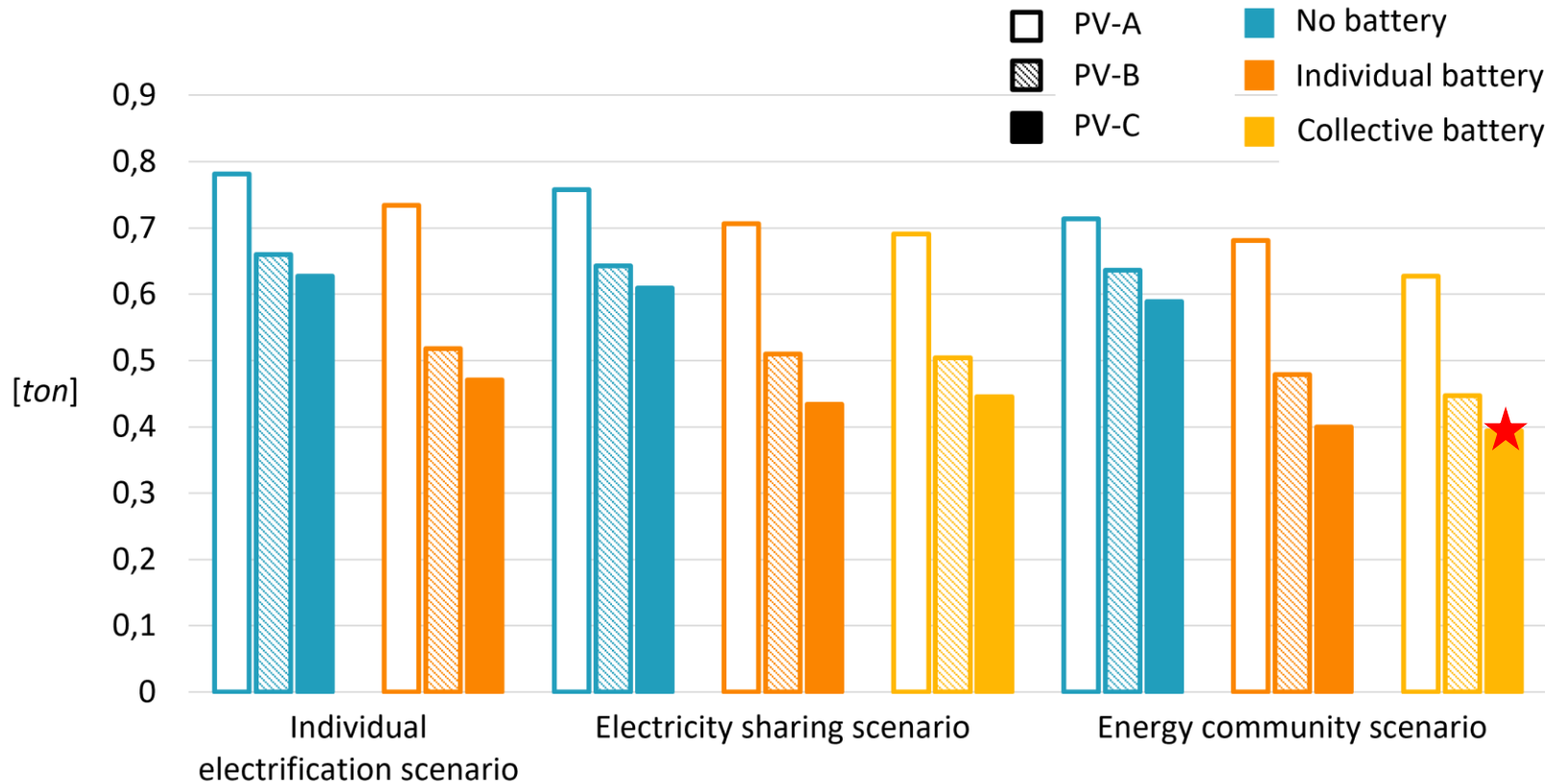
Energiebalans (elektriciteit)



