

TNO innovation
for life

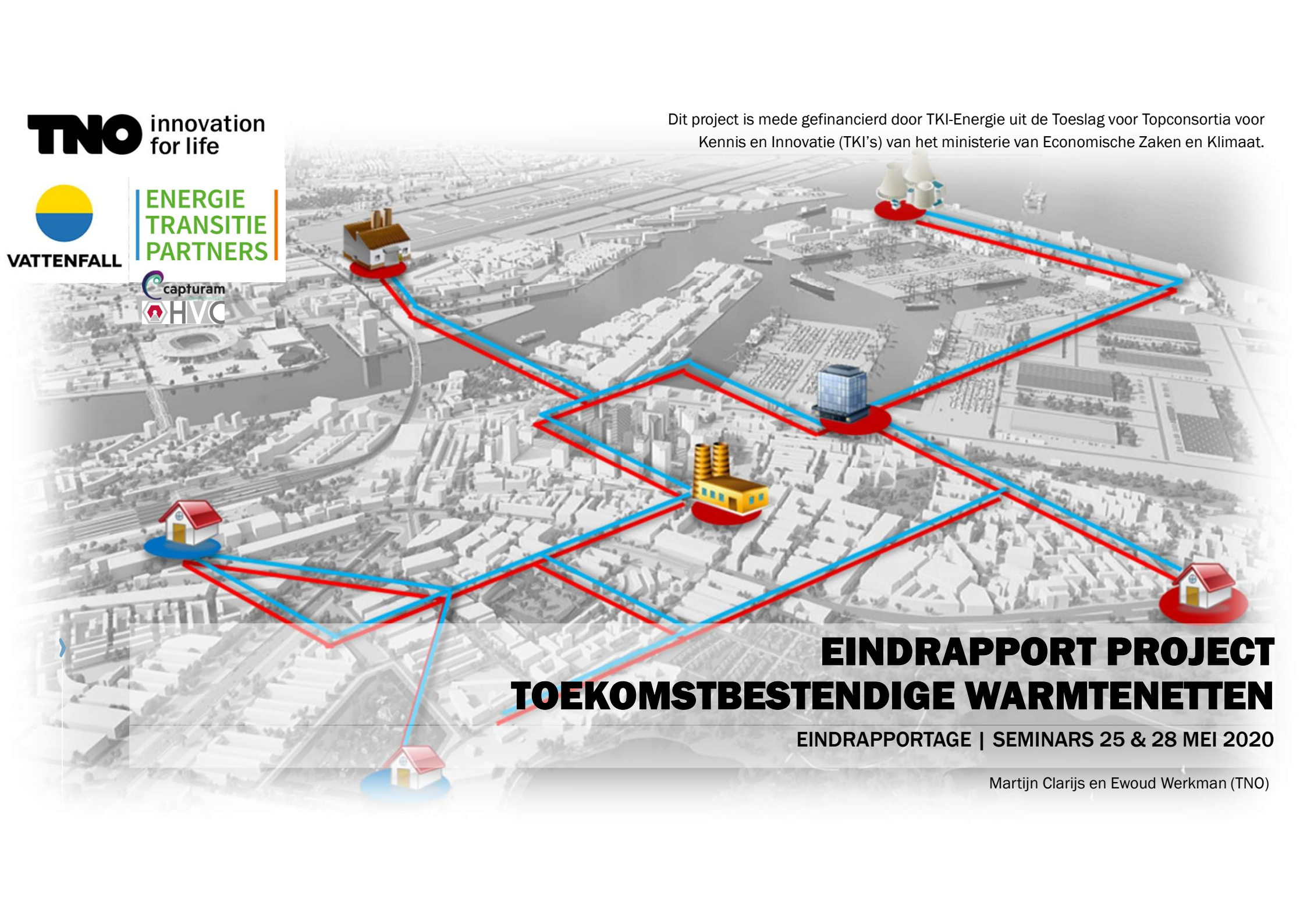


VATTENFALL

ENERGIE
TRANSITIE
PARTNERS



Dit project is mede gefinancierd door TKI-Energie uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.



EINDRAPPORT PROJECT TOEKOMSTBESTENDIGE WARMTENETTEN

EINDRAPPORTAGE | SEMINARS 25 & 28 MEI 2020

Martijn Clarijs en Ewoud Werkman (TNO)

EINDRAPPORT

1. Gegevens project

Projectnummer: 1721402

Projectnummer: Toekomstbestendige Warmtenetten

Penvoerder en medeaanvragers: TNO en Vattenfall & ETP

Projectperiode: 01-12-2018 t/m 01-06-2020

2. Inhoudelijk eindrapport

Er is voor gekozen om deze eindrapportage in Powerpoint format op te leveren vanwege het sterk grafische karakter van de ontwerpmethode (voornaamste deliverable van dit project). Zo worden de resultaten van de ontwerpmethode, alsook de toepassing daarvan op de cases van de partners in het project, opgeleverd op een toegankelijke manier in een direct bruikbare vorm (volgorde van ontwerpstappen en daarvoor benodigde gegevens), zodat ontwerpers van warmtenetten de methode kunnen toepassen. er uitgebreide kennisdisseminatie heeft plaatsgevonden rond de resultaten van dit project. TNO heeft daarnaast de wens om in gesprek te gaan met RVO en TKI Urban Energy en ECW om de ontwerpmethode nog verder onder de aandacht te brengen. Met name de inzet van de methode in WarmingUP is belangrijk en zouden we graag breder onder de aandacht brengen. RVO, TKI Urban Energy en ECW zouden in combinatie met de partners uit het TKI project een gezamenlijke effort kunnen leveren voor het geven van verdere bekendheid aan de ontwerpmethode, haar resultaten en de aansluiting op de Warmtetransitievisies zoals die nu gemaakt worden.

3. Uitvoering van het project

- | | |
|--|---|
| • De problemen (technisch en organisatorisch) die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost | n.v.t. |
| • Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan | n.v.t. |
| • Toelichting op de verschillen tussen de begroting en de werkelijk gemaakte kosten. | n.v.t. |
| • Toelichting wijze van kennisverspreiding | zie bovenstaande tekst en sectie kennisdisseminatie |
| • Toelichting PR project en verdere PR-mogelijkheden | zie bovenstaande tekst en sectie kennisdisseminatie |

› SEMINAR AGENDA

- 9.30 Welkom en Introductie / 10 min Martijn Clarijs (MC/ Projectleider)
- 9.40 Context: Project en Ontwerpmethode /10 min MC
- 9.50 Ontwerpmethode Toekomstbestendige Warmtenetten /10 min MC
- 10.00 Innovaties in de ontwerpmethode /30 min Ewoud Werkman (EW / lead consultant)
- 10.30 Discussie /10 min
- 10.40 Toepassing op cases /30 min
- ☐ Vattenfall/ Amstel III/ ModelPredictiveControl /10 min MC
 - ☐ Energie Transitie Partners/ Warmtesysteem Westland/ Topology optimization /10 min MC
 - ☐ Energie Transitie Partners / Warmtesysteem Westland/ HeatMatcher /10 min EW
- 11.10 Discussie /20 min
- Hoe verder? Aansluiting op WarmingUP programma MCL/EW
- Aanbevelingen vanuit stakeholders



CONTEXT: PROJECT EN ONTWERPMETHODE

AANLEIDING

Een groot deel van de nationale warmtebehoefte kan door collectieve warmtenetten worden geleverd (20-50%). Zo kunnen warmtenetten effectief en grootschalig bijdragen aan het uitfasen van aardgas als verwarmingsbron in de gebouwde omgeving. Tegelijkertijd is het aandeel van netten in de warmtevoorziening in Nederland nu echter slechts ca. 5%. Er zijn nogal wat hindernissen die uitrol van klein- en grootschalige warmtenetwerken in de weg staan: de hoge kosten van de infrastructuur; weerstand tegen het gebruik van industriële restwarmte; een lock-in met lange leveringscontracten, waardoor er geen keuzevrijheid voor de eindgebruiker is; uitsluiting van duurzame elektriciteit voor verwarming, etc. Deze hindernissen hangen voor een groot deel samen met het feit dat het ontwerp voor nieuwe, en uitbreiding van bestaande warmtenetten gedateerd en suboptimaal is.

Klassieke warmtenetten

Klassieke (1^e en 2^e generatie) warmtenetten kennen doorgaans één hoge temperatuur bron (met redelijk voorspelbaar aanbodprofiel) waarmee warmte wordt geleverd aan vele afnemers (met redelijk voorspelbaar afnameprofiel). De structuur van het netwerk is hiërarchisch met een transport- en distributienet, en laat zich goed ontwerpen en ontwikkelen met bestaande tools en technieken, volgens een seriële aanpak van planning-concept-ontwerp-engineering-deployment-operation. In deze ontwikkeling wordt vaak op pieklast en worst-case scenario's ontworpen, wat leidt tot relatief hoge CAPEX en OPEX: grote diameters van leidingen in netwerkinfrastructuur, bijbehorende pompvermogens voor transport en transportverliezen. Met name de hoge assetkosten vormen een belemmering voor een goede business case.

Innovaties voor toekomstbestendige netten

Tegelijkertijd biedt een nieuwe (4^e) generatie warmtenetten (navolgende slide) goede kansen om de voordelen van netten te behouden en de huidige nadelen weg te nemen en/of te minimaliseren. De belangrijkste verdienste is dat de betaalbaarheid (CAPEX/OPEX), de duurzaamheid en de toekomstbestendigheid (door verbeterde flexibiliteit) significant kunnen worden verbeterd. Dat is in het belang van de vele verschillende stakeholders betrokken bij warmtenetwerken. Toch is de adoptie van 4^e generatie warmtenetten in Nederland laag. Een belangrijke reden is dat de ingenieurs- en ontwerp bureaus die netten ontwerpen gebruik maken van ontwerpmethodes, die voor 4^e generatie warmtenetten niet toereikend zijn. Er is een aantal innovaties nodig om een ontwerp methode te ontwikkelen specifiek voor 4^e generatie warmtenetten.

Probleemstelling

Er zijn verschillende redenen waarom de adoptie van 4e generatie warmtenetwerken in Nederland achterblijft:

1. Het ontwerpen van 4e generatie warmtenetwerken wordt gezien als te complex vanwege de vele opties die doorgerekend moeten worden, waarbij het onduidelijk is wat dit oplevert.
2. De uiteindelijke meerwaarde van een 4e generatie warmtenet t.o.v. een traditioneel ontwerp is nog niet goed bekend; een dergelijk warmtenet wordt door exploitanten niet gevraagd en door ontwerpende ingenieursbureaus niet aangeboden. Er zijn dus ook geen toegankelijke evaluatiekaders om de voor/nadelen van deze netten objectief te beoordelen.
3. Bij de huidige business cases voor met name de grotere (regionale) warmtenetten zet men vaak in op financiering van de onrendabele top uit andere bronnen (bijv. 'socialiseren' van deze kosten), in plaats van minimalisatie van CAPEX en OPEX door een innovatief ontwerp; er is dus een incentive nodig voor bouwers en exploitanten van een netwerk om dit te veranderen.
4. Een weerstand tegen warmtenetten bij de consument/afnemer. Bestaande traditionele warmtenetten worden vaak geëxploiteerd door één partij, waardoor er geen keuzevrijheid van aanbieder is, noch een prijsdrukkend effect door concurrentie.

4^E GENERATIE VS. TOEKOMSTBESTENDIG

Uiteindelijk is de term 4e generatie warmtenetten een label dat staat voor een verzameling van kenmerken (zie navolgende slide). Omdat we liever praten over wat dat op kan leveren, geven we de voorkeur aan de term toekomstbestendige netten. Hieronder verstaan we een warmtenet dat zo goed mogelijk voldoet aan de belangen van haar stakeholders. We onderscheiden daarbij de volgende belangen : **betaalbaar, duurzaam en flexibel**.

Betaalbaarheid: Voor producenten en leveranciers: het totaal van kosten van productie, transport en levering van warmte, met inbegrip van zowel de investeringskosten als de operationele kosten. Voor stakeholders aan de vraagkant kan betaalbaarheid breed worden geïnterpreteerd.

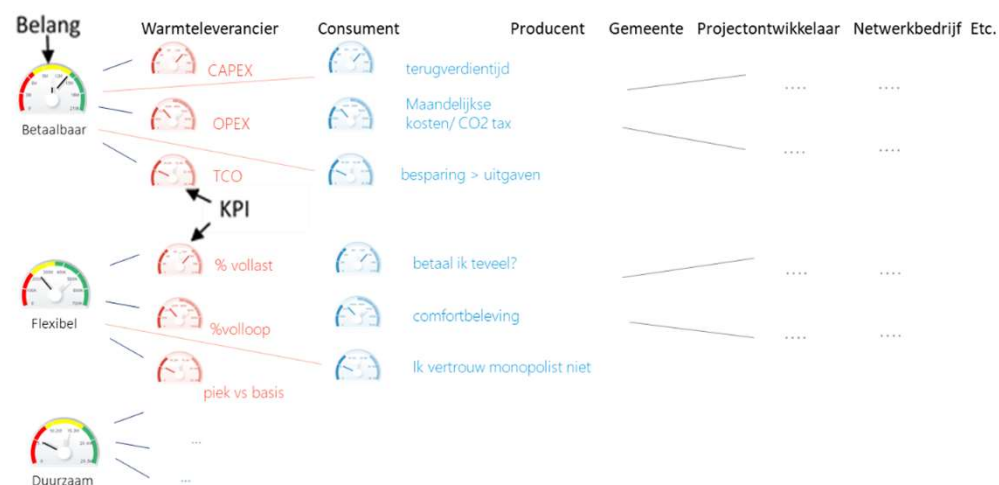
Duurzaamheid: de totale jaarlijkse CO2-emissie van een operationeel warmtenet, van productie t/m consumptie van warmte.

Flexibiliteit: de aanpasbaarheid van verschillende aspecten (techniek, prijs, markt, governance, etc) van een warmtenet aan toekomst-scenario's, om te borgen dat een warmtenet niet alleen betaalbaar en duurzaam is, maar ook blijft.

De belangen worden zoveel mogelijk 'meetbaar' gemaakt aan de hand van Key Performance Indicators (KPI's), die stakeholder-afhankelijk zijn.

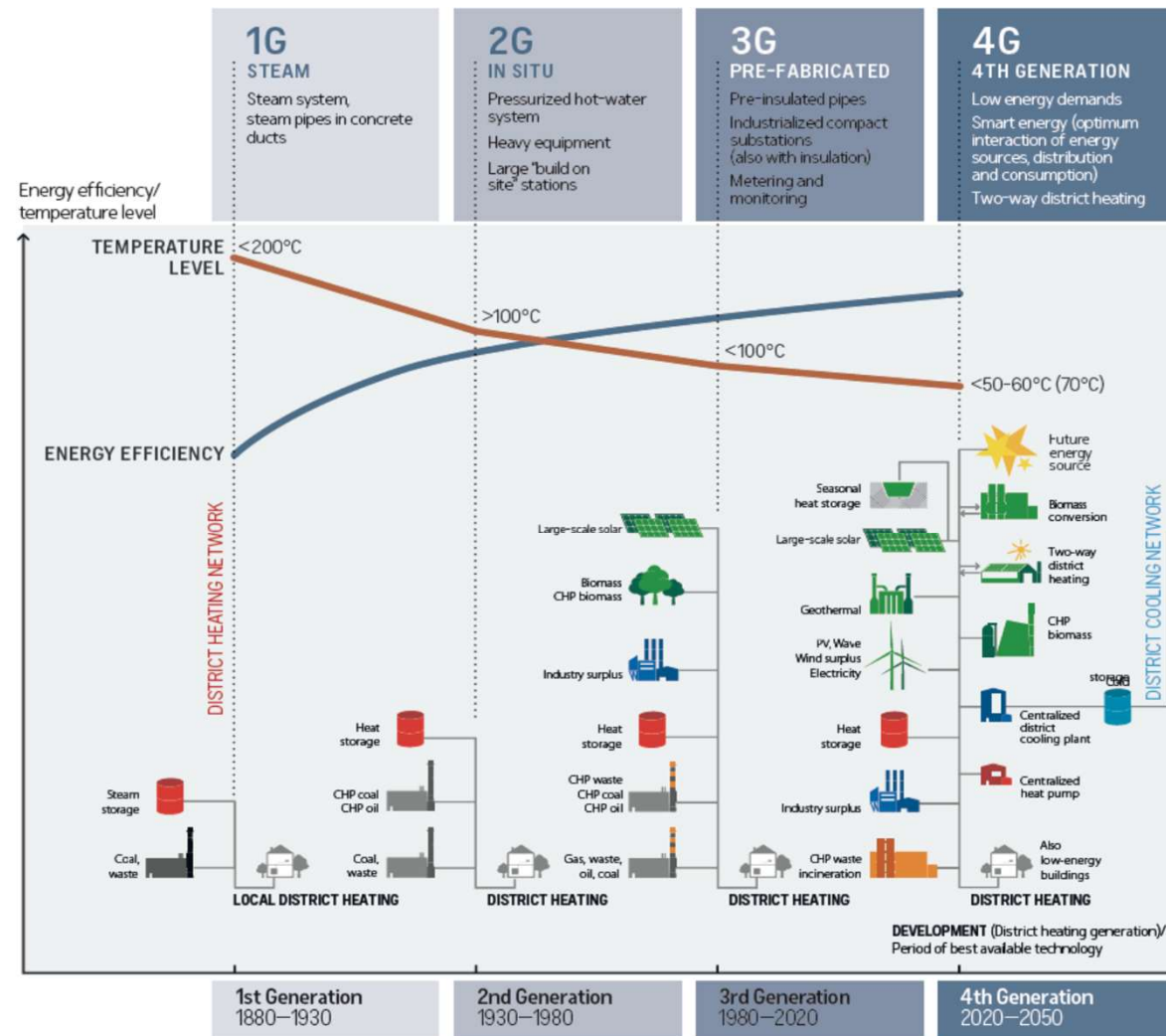
De belangen Betrouwbaarheid en Rechtvaardigheid worden toegevoegd om ruimte te geven voor het inbrengen van randvoorwaarden.