- Positieve energiebalans voor alle geëlektrificeerde scenario's met PV – B en PV – C → PED
- Referentiescenario gebruikt gas → geen PED!
- Warmtepomp verdubbelt elektriciteitsverbruik
- Indien geen maximale energie-efficiëntie, meer verbruik in PV – C

Resultaten

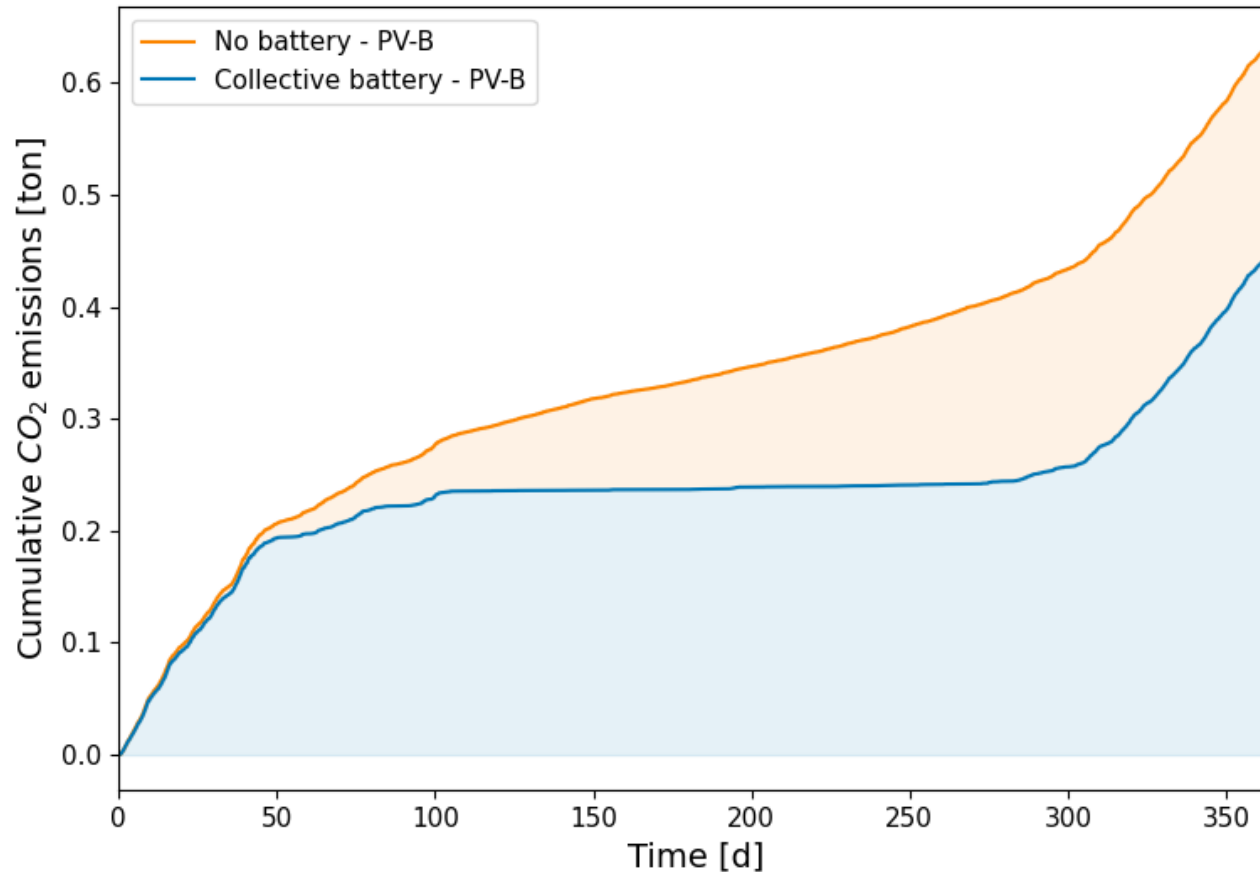
Operationele CO₂-emissies



- Referentiescenario: 12,3 ton
→ 93% reductie bij individuele elektrificatie
- Graad van collectiviteit
- Grootte van PV-installatie en batterij