Deze semantiek en indeling wordt in het project gebruikt om op objectieve wijze de belangen van stakeholders te kunnen vergelijken (zie navolgende slides over KPI model).



TOEKOMSTIGE WARMTENETWERKEN: DE 4^E GENERATIE

- Efficiënte distributie bij **lage temperaturen**
- Coördinatie van **meerdere decentrale bronnen** met **onvoorspelbare warmtelevering**
- Integratie van bronnen van **restwarmte en duurzame (omgevings)warmte**
- Grotere rol voor **thermische (seizoens)opslag**
- Integratie met **andere energie-infrastructuren** (electriciteit, koeling), zowel direct (conversie) als indirect (gekoppelde markten)
- Slimme netten**, met name in de **aansturing** en de mogelijkheid om **flexibiliteit** in aanbod, opslag of vraag te benutten
- Het netwerk is open** voor meerdere aanbieders om warmte aan te leveren



Bron: Lund, H. et al. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy. 68.

CONTEXT: PROJECT

Dit project wil bijdragen aan opschaling van het aantal 4^e generatie of toekomstbestendige warmtenetwerken in Nederland door het formuleren en verspreiden van een toegankelijke, kwantitatieve ontwerpmethodologie hiervoor. Deze ontwerpmethodologie moet helpen de huidige status quo te doorbreken en wordt ontwikkeld aan de hand van het ontwerp van [2 praktijkcases](#).



	Warmtesysteem Westland / ETP	Amsterdam Zuid-Oost / Nuon
Maatschappelijke sector	Glastuinbouw	Gebouwde omgeving
Type warmtebron	HT warmte/geothermie	LT warmte/datacenters
Type warmtenet	Bestaand/uitbreiding	Nieuw

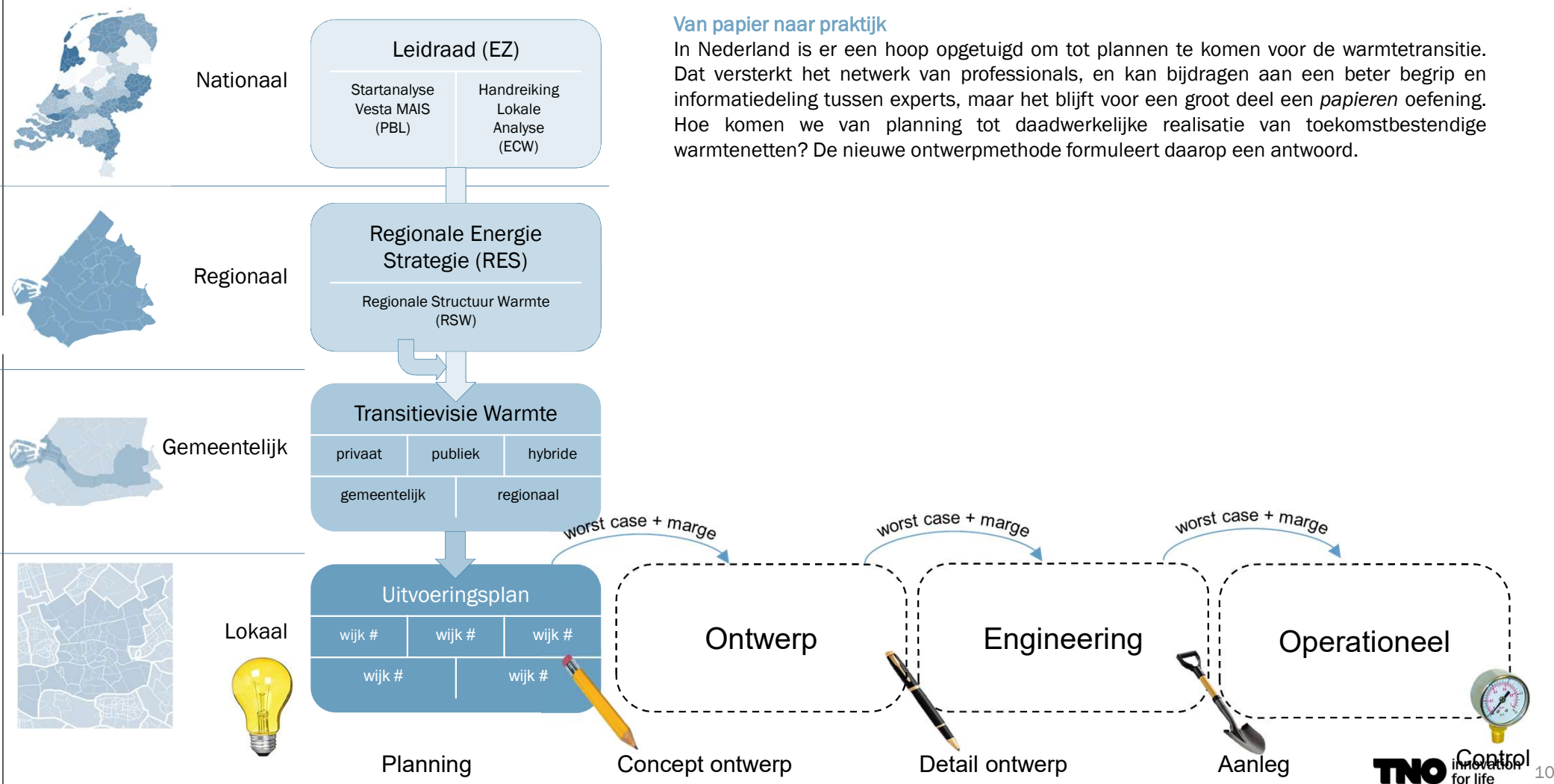
RESULTATEN

Project resultaat	Bijdrage aan projectdoel	Gebruik opgedane kennis
1. Toegankelijke, kwantitatieve ontwerpmethode (TRL 1 → TRL 5)	Hoofddoel	Direct toepasbaar voor ingenieursbureaus en netbeheerders in optimalisatie van netontwerp naar modernste stand van zaken (toekomstbestendig netwerk)
2. Samenvatting van resultaten integratie onderliggende technologieën (TRL 3 → TRL 5)	Samenvatting: resultaten integratie onderliggende technologieën voor optimalisatie	Voortgang in internationale state-of-art met betrekking tot agent-based control van warmtenetten. Door gestandaardiseerde ESDL-interface te gebruiken met elke andere simulator compatibel met ESDL. Een schaalbare, toepasbare methodiek voor ingenieursbureaus en academia.
3. Geoptimaliseerd ontwerp (2x) per praktijkcasus	Toegepaste optimalisatie van concrete warmtenetwerk ontwerpen (1x per case). Kwantificering van voordeel (CAPEX, OPEX) ten opzichte van traditioneel warmtenet.	Direct toepasbaar voor ingenieursbureaus en in het verder ontwerp van de warmtenetwerken van de twee betrokken casussen. Daarnaast te gebruiken als voorbeeld in toekomstige evaluaties door ingenieursbureaus en warmtenetwerk beheerders.
4. Rapportage en seminars over ontwerpmethode	Vergroten van impact van het hoofddoel (ontwerpmethode)	Verhogen kennisniveau bij alle betrokkenen in warmteketen: ingenieursbureaus, netbeheerders, warmte aanbieders en consumenten. Verspreiding van ontwerpmethode en generieke resultaten naar netbeheerders en ingenieursbureaus binnen en buiten projectconsortium, voor toepassing in nieuwe warmtenetten en uitbereiding van bestaande warmtenetten.

CONTEXT ONTWERPMETHODE

Van papier naar praktijk

In Nederland is er een hoop opgetuigd om tot plannen te komen voor de warmtetransitie. Dat versterkt het netwerk van professionals, en kan bijdragen aan een beter begrip en informatiedeling tussen experts, maar het blijft voor een groot deel een *papieren* oefening. Hoe komen we van planning tot daadwerkelijke realisatie van toekomstbestendige warmtenetten? De nieuwe ontwerpmethode formuleert daarop een antwoord.





ONTWERPMETHODE TOEKOMSTBESTENDIGE WARMTENETTEN

ONTWERPMETHODE TOEKOMSTBESTENDIGE WARMTENETTEN

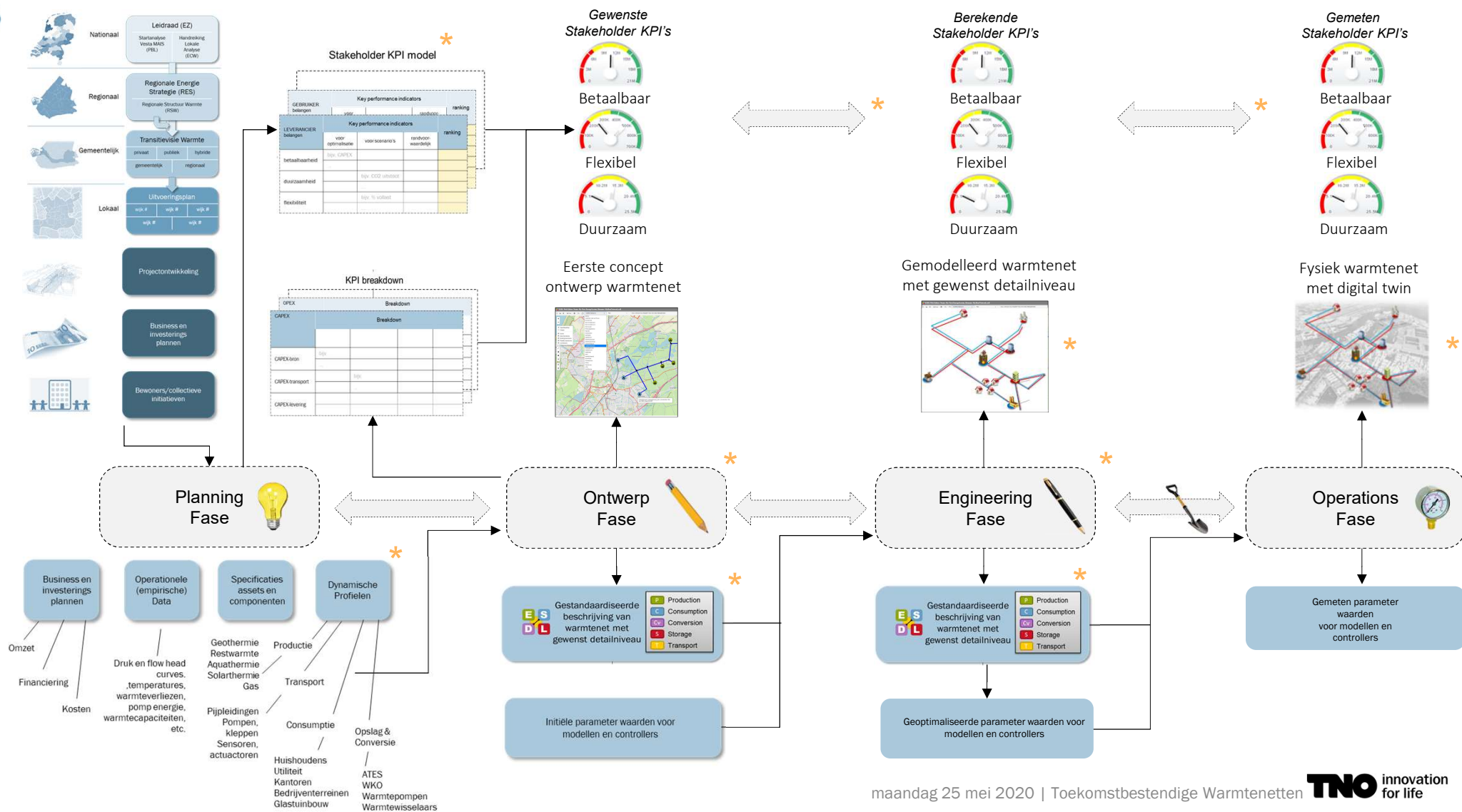
› In dit project is een ontwerpmethode voor toekomstbestendige warmtenetten ontwikkeld. Het is met nadruk een methode en geen methodiek, m.a.w. een recept, dat uitlegt wat de te doorlopen stappen zijn en wat daarvoor nodig is. De tools en technieken die daarbij ingezet kunnen worden, zijn beschikbaar op de markt of worden ontwikkeld, o.a. bij TNO. In het brede MMIP4 programma 'WarmingUP' wordt in Thema 1 (Warmtenetten en Systeemintegratie) een complete Toolkit ontwikkeld waarmee de voorgestelde ontwerpmethode door iedereen kan worden uitgevoerd van A tot Z. Waar dit TKI project het recept beschrijft, levert WarmingUP de potten en pannen.

De ontwerpmethode bestaat uit verschillende fases: Planning, Ontwerp, Engineering en Operations, die in de praktijk iteratief worden doorlopen. In deze rapportage worden deze fases aan de hand van gestippelde blokken beschreven op basis van invoer en uitvoer van informatie en data, en door innovaties die zijn ingebracht in de ontwerpmethode. De innovaties zijn gemarkeerd met oranje * en zijn erop gericht om het ontwerp van het warmtenet toekomstbestendiger te maken, in de betekenis zoals beschreven in de voorgaande slides. De mate waarin dat lukt is voor een specifiek ontwerp aan de hand van het KPI-model te bepalen.

De fases in de ontwerpmethode worden met meer detail beschreven in de navolgende slides. De dubbele pijlen geven staan voor de mogelijkheid dat fases ook van rechts naar links verlopen door nieuwe inzichten tijdens het ontwerp-proces.

Het figuur met ontwerpmethode op de navolgende slide geeft een overzicht van alle vier fases en hun samenhang, in de daaropvolgende slides worden de fases en innovaties verder toegelicht.

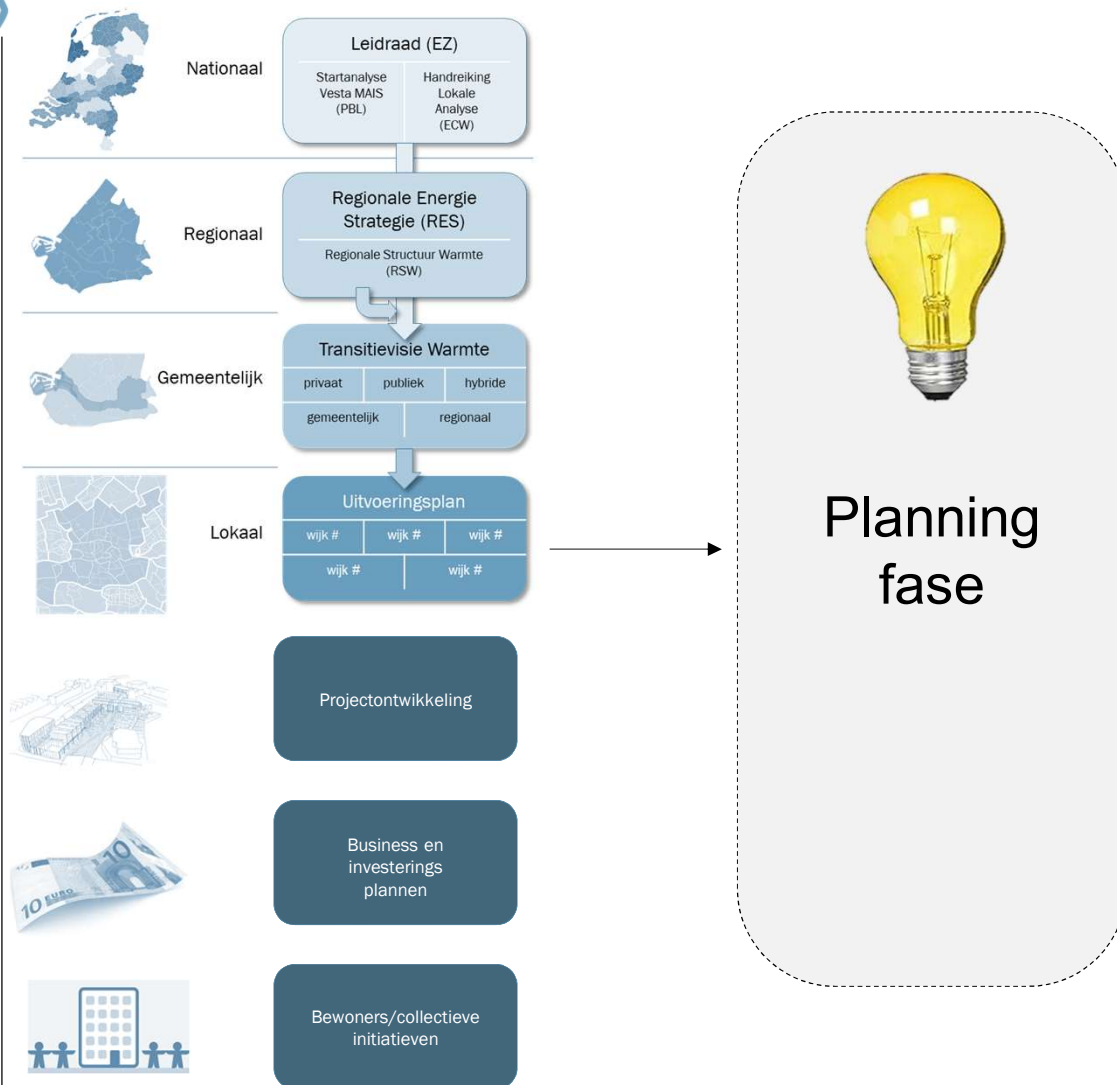
ONTWERPMETHODE TOEKOMSTBESTENDIGE WARMTENETTEN





FASES EN INNOVATIES IN DE ONTWERPMETHODE

INNOVATIES -- PLANNING



* =innovaties

Stakeholder KPI model*

GEBRUIKER belangen	Key performance indicators			ranking
	voor		randvoor-	
LEVERANCIER belangen	voor optimalisatie	voor scenario's	waardelijk	ranking
betaalbaarheid	bijv. CAPEX			
	...			
duurzaamheid		bijv. CO2 uitstoot		
		...		
flexibiliteit		bijv. % vollast		
		...		