Resultaten

Cumulatieve operationele CO₂ emissies

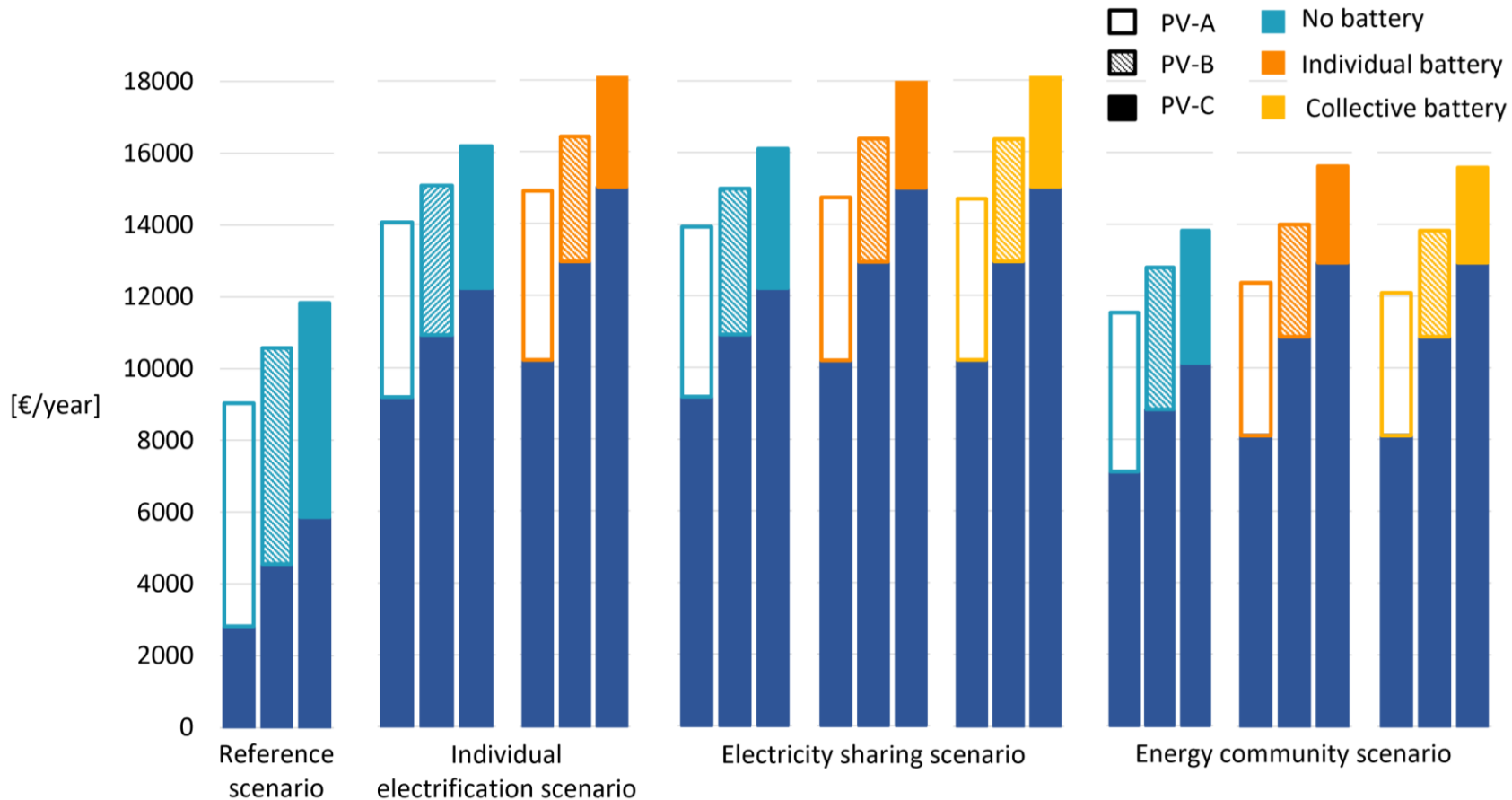


- Batterij heeft geen effect in de winter (100 dagen)
- Nood aan seizoensopslag voor verdere emissiereductie