Objectief maken van belangen van stakeholders

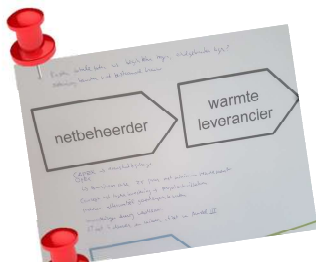
De planning fase kenmerkt zich door veel informatie en ideeën en de natuurlijke neiging is om dat direct te vertalen naar eerste ontwerpschetsen en een technische aanpak. Wij stellen voor om daar een atp aan vooraf te lagen gaan: TNO heeft rond de 2 casussen in dit project intake-sessies gehouden, en aan de hand daarvan een uniform Stakeholder KPI model ontwikkeld, om de belangen van stakeholders te bepalen aan de hand van de aspecten die bij hen prevaleren. Dat wordt gekwantificeerd door een ranking van de belangrijkste KPI's uit te vragen. Deze KPI's geven sturing aan het ontwerpproces van het warmtenet.

INNOVATIES – PLANNING – KPI MODEL

Intake-sessies

Data verwerking

KPI model



BETAALBAAR

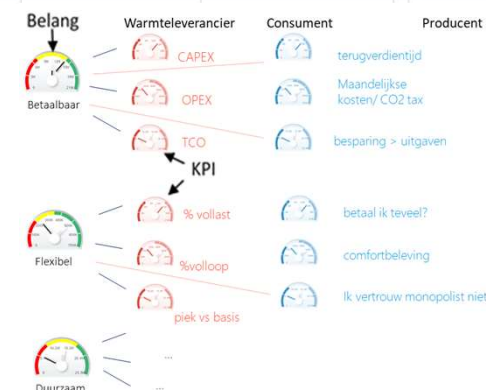
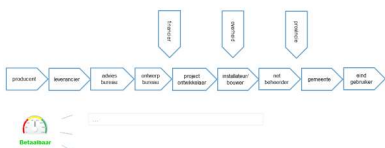
NETBEHEERDER / LEVERANCIER

1. CAPEX → Aansluitbijdrage
2. OPEX → Business case 25 jaar met minimum rendement
3. Meer klanten in de toekomst betekent minder warmte kosten (CAPEX en deels OPEX wordt over meerdere klanten verdeeld) en meer winst.
4. Kosten totale keten vs. begin van de keten hoger, waardoor eindgebruiker lager?
5. Rekening houden met bestaande bouw
6. Concept met lagere investering → Projectontwikkelaar
7. Investeren terug verdienen
8. Proberen alternatief goedkoper te maken
9. LT net is duurder en minder afzet in Amstel III

Analyse belangen & KPI's NUON.xlsx - Saving...										
Inzet huidige assets										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			kan via KPI in ontwerp gebruikt worden	kan in sensitivity analysis gebruikt worden	buiten scope van ontwerp methode	randvoorwaardelijk	Informatie	KPI term	statement	
2										
3										
4			1							
5			2	x						
6			3	x						
7			4							
8			5							
9			6							
10			7							
11			8	x						
12			9							
13										
14										
15			1	x						
16			2	x						
17			3	x						
18			4							
19			5	x						
20			6	x						
21			7	x						
22			8							
23			9							
24										
25										
26			1							
27			2							
28			3							
29			4							
30			5							
31			6							
32			7							
33			8							
34			9							
35										
36										
37										
38										
39										

Analyse belangen & KPI's NUON.xlsx										
K35										
	A	B	D	E	F	G	H	I	J	K
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										

BELANG: BETAALBAARHEID



maandag 25 mei 2020 | Toekomstbestendige Warmtenetten

TNO innovation for life

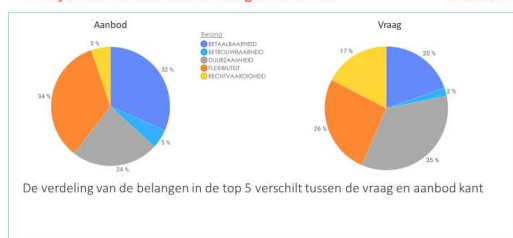
16

INNOVATIES – PLANNING – KPI MODEL – WARMINGUP



- Amsterdam.xlsx
- AreaWonen.xlsx
- Capturam.xlsx
- EBN.xlsx
- Eneco.xlsx
- Ennatuurlijk.xlsx
- Expertise Centrum Warmte.xlsx
- Firan.xlsx
- Helmond.xlsx
- HVC.xlsx
- Nijmegen.xlsx
- RES regio HollandRijnland.xlsx
- Rotterdam.xlsx
- Stichting Jong Warmtenetwerk.xlsx
- SVP.xlsx
- Vattenfall.xlsx
- Zwolle.xlsx

Partijen aan aanbod- versus vraagkant warmte



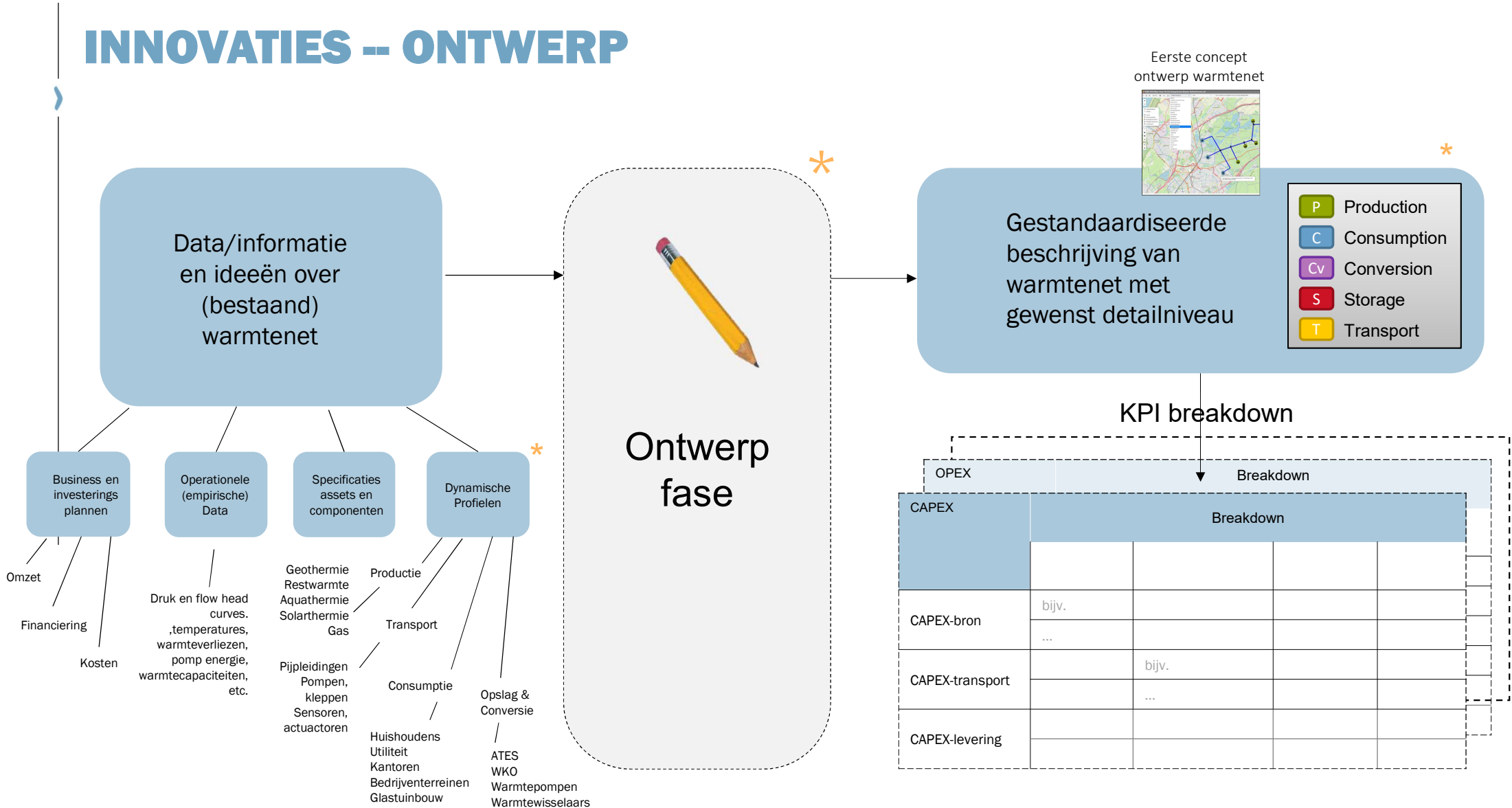
AutoSave

On

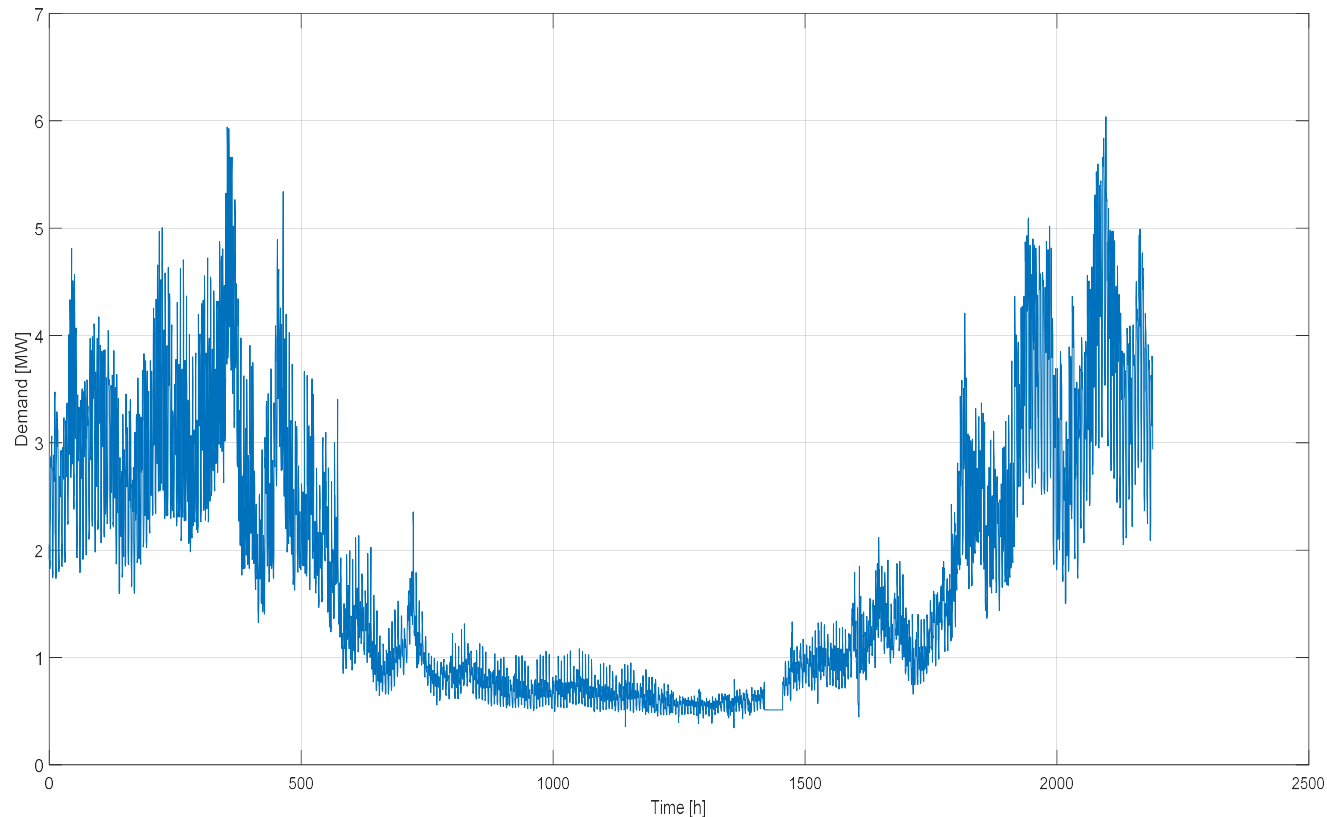
Verdere uitwerking in WarmingUP programma

Het KPI model zoals ontwikkeld in het TKI project Toekomstbestendige Warmtenetten, krijgt verdere uitwerking en implementatie in het nu gestarte MMIP4 programma 'WarmingUP'. Inmiddels is aan meerdere organisaties gevraagd om aan de hand van het KPI model hun belangen betaalbaarheid, duurzaamheid en flexibiliteit te beschrijven in de context van ontwikkeling van warmtenetten.

INNOVATIES -- ONTWERP



INNOVATIES – ONTWERP – DYNAMISCHE PROFIELEN

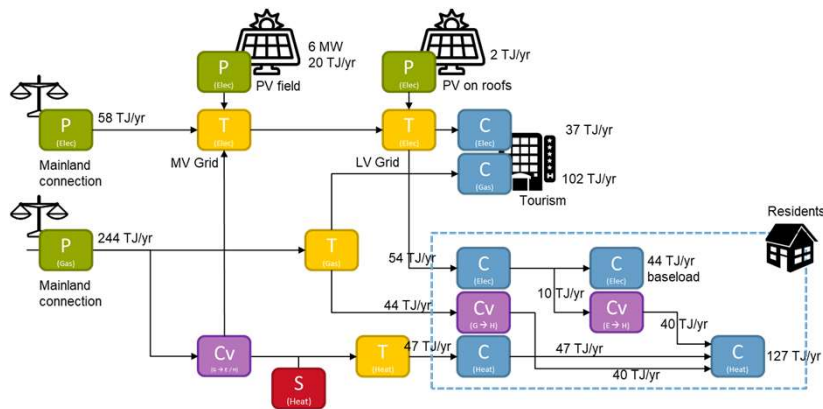


- ☐ Tijdsafhankelijke profielen voor warmtevraag (en aanbod/opslag) maken het mogelijk het warmtesysteem dynamisch te modelleren.
- ☐ Controllers kunnen dan vraag-aanbod matching realiseren tegen lagere kosten van primaire energie (OPEX).
- ☐ Flexibiliteit in tijd kan worden benut aan de hand van opslag
- ☐ De dynamiek van de flow geeft inzicht in hoe de pijpleidingen matchen met de flow velocities.

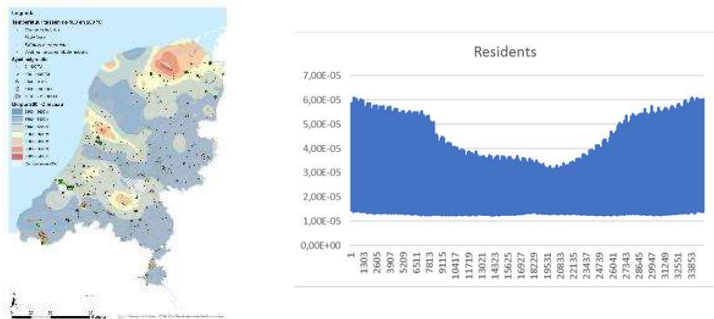
INNOVATIES – ONTWERP – ESDL

Energy System Description Language: Een open-source taal (woordenboek en grammatica) waarmee je op een uniforme manier alle relevante informatie voor de energietransitie kunt beschrijven. ESDL koppelt de verschillende fases digitaal aan elkaar.