Energiegemeenschap met collectieve warmtepomp, PV optie B en wel/geen collectieve batterij

Resultaten

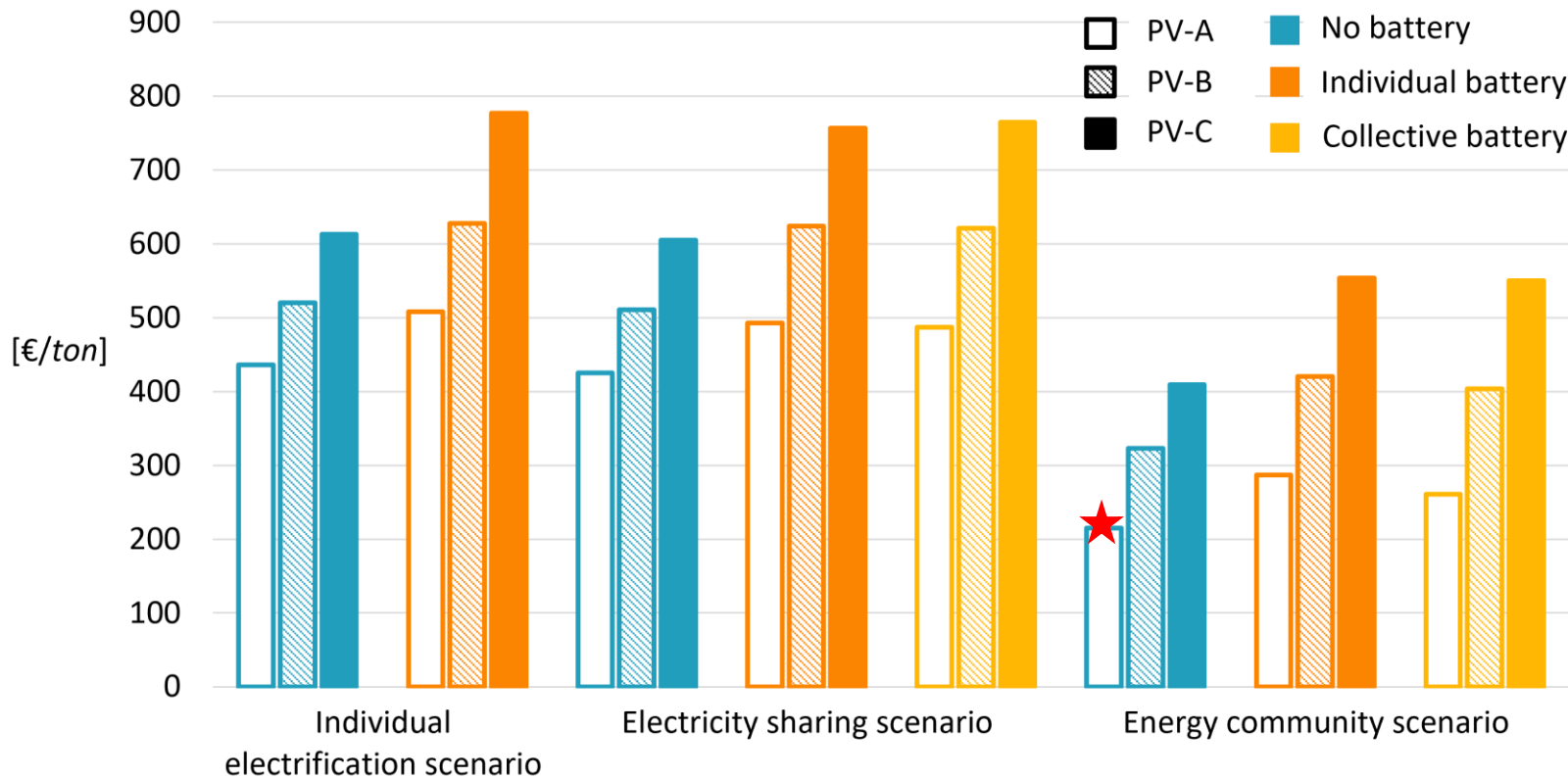
Jaarlijkse totale kosten



- Nadien berekend, niet in optimalisatie
- Potentieel voor investeringskostreductie: collectieve piek is 30% kleiner

Resultaten

Kost voor CO₂-emissiereductie



- Energiegemeenschap met PV – A geeft beste resultaat

→ **215 euro/ton**

- EU ETS: 32 – 80 euro/ton
- EU ETS2 vanaf 2027: 46 euro/ton

Aannames

Operationele kosten

- Gas-elektriciteitsprijsratio

Dynamisch elektriciteitstarief 2021
(mediaan = 251 euro/MWh)

& variabele gasprijs
(mediaan = 57 euro/MWh)

46 euro/MWh → 305 euro/ton

57 euro/MWh → 215 euro/ton

120 euro/MWh → - 113 euro/ton

- Geen injectievergoeding en – compensatie

Investeringskosten

- Discountfactor

3% → 145 euro/ton

7% → 215 euro/ton

15% → 383 euro/ton

- Potentieel optimale dimensionering
- Ideaal, verliesvrij, “goedkoop” warmtenet (< 2400 euro/jaar)
- Kostencurves

Aannames

- België: gebouwtype, geen koeling
 - Koeling kan belang van batterij in zomer verminderen
- Gemiddelde gebouwschil (label C – D)
 - Isolatie verhoogt investeringskost
 - Isolatie vermindert warmtevraag en verhoogt aandeel elektrische apparaten
- 2021: gecorreleerde data, jaarlijkse simulaties
 - 2021 was een zeer nat jaar, met een iets lagere temperatuur ($10,7^{\circ}\text{C}$) dan normaal (11°C)¹
- Perfecte voorspellingen en perfect model
- Emissiereductiekost t.o.v. referentiescenario
 - Plaatsing batterij indien collectieve warmtepomp aanwezig: 5000 euro/ton
- Dynamische modellen

De batterij – een zegen of een vloek?

Batterijen dragen bij tot een beperkte CO₂-emissiereductie

< 0,2 ton/jaar

De hoge investeringskosten wegen niet op tegen de beperkte emissiereductie

**> 80 euro/ton (gas)
≈ 5000 euro/ton (WP)**



Beste resultaten voor energiegemeenschap

215 euro/ton



Haalbaar & betaalbaar, mits juiste stimulansen



Gas vs. elektriciteit
Discountfactor
Kostencurves

Dankwoord

- Financiering van KU Leuven via C2 project “TECHPED” (C24M/21/021)
- Weerdata opgemeten en verzameld door de afdeling Bouwfysica aan de KU Leuven



De batterij – een zegen of een vloek?

voor multivector micro-energiegemeenschappen
met het oog op een koolstofneutrale maatschappij



Department of Mechanical Engineering | KU Leuven
Division of Applied Mechanics and Energy Conversion
Thermal Systems Simulation Research Group

lucas.verleyen@kuleuven.be

www.linkedin.com/in/lucas-verleyen

www.sysi.be





Een **Positive Energy District** (PED) is een clusters van gebouwen in een welomschreven geografische ruimte die een jaarlijks energiesurplus opbrengt én voldoet aan de behoeften van zijn gebruikers.

Een PED reduceert energiegerelateerde klimaatimpact, maximaliseert energie-efficiëntie en biedt flexibiliteitsdiensten aan het externe energienet aan.

Een PED ondersteunt de integratie van gedistribueerde hernieuwbare energiebronnen met behulp van multivectorenergiesystemen en energieopslag.