Beschrijft componenten van het energie-systeem



Beschrijft profielen en potentieel



Meer informatie: <https://energytransition.gitbook.io/esdl/>

Beschrijft geografische informatie



Beschrijft de oplossingsruimte

Technology Factsheets		
PV installation 10 panels 2700 Wp € 3640,-	Heatpump Air/water 3,0 kW €2677,-	Windturbine Hor. Windgen. 2kW 48V 96VAC \$1209,-

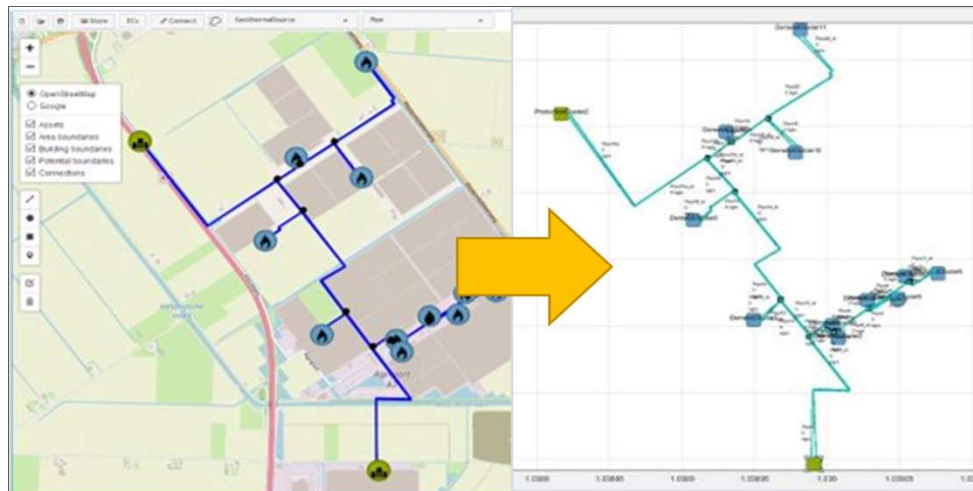


P	Production
C	Consumption
Cv	Conversion
S	Storage
T	Transport

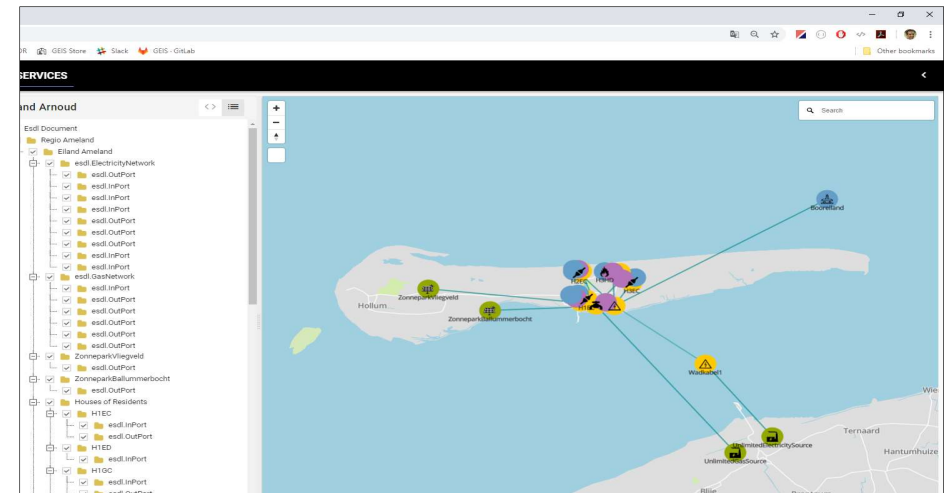
INNOVATIES – ONTWERP – MAP EDITOR

MAP EDITOR

CHESS



Ook voor geïntegreerde energie systeem



Tekenen eerste concept ontwerp van warmtenetten op basis van verschillende geografische informatiebronnen:

- ☐ Locatie en/of geschiktheid bronnen, consumptie, opslag, transport, distributie
- ☐ Gegevens gebouwde omgeving/ industrie/ glastuinbouw
- ☐ Mogelijkheden/beperkingen ruimtelijke ordening
- ☐ Andere componenten/commodities energiesysteem
- ☐ Direct compatibel met warmtenetsimulator CHES

maandag 25 mei 2020 | Toekomstbestendige Warmtenetten

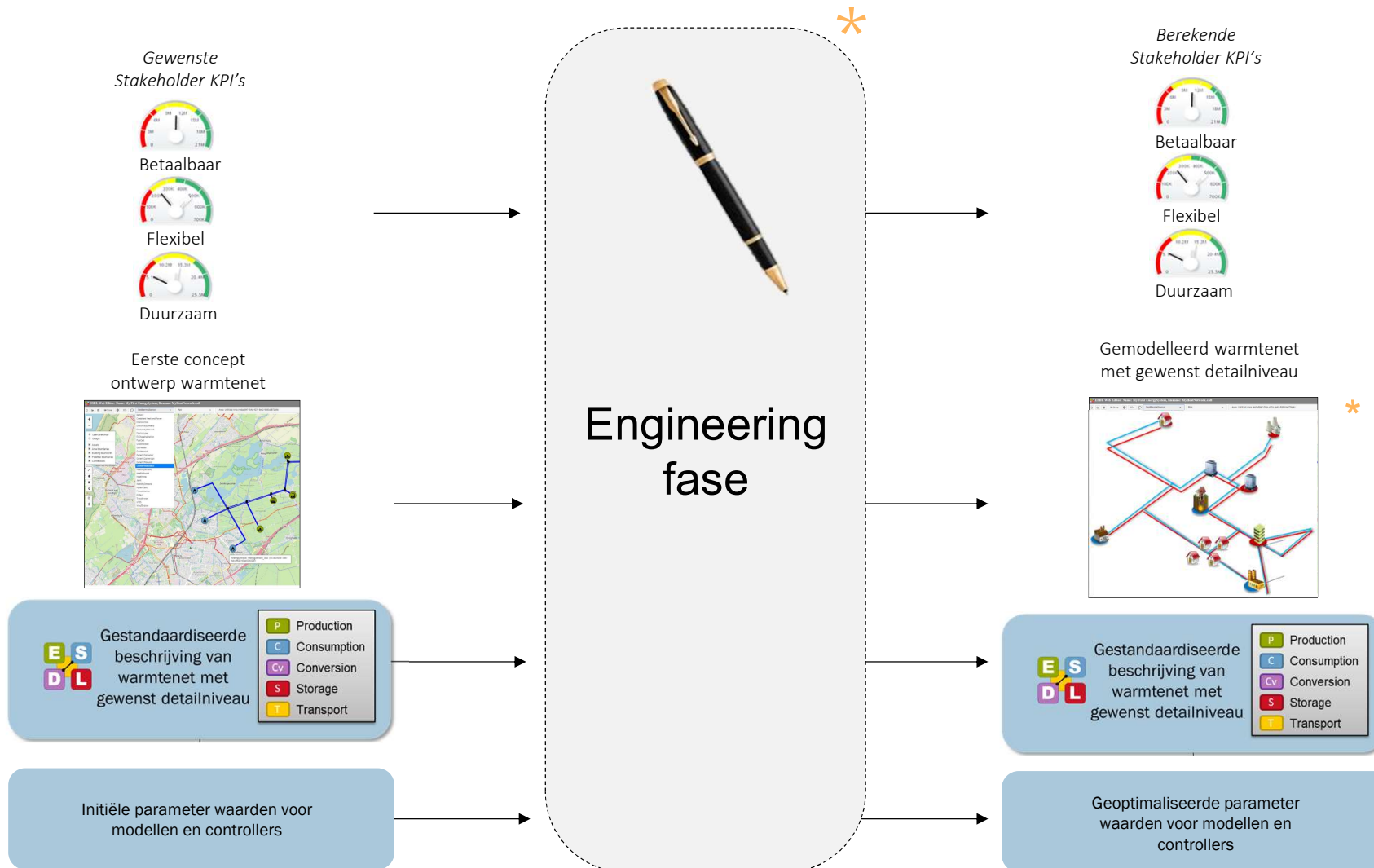
TNO innovation
for life

21

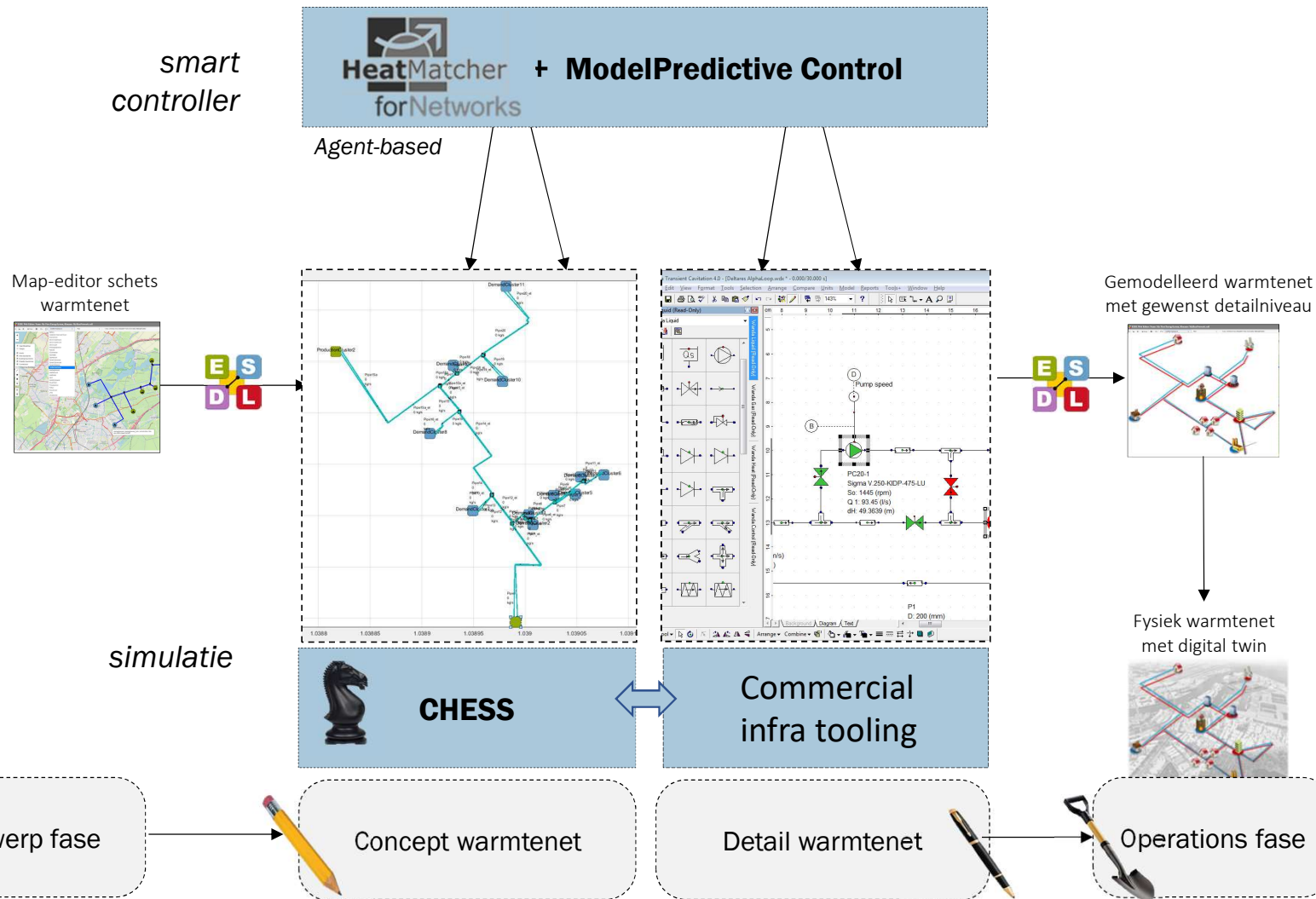
ENERGY DATA REPOSITORY

De 'kentallen' voor het energiesysteem van Nederland

INNOVATIES -- ENGINEERING



INNOVATIES – ENGINEERING – CO-SIMULATIE EN CONTROL

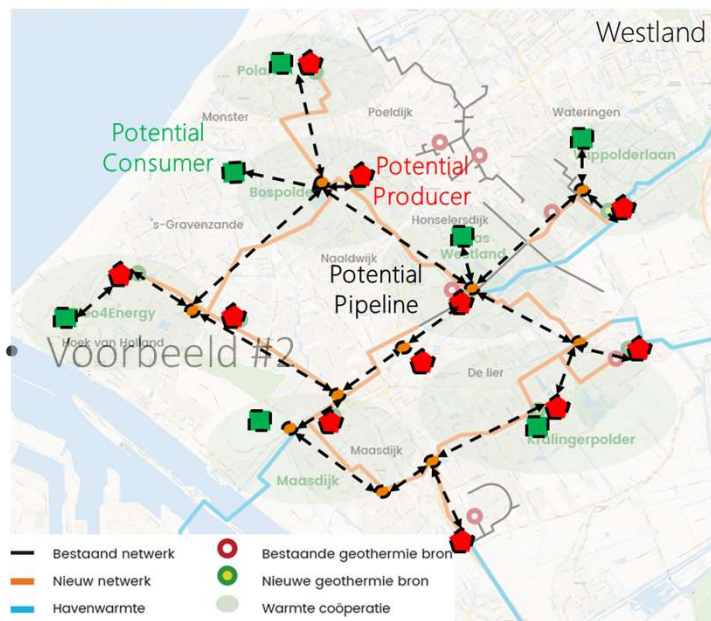


- ❑ Simulatie-modellen die thermische- en flowvergelijkingen oplossen
- ❑ Detail inzicht in fysisch transport leidt tot andere dimensionering assets
- ❑ CHES is conceptueel ontwerp, er zijn verschillende commerciële infra tools voor detail ontwerp
- ❑ Slimme controllers kunnen optimaliseren op OPEX, waarmee ontwerpen op TCO mogelijk wordt
- ❑ Ontwerpen warmtenet zijn uitwisselbaar via **ESDL**

INNOVATIES – ENGINEERING – TOPOLOGIE OPTIMIZER

Warmtesysteem Westland

How to best connect?

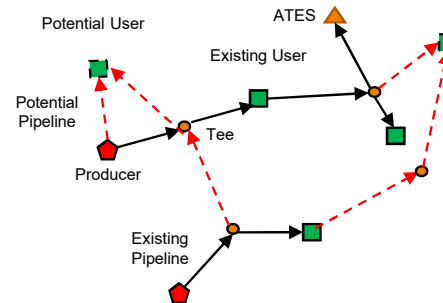


Ontleend aan de olie- en gaswinning

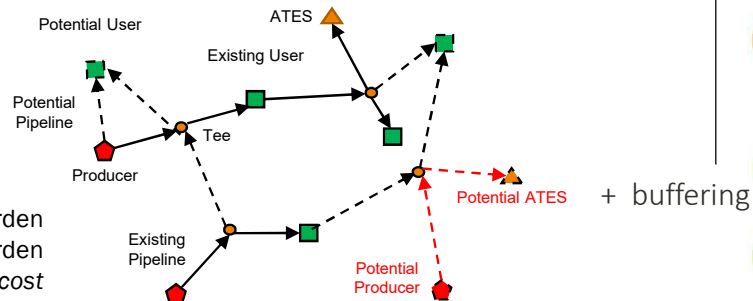
Topologie optimalisatie maakt gebruik van algoritmen die al routinematig worden toegepast in de olie- en gaswinning, maar die door TNO aangepast moesten worden voor inzet in de warmtesector. De routing van pijpleiding is de belangrijkste cost driver bij de aanleg van warmtenetten en kan geoptimaliseerd worden aan de hand van verschillende toekomst-scenario's, onzekerheden en op basis van de daadwerkelijke flow (velocities) van water in de pijpleidingen, te bepalen door bijv. dynamische simulaties tijdens de ontwerpfase.

Topologie optimalisatie

Hoe uit te breiden?



Wat voor scenario's zijn denkbaar?



Belang en KPI's

- Betaalbaarheid**
 - CAPEX
 - OPEX
 - TCO
- Flexibiliteit**
 - Bron & net belasting
 - Robuustheid ontwerp - Bron ontwikkeling
- + buffering**
 - Bron & net belasting
 - Robuustheid ontwerp - Bron ontwikkeling

INNOVATIES VOOR ONTWERPMETHODE (SAMENVATTING)



Planning Fase

Stakeholder KPI model



GEBRUIKER belangen	Key performance indicators			ranking
	voor	scenario's	randvoor- waardelijk	
LEVERANCIER belangen	Key performance indicators			ranking
	voor optimalisatie	voor scenario's	randvoor- waardelijk	
	betaalbaarheid	bijv. CAPEX		
	duurzaamheid	bijv. CO2 uitstoot		
flexibiliteit		bijv. % vollost		

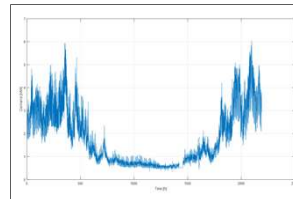
Multiplier-effect van innovaties

Voorgaande slides beschrijven de innovaties die in de fasering van ontwerpmethode zijn ingebracht. Bij gecombineerd gebruik van deze innovaties valt een multiplier effect te verwachten waardoor de verbetering van de KPI-score voor een gekozen ontwerp van warmtenet hoger kan uitvallen dan bij één enkele innovatie. Zo zal topologie-optimalisatie in combinatie met Model-Predictive Control voor aansturen van seizoensbuffering de CAPEX van een geothermie-net verder kunnen verlagen.



Ontwerp Fase

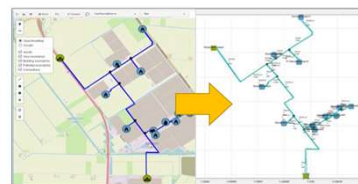
Dynamisch modelleren



Gestandaardiseerde beschrijving warmtenet

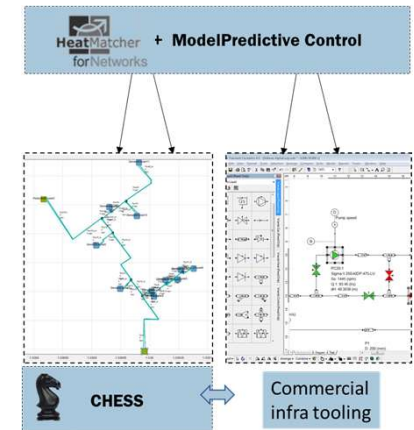


Map editor

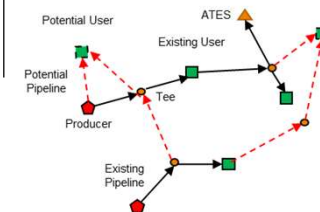


Engineering Fase

Co-simulatie en smart control



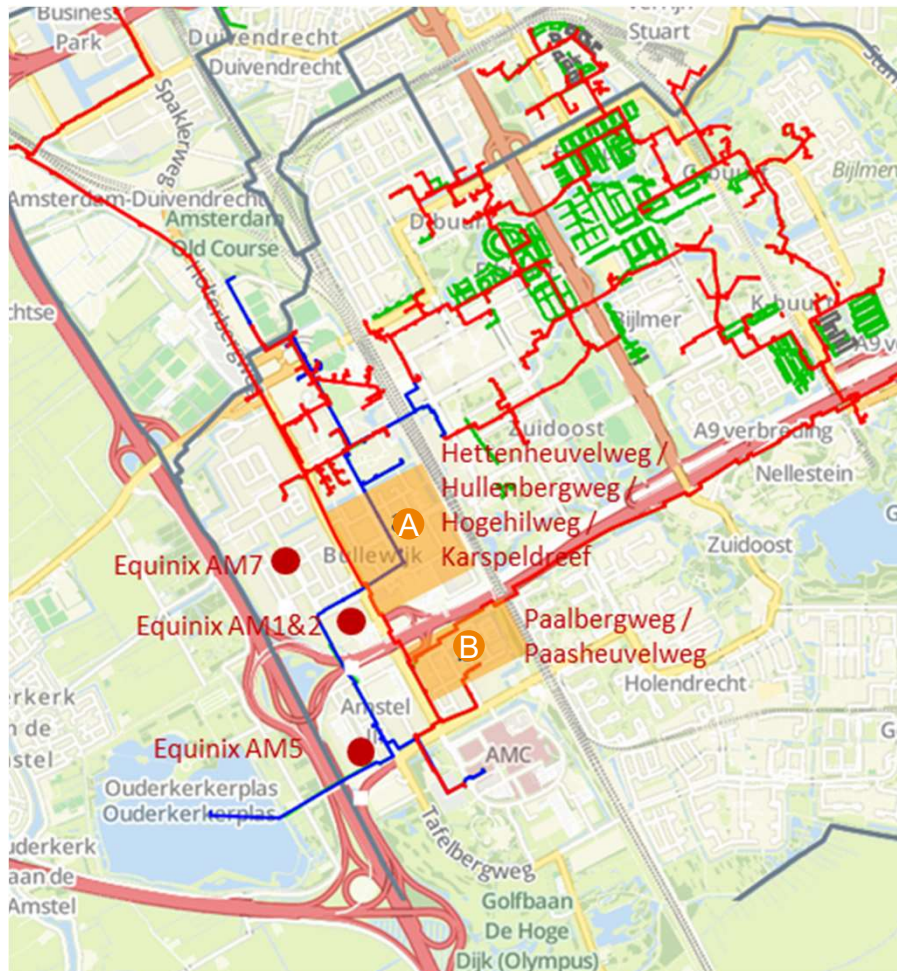
Topologie optimalisatie





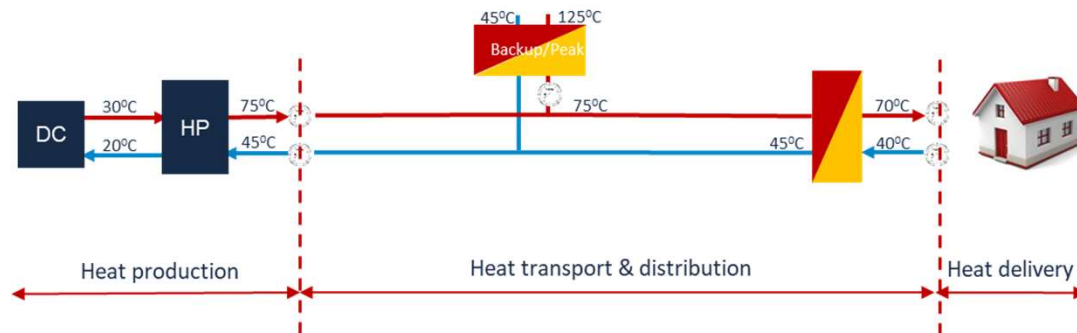
TOEPASSING OP CASES

VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL

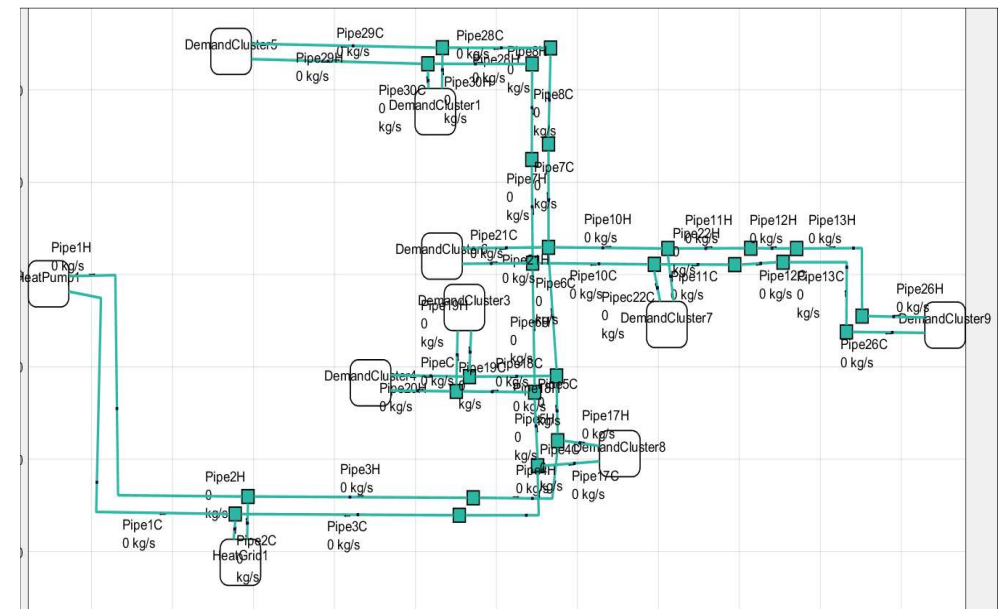
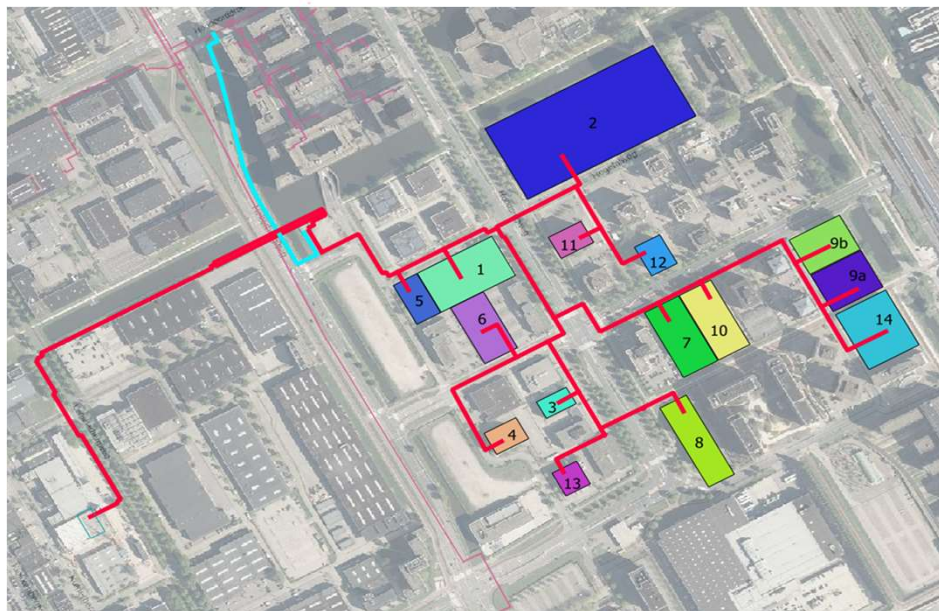


- ❑ De kantorenstrook Amstel III is divided into two lots A and B.
- ❑ Nuon Heat HT network (red) and cooling network (blue) run right through the area.
- ❑ For the project Kantorenstrook Amstel III we focus first on reusing of the waste heat of Equinix AM7 and feeding it directly to lot A / plots:
 - Hettenheuvelweg
 - Hullenbergweg
 - Hogehilweg
 - Karspeldreef
- ❑ On longer term it's the intension to reuse the waste heat of AM5 for feeding Lot B / plots:
 - Paalbergweg
 - Paasheuvelweg

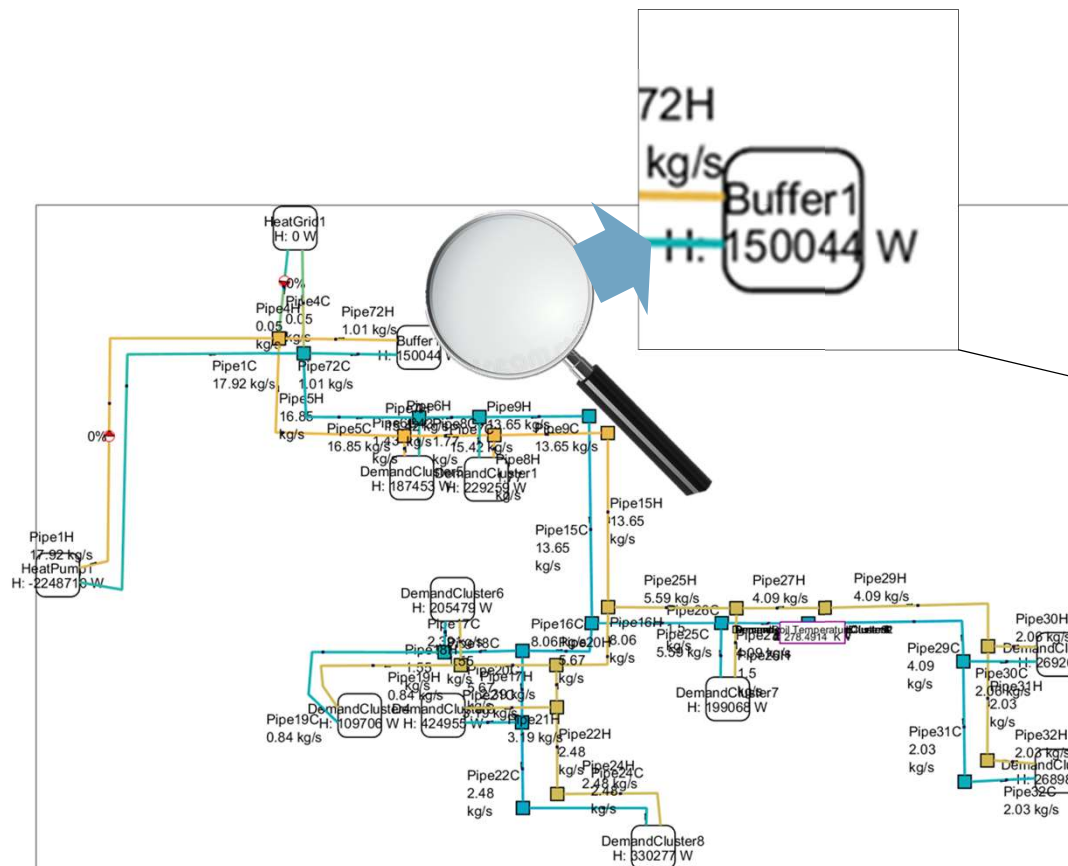
VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL



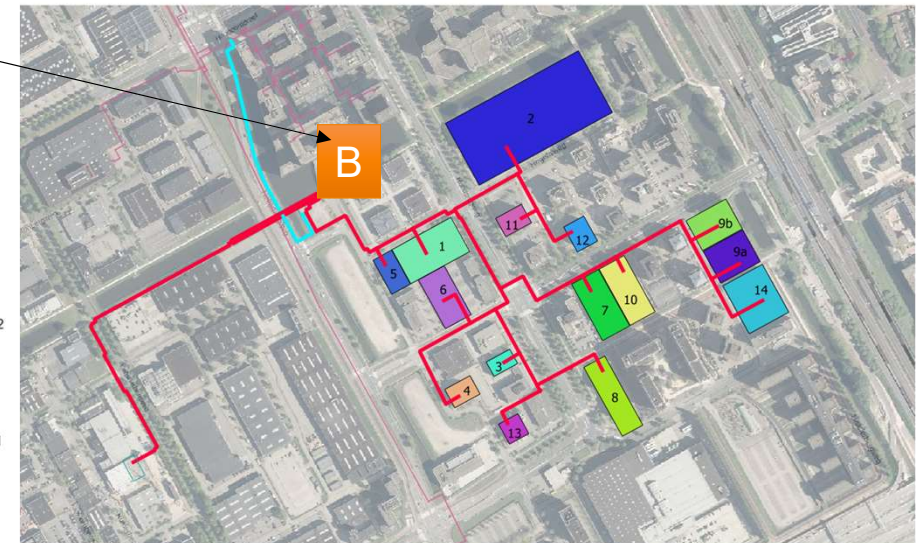
MT-Concept



VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL



- ☐ Buffering of heat at the WOS, good idea?
- ☐ Simulate and control in CHES
- ☐ Identify benefits



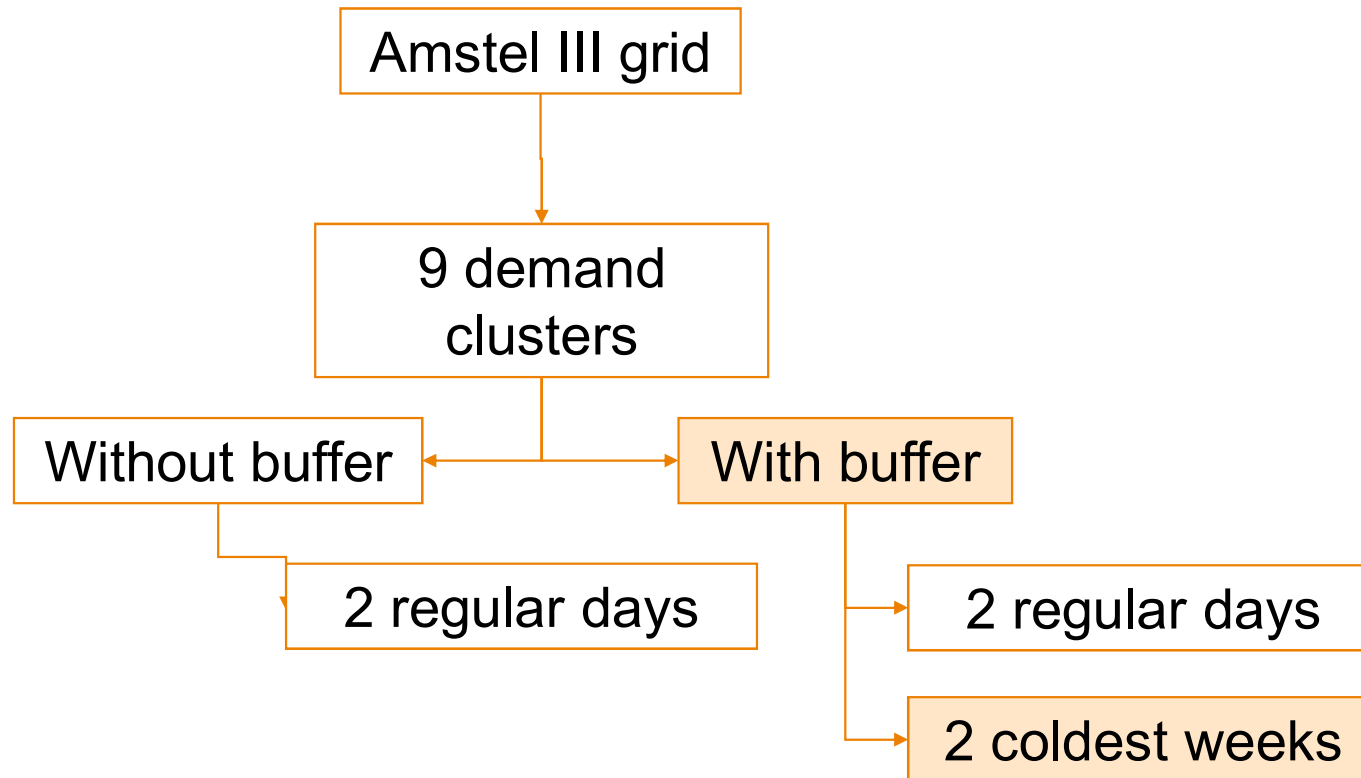
VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL



	MPC	PID
Peak shaving	Pro-active	Reactive
Deployment	Central	Local
Operation	Central	Local
Technology Readiness	Operational in Oil & Gas Industry	Operational in heat networks

Can Model Predictive Control be used to optimize the buffer size?

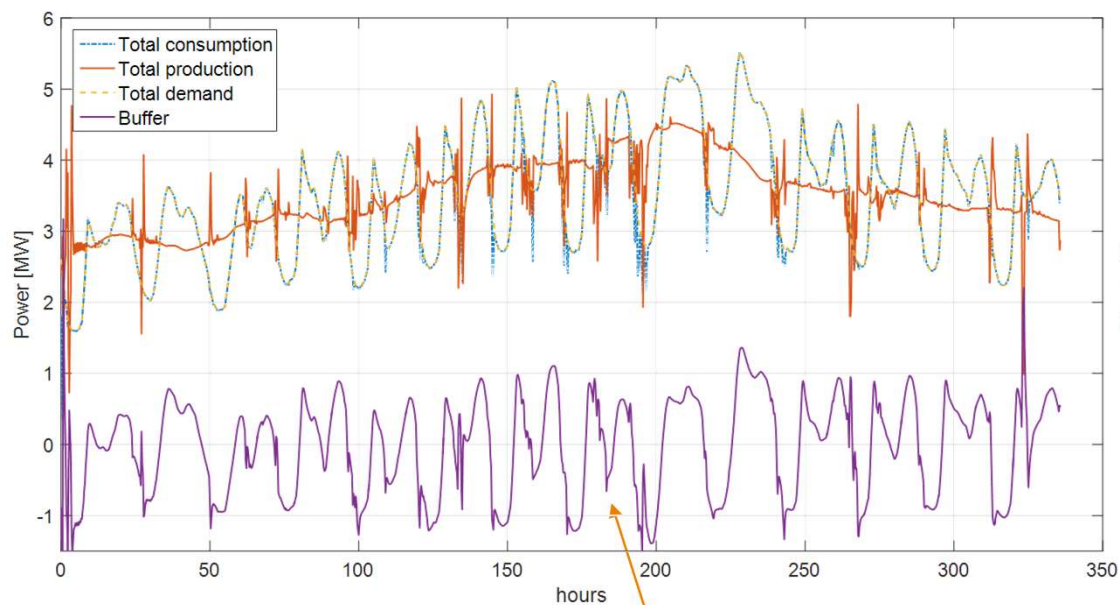
VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL



VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL

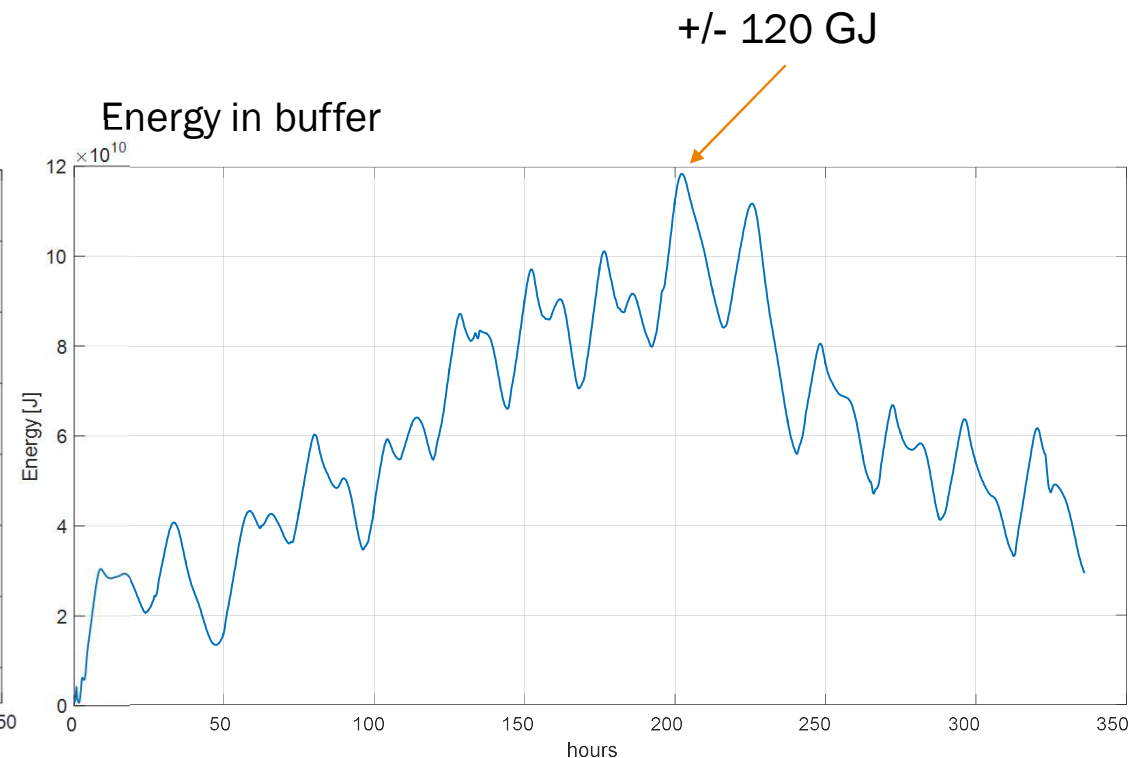
2 COLDEST WEEKS: PEAK SHAVING AND BUFFER SIZING

Demand, consumption and production



Filling/emptying buffer: peak shaving!

Energy in buffer



- ☐ Buffer of 950 m3 water
- ☐ No HT connection necessary
- ☐ Base load of +/- 4.0MW

VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL

CAPEX

Scenario	Key figure	Regular day HP = 1.5MW HT = 4MW Buffer = 0m3	Regular day HP = 1.5MW HT = 2.3MW Buffer = 280m3	Regular day HP = 2.7MW HT = 1.1MW Buffer = 280m3	2 coldest wks HP = 4.0MW HT = 0MW Buffer = 950m3
Heat Pump	600 k€/MW	900k	900k	1380k	1900k
Buffer	285 €/m3	0k	80k	80k	270k
Buffer ground	4000 €/m2	0k	93k	93k	317k
LT WOS	200 k€/MW	800k	460k	220k	0k
Total k€		1700k	1533k	1773k	2487k

VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL

OPEX

Scenario	Key figure	Regular day HP = 1.5MW HT = 4MW Buffer = 0m3	Regular day HP = 1.5MW HT = 2.3MW Buffer = 280m3	Regular day HP = 2.7MW HT = 1.1MW Buffer = 280m3	2 coldest wks HP = 4.0MW HT = 0MW Buffer = 950m3
Heat Pump maintenance	4% CAPEX	12.0k	12.0k	21.6k	32.0k
Buffer maintenance	2% CAPEX	0.0k	1.6k	1.6k	5.4k
LT WOS maintenance	4% CAPEX	32.0k	18.4k	8.8k	0.0k
HP Electricity cost	0.1707 €/kWh	243k	243k	328k	357k
LT heat cost	X €/GJ Y €/kWh	83.6k	83.6k	22.5k	0k
CO2 tax	25 €/ton	87.4k (3.5kton)	87.4k (3.5kton)	23.5k (0.9kton)	0k
Total k€ / year		370.1k 457.5k	358.1k 445.5k	382.7k 406.2k	394.5k 394.5k

VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL

TCO

Scenario	Unit	Regular day HP = 1.5MW HT = 4MW Buffer = 0m3	Regular day HP = 1.5MW HT = 2.3MW Buffer = 280m3	Regular day HP = 2.7MW HT = 1.1MW Buffer = 280m3	2 coldest wks HP = 4.0MW HT = 0MW Buffer = 950m3
TCO (30yr)	k€	15,424	14,897	13,959	14,322
Cost benefit	%	0	3.4	9.5	7.1

VATTENFALL/ AMSTEL III/ MODEL-PREDICTIVE CONTROL



Betaalbaar

- ☐ TCO: LT heat/upgraded to MT heat/ buffered in distribution grid is not more expensive than solution with HT grid as back-up.



Flexibel

- ☐ Advantage is that this is more stand-alone solution as no back-up from HT grid is needed. Low energy waste heat availability is needed.



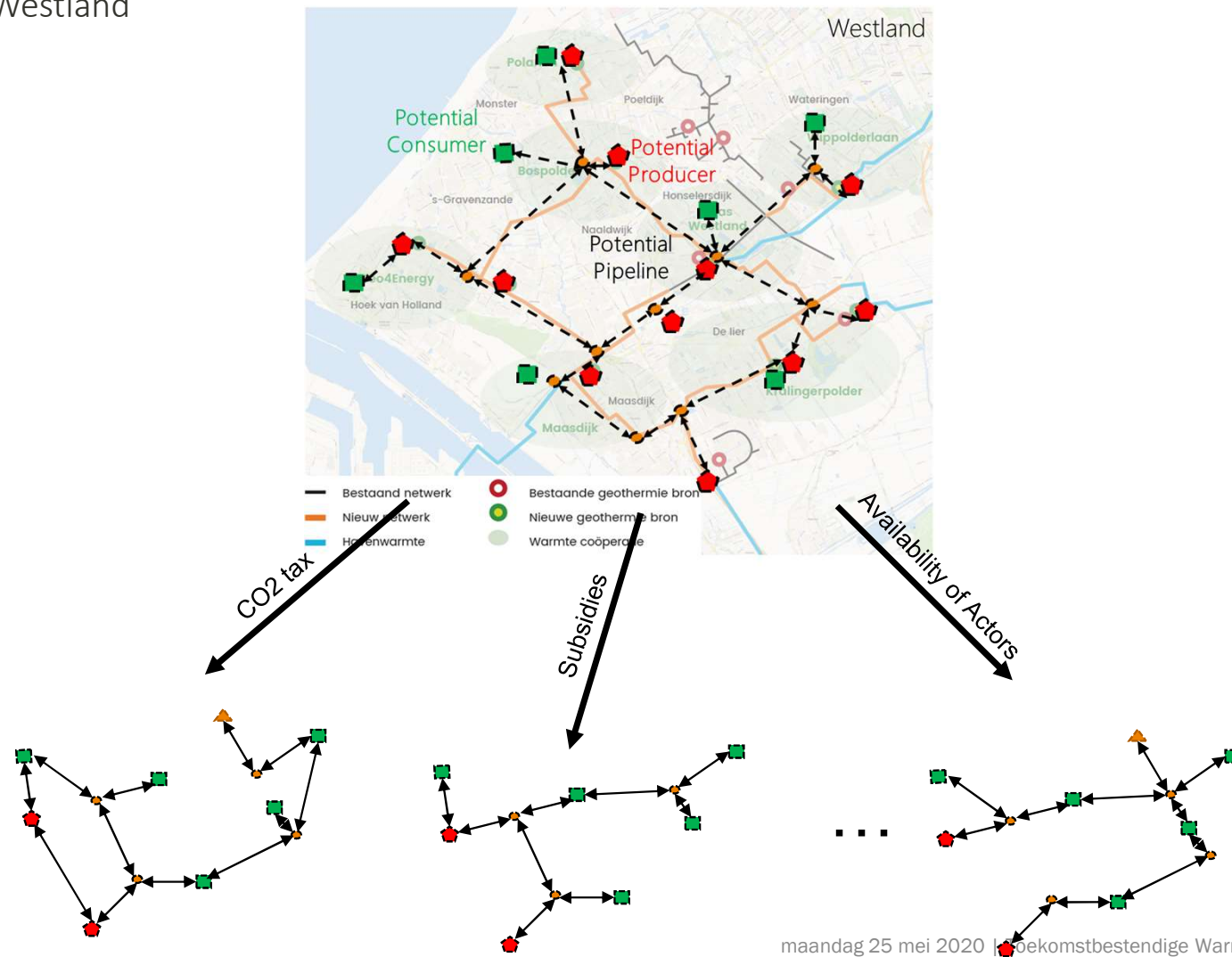
Duurzaam

- ☐ More sustainable solution

ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ TOPOLOGY OPTIMIZATION

Warmtesysteem Westland

How to *best* connect?

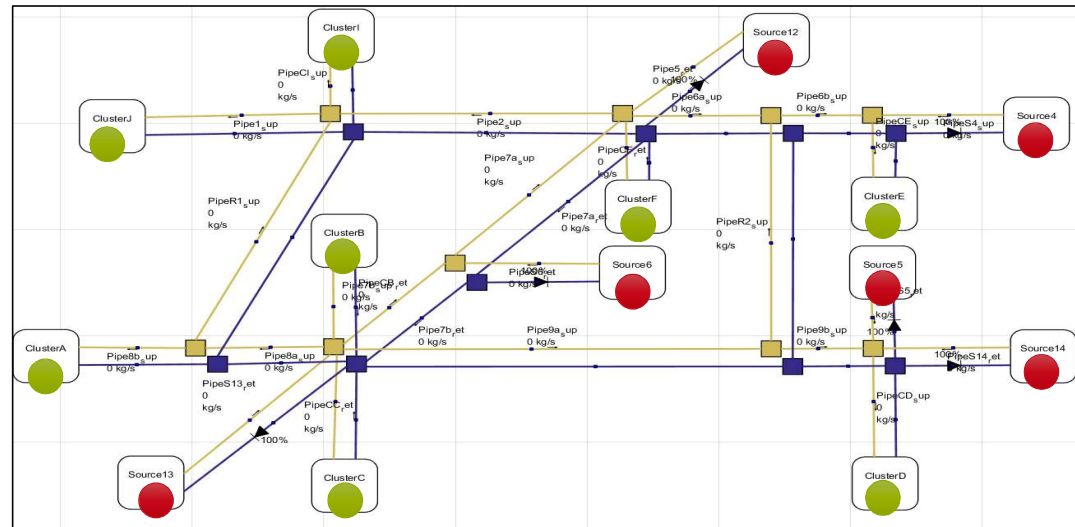


ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ TOPOLOGY OPTIMIZATION

- For example, objective function J : *Total Cost of Ownership (TCO)*

$$J(u) = TCO(u) = \sum_{E=\left\{\substack{\text{pipes} \\ \text{pumps}}\right\}} (E^{Capex} + E^{Opex})$$

- Variables $u = (y, d)$:
 - 8 binaries for pipelines $y = (y_1, y_2, \dots, y_8)$
 - 13 diameters $d = (d_1, d_2, \dots, d_{13})$
- Constraints (not allowing disconnected networks)
 - $y_2 + y_3 \geq 1$; $y_2 + y_5 + y_8 \geq 1$; etc...

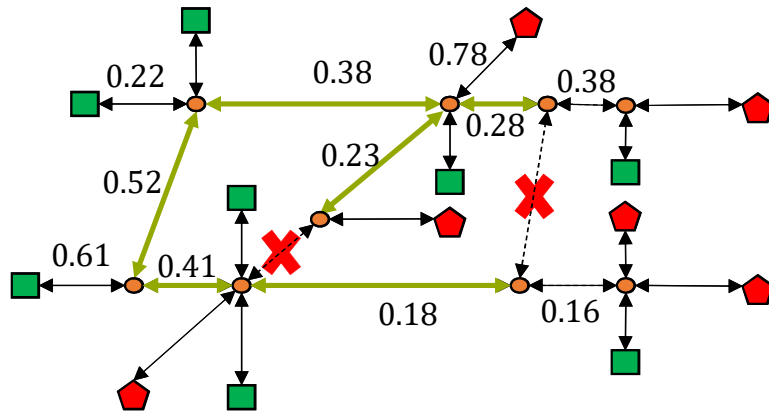


Sources and Demand



ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ TOPOLOGY OPTIMIZATION

Optimized design



- ✗ No Pipe line
- ↔ Pipe line
- ↔ Planned Pipe line
(not part of optimization)



Betaalbaar

- ☐ CAPEX (pipe costs/labour) and related OPEX (transport energy) can be reduced -> less TCO



Flexibel

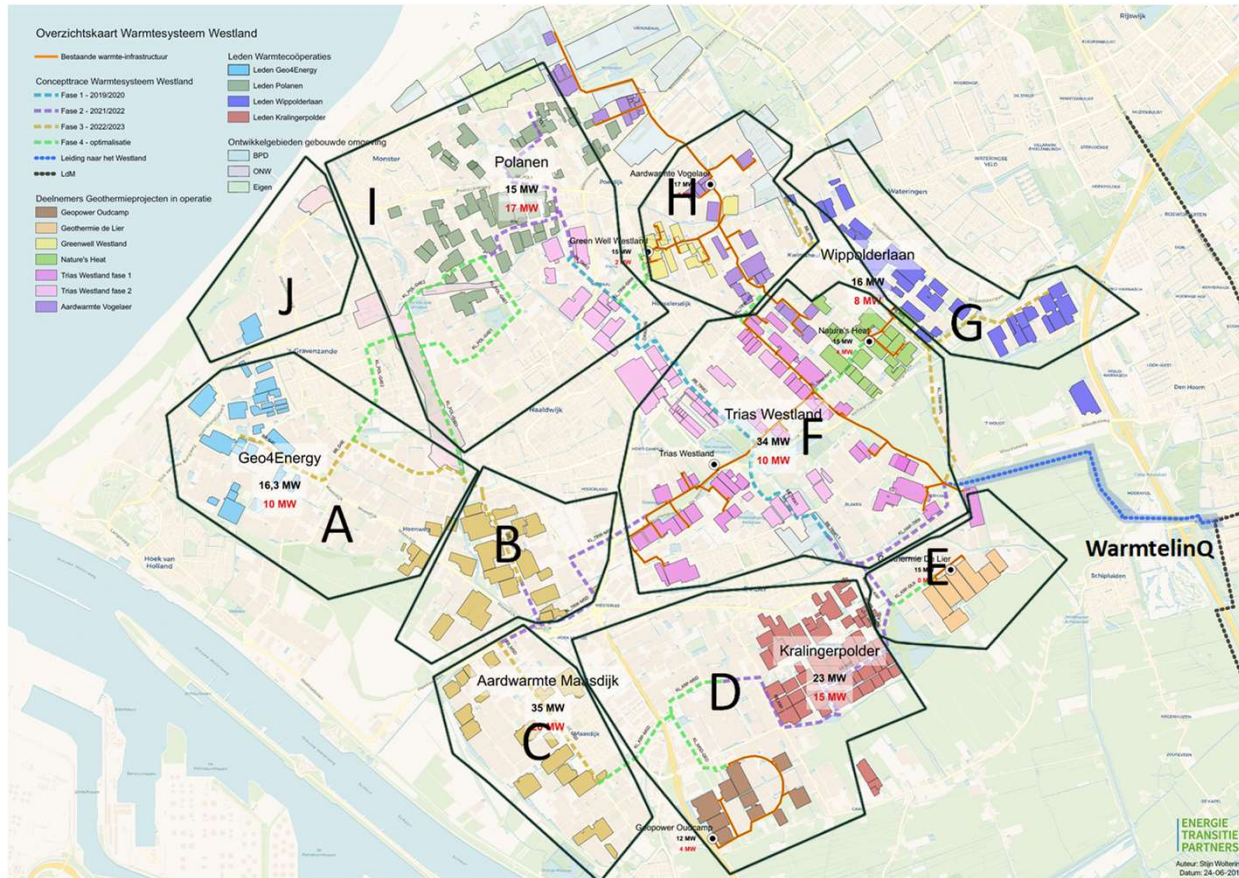
- ☐ Flexibility is not influenced, but can be improved is buffering is included in topology optimization



Duurzaam

- ☐ Sustainability is not influenced in this example

ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER



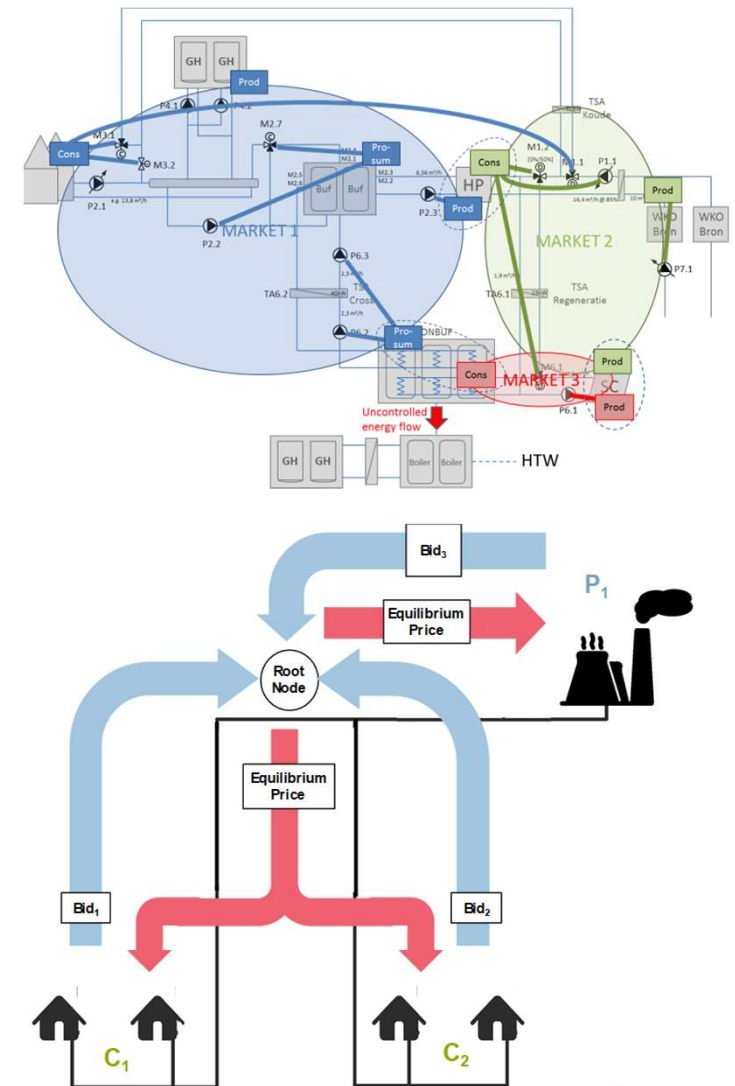
Warmte System Westland (WSW)

- ❑ Base load – 285 MW
 - ❑ 11 Geothermal wells
 - ❑ 2 Biomass
- ❑ 10 Demand clusters A-J
 - ❑ Each having peak load CHP and/or WKK
 - ❑ Total peak demand ≈ 1.25 GW
- ❑ WarmtelinQ (Leiding over Midden)
 - ❑ Gasunie
 - ❑ Open market

ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER



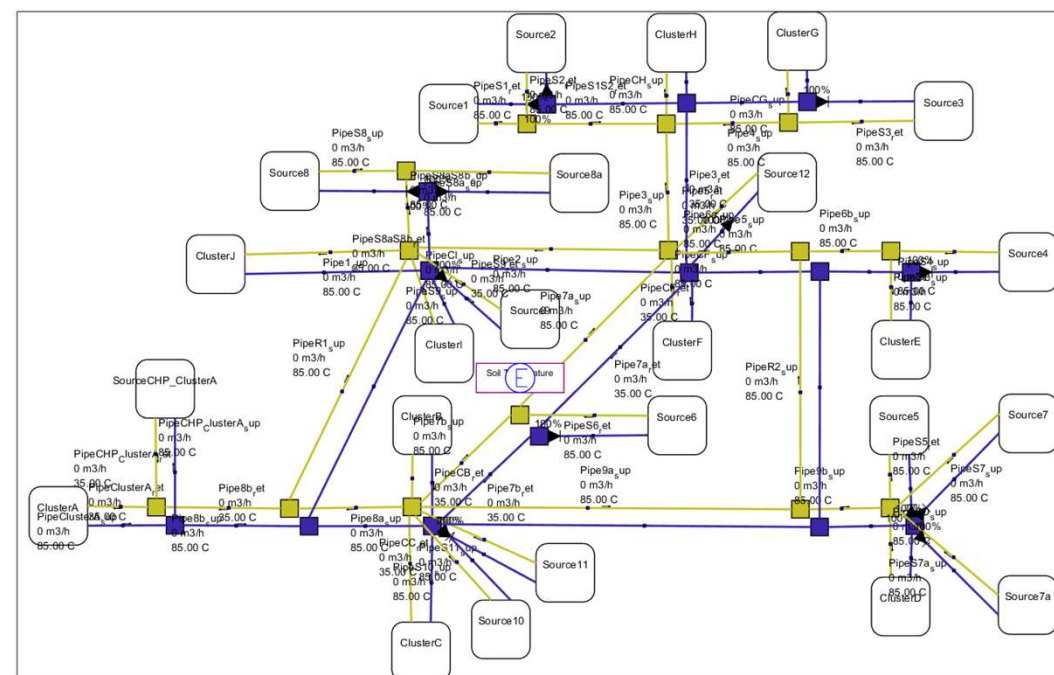
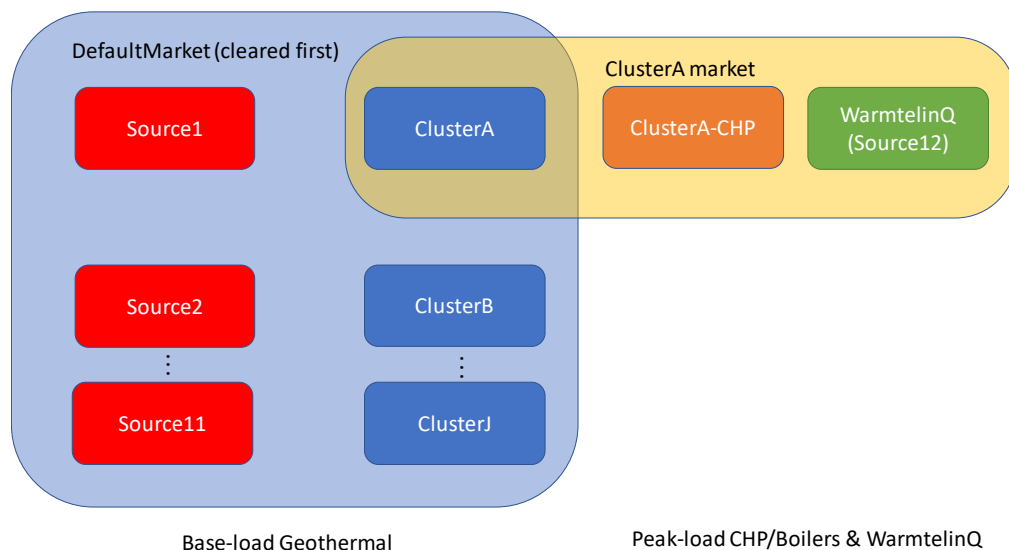
- › Match supply and demand of heat and cold
- › Maximizes the usage of **renewable sources** and minimizes costs
- › **Virtual markets:** agents buy and sell energy in markets
 - › Simple and fast market clearing algorithm
- › Exploits **flexibility** of all components and uses this flexibility in its optimization algorithm
 - › Simplified version of Locational Marginal Pricing (LMP) used in electricity markets
- › **High abstraction level:** Controls energy flows,
 - › Temperature and flow ideally controlled by a low-level controller
 - › CHESSE simulator
- › Proven technology in buildings, **20% energy cost reduction** and **30% CO2-emission reduction**



ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER

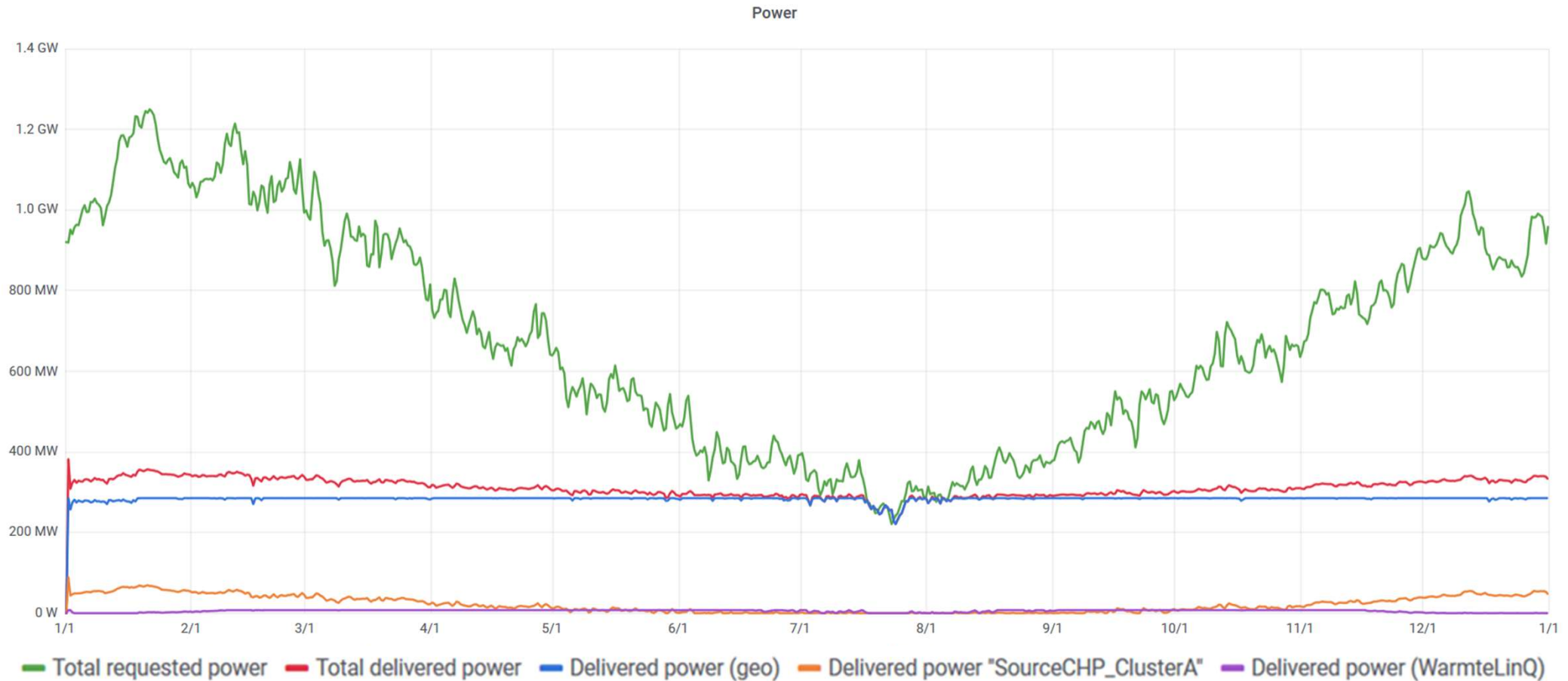
Questions

- How does the WarmtelinQ effect the usage of CHP in an open market approach?
- What is the effect on pipe diameters in the network?
- How does this all affect the CO2 KPIs?

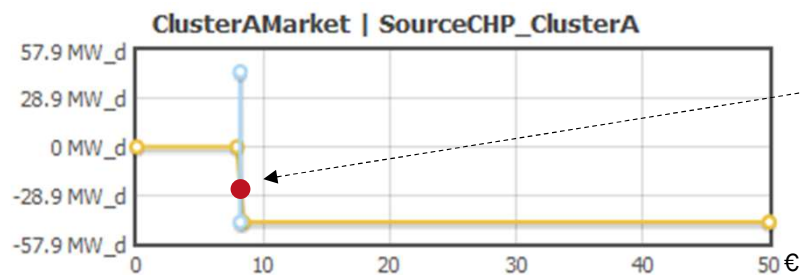
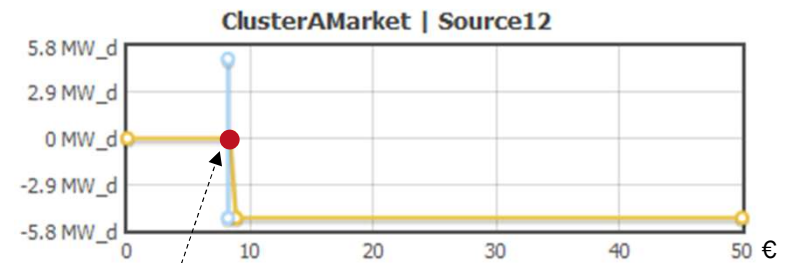


ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER

› Production vs Consumption



ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER

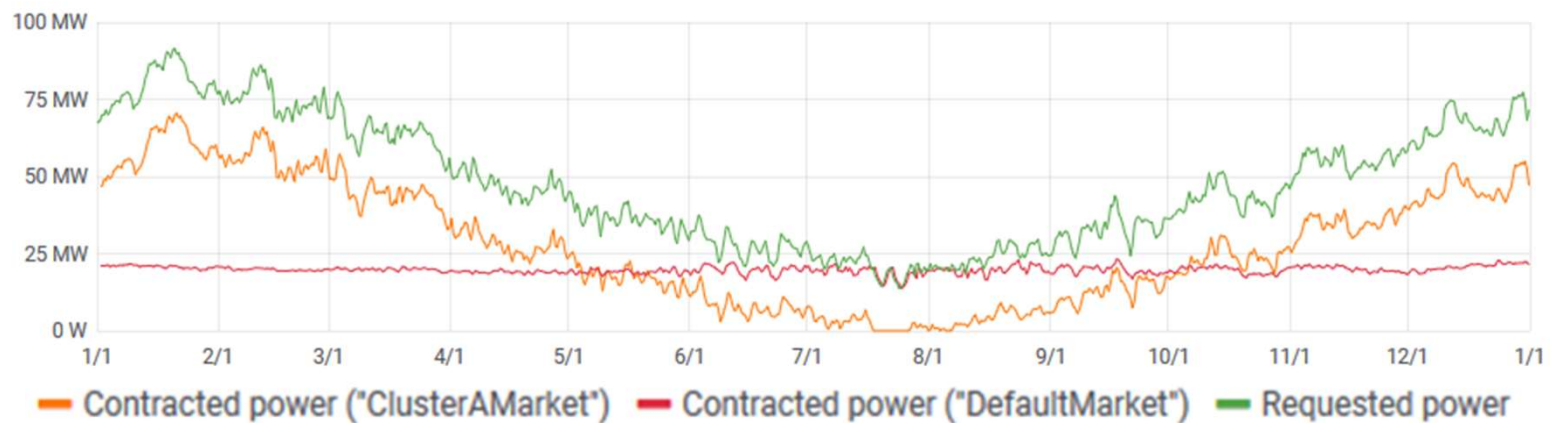


"ClusterA"

□ HeatMatcher bids

□ Equilibrium price

□ Contracted power vs Requested power



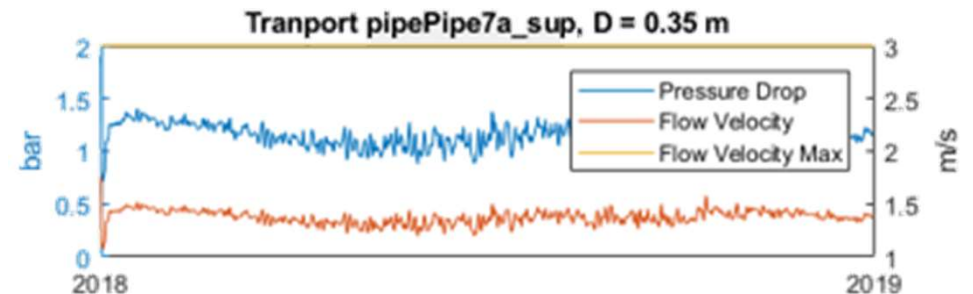
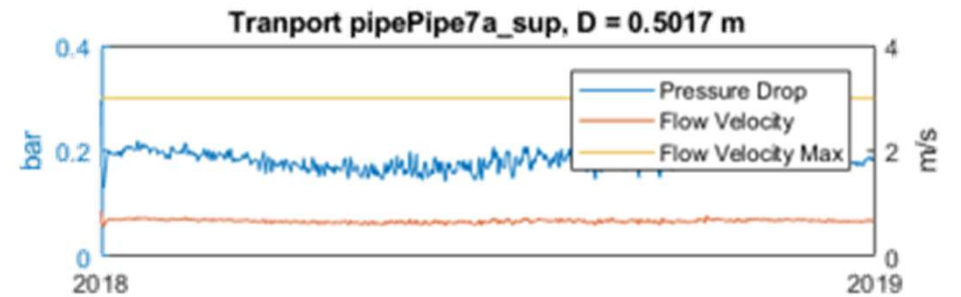
maandag 25 mei 2020

ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER

› PIPE SIZE OPTIMIZATION

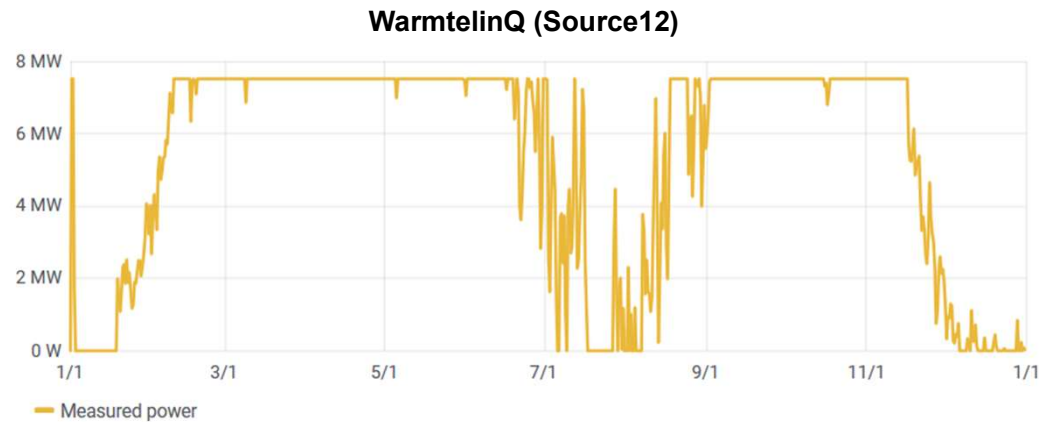
Dynamic simulations allow for other types of optimization

- › Input: Output of first dynamic simulation
 - › Pressure drop & flow velocity
 - › CAPEX 246 M€
- › Processing algorithm
 - › Maximum pressure drop
 - › Maximum flow velocity
- › Output: optimized pipe sizes
- › Rerun simulation
 - › New CAPEX & OPEX figures
 - › 206 M€ (-16%)



ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER

› WARMTELINQ UTILIZATION



- ☐ WarmtelinQ heat price higher in winter
- ☐ In summer period reduced demand
- ☐ Only utilized for 70%
- ☐ Storage?

ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER

CO2 KPI

ClusterA KPIs	2020	2030
CO2 price (€/ton)	22	47
Production for ClusterA (GWh)	407.99	406.48
└ Geothermal and biomass	161.62	160.42
└ WarmtelinQ	0	46.07
└ CHP	246.37	200.00
CHP peak production (MW)	90.30	88.74
CO2 Emission (kton)	69.18	56.16
CO2 costs (k€)	1521.97	2639.49

- ❑ Can't reduce CHP installed base
- ❑ CO2 reduction of 13 kton (19%)
- ❑ 2030 CO2 cost savings 611 k€ (23% saved)

ETP/ WARMTESYSTEEM WESTLAND/ HEATMATCHER

› DASHBOARD



Betaalbaar

- ☐ Reduced CO2 costs when using WarmelinQ
- ☐ Reduce piping cost by optimizing pipe diameters
- ☐ Impact on WSW network is not clear due to focus on one cluster only



Flexibel

- ☐ Incorporate open market in existing system, other players can join.



Duurzaam

- ☐ Reduced CO2 emissions when using WarmtelinQ



KENNISDISSEMINATIE

KENNISDISSEMINATIE

- <https://warmtenetwerk.nl/nieuws/item/op-weg-naar-slimmere-flexibeler-en-duurzamere-warmtenetten/>
- Interview Martijn Clarijs voor vakblad COBOUW, deel 2, 26 mei 2020, <https://www.cobouw.nl/woningbouw/nieuws/2020/05/het-warmtenet-vraagt-om-moderner-gereedschap-101285173>
- m.b.t. KPI-model/ Workshop Stakeholder Belangen en KPI's, onderdeel WarmingUP, link naar opname: *link volgt*
- Bilaterale meetings met advies- en ingenieursbureau's (deels afgerond) en ingenieurs van warmtebedrijven/netwerkbedrijven: Greenvis, Rotterdam Engineering, ENECO, Vattenfall, Ennatuurlijk, SVP, HVC, Netverder, Firan.
- Twee stakeholder seminars: 25 en 28 mei 2020, waarbij deze rapportage is toegelicht
- Scientific paper on 'Challenges in heat network design optimization', <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117688>
- Disseminatie zal ook via website WarmingUP worden gedaan: <https://www.warmingup.info/>
- Verdere disseminatie via website RVO

DISCUSSIE

FEEDBACK OP SEMINARS 25 EN 28 MEI 2020

“Er is een markt voor dergelijke analyse en tools”

“Super interessant”

“Jammer dat de Toolkit zelf nog niet beschikbaar is, nu de ontwerpmethode er is”

“Aanpak kan echt wel behulpzaam worden”

“Helder verhaal, leuk. Fijn dat de sheets gedeeld worden”

“Ik miste bij ontwerp van netten de tools om op KPIs te sturen. Enthousiast dat die er komen”

“Prima werk. Belangrijk wordt de komende fase. Voldoende aandacht besteden aan de ontwerpmethode, zorg dat het ook echt gebruikt gaat worden.”

“Interessant verhaal, mooi de samenhang tussen de verschillende fases.”

“Delen aanpak ook in Jong Warmtenetwerk?”

“Nuttig om KPI's expliciet te maken en mee te nemen in alle fases.”

“Ontzettend geavanceerd en mooi. Was in veronderstelling dat het niet van toepassing is op minder geavanceerde netten.”



HOE VERDER?

› CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

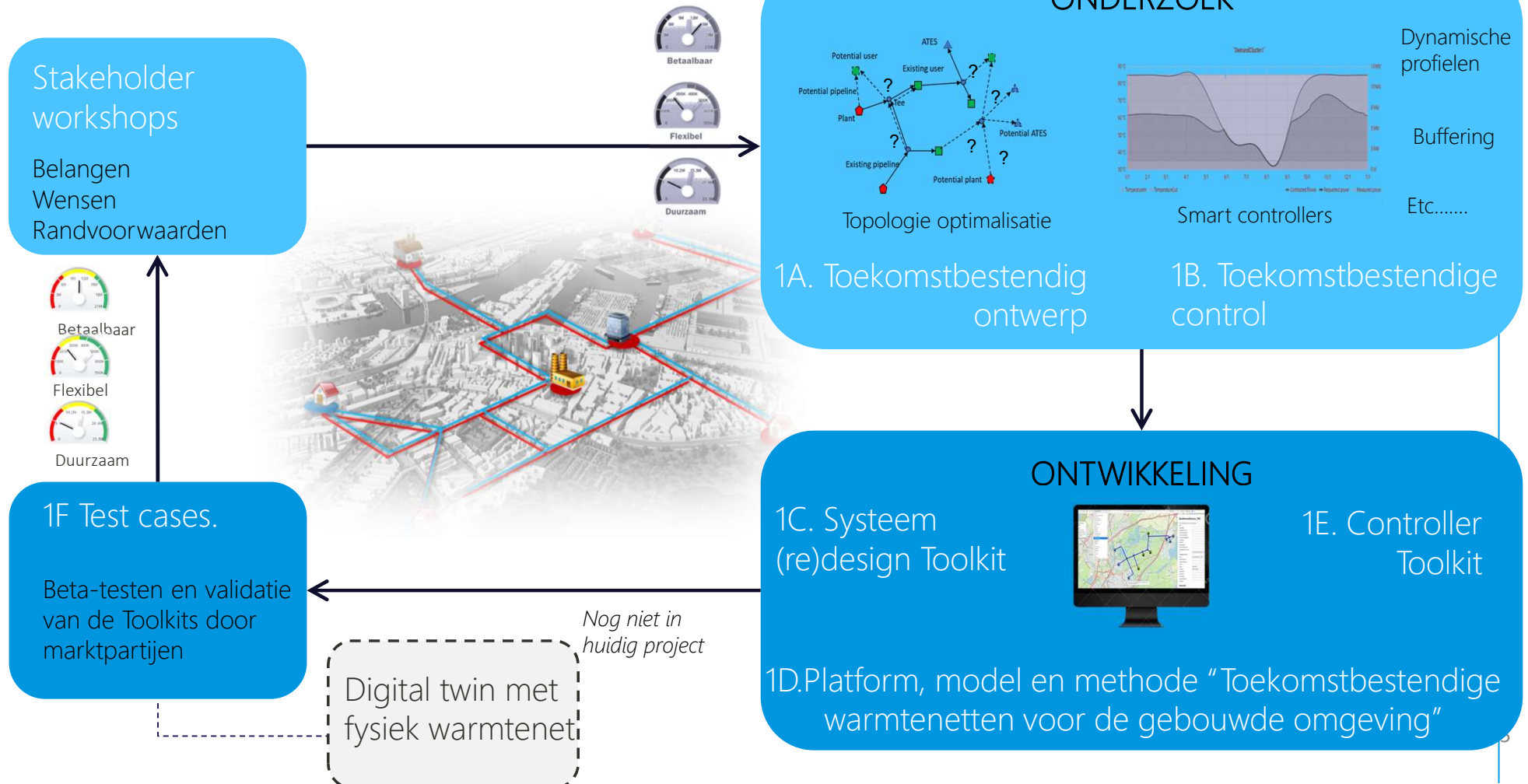
In dit project is een ontwerpmethodie voor toekomstbestendige warmtenetten ontwikkeld. Het is een methode en geen methodiek, m.a.w. een recept, dat uitlegt welke stappen doorlopen zouden moeten worden. De tools en technieken die daarbij ingezet kunnen worden, zijn beschikbaar op de markt of worden ontwikkeld, o.a. bij TNO. In het brede MMIP4 programma 'WarmingUP' wordt in Thema 1 (Warmtenetten en Systeemintegratie) een complete (open-access) Toolkit ontwikkeld waarmee de voorgestelde ontwerpmethodie door iedereen kan worden uitgevoerd van A tot Z. Waar dit TKI project het recept beschrijft, levert WarmingUP de potten en pannen.

De stand der techniek m.b.t. innovaties voor warmtenetten is verbeterd door te werken aan diverse innovaties in de verschillende fases in de ontwikkeling van warmtenetten. Deze innovaties zijn toegepast in de context van de ontwerpmethodie, voor verschillende casussen en stakeholders, en heeft geleid tot optimalisaties in het ontwerp van warmtenetten.

Verder is duidelijk geworden dat:

- de inventarisatie van belangen van stakeholders het mogelijk maakt een KPI model te ontwikkelen en toe te passen met als doel objectieve vaststelling van de mate waarin innovaties bijdragen aan een meer toekomstbestendig warmtenet.
- de inzet van innovaties in het ontwerp van warmtenetten leidt tot significante verbeteringen op meerdere KPI's.
- deze innovaties nu al beschikbaar en inzetbaar zijn voor het ontwerp van warmtenetten, danwel op korte termijn beschikbaar komen.
- betrokken stakeholders enthousiast zijn over de ontwerpmethodie en daarvoor brede inzetbaarheid zien. Het beschikbaar komen in WarmingUP van de bijbehorende tools om de ontwerpmethodie op uniforme wijze toe te passen, wordt als meerwaarde gezien.
- er uitgebreide kennisdisseminatie heeft plaatsgevonden rond de resultaten van dit project. TNO heeft daarnaast de wens om in gesprek te gaan met RVO en TKI Urban Energy en ECW om de ontwerpmethodie nog verder onder de aandacht te brengen, nu het project is afgerond. Met name de inzet van de methode in WarmingUP is belangrijk en willen we graag benadrukken. RVO, TKI Urban Energy en ECW zouden in combinatie met de partners uit het TKI project een gezamenlijke effort kunnen leveren voor het geven van verdere bekendheid aan de ontwerpmethodie, haar resultaten en de aansluiting op de Warmtetransitievisies zoals die nu gemaakt worden.

Hoe verder? **WARMINGUP**



› **BEDANKT VOOR
UW AANDACHT**

Dit project is mede gefinancierd door TKI-Energie uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

TNO

Martijn Clarijs (projectleider)
Ewoud Werkman
Can Tümer
Ryvo Octaviano
Paul Egberts
Jim Rojer
Sharon Kuipers-Padmos

Vattenfall

Caryl Jonis
Stefan de Boer
Jan Everaars

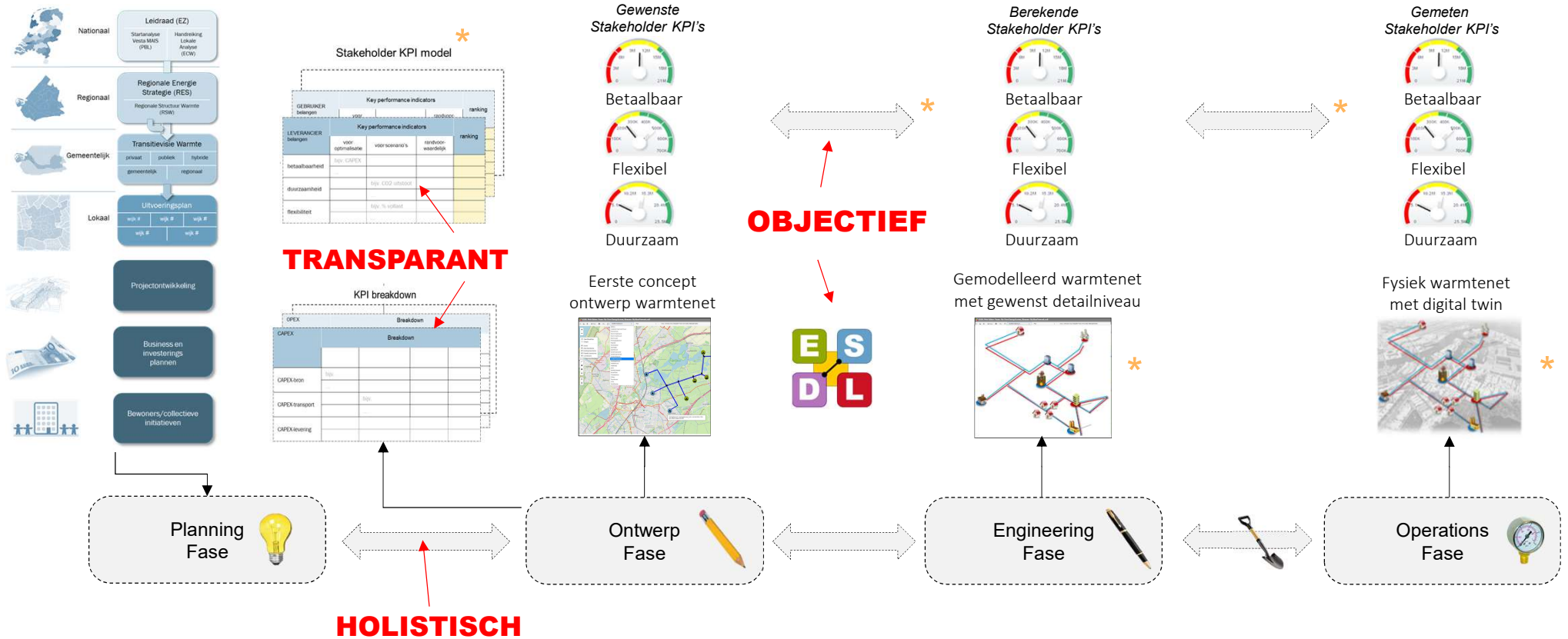
ETP

Evelien Brederode
Marco van Soerland
Thijmen Vosmer

TNO innovation
for life

EXTRA SLIDES

HOT: HOLISTISCH – OBJECTIEF – TRANSPARANT



HOT STRATEGIE: VOOR TOEKOMSTIGE WARMTEHUISHOUDING

