

# Digitalisering af Fjernvarmen

## Erfaringer fra HEAT 4.0



**Henrik Madsen, Hjorleifur Bergsteinsson, Daniela Guericke,  
Amos Schledorn, Alfred Heller, Christian Thilker, Phillip B. Vetter, Jan K. Møller**

**DTU Compute, Danmarks Tekniske Universitet**

<http://www.henrikmadsen.org>



# Outline

- **Calibrated local weather forecasting**
- **Heat load forecasting**
- **Temperature Optimization** using real-time data (incl. **meter data**)
- **(Flexible load** in buildings and DH systems)
- **(Optimal Bidding** for District Heating Operators)
- **Potential savings** using data-driven methods

# Locally Calibrated Weather Forecasting



## Data på lokale vejrførhold + flere MET prognoser

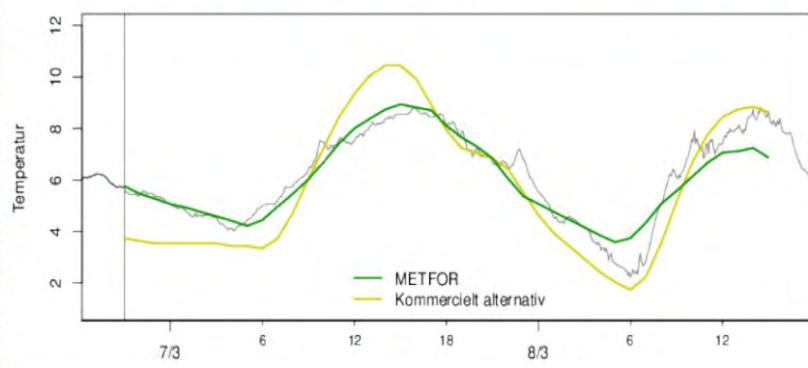
Forbedring i nøjagtighed:  
20 – 90 pct

### Gothersgade

Temperatur	+1
Luftfugtighed	87%
Vind	3 m/s

### Holmens kanal

Temperatur	-1
Luftfugtighed	84%
Vind	7 m/s



ECMWF

GFS

Combination

Metstation

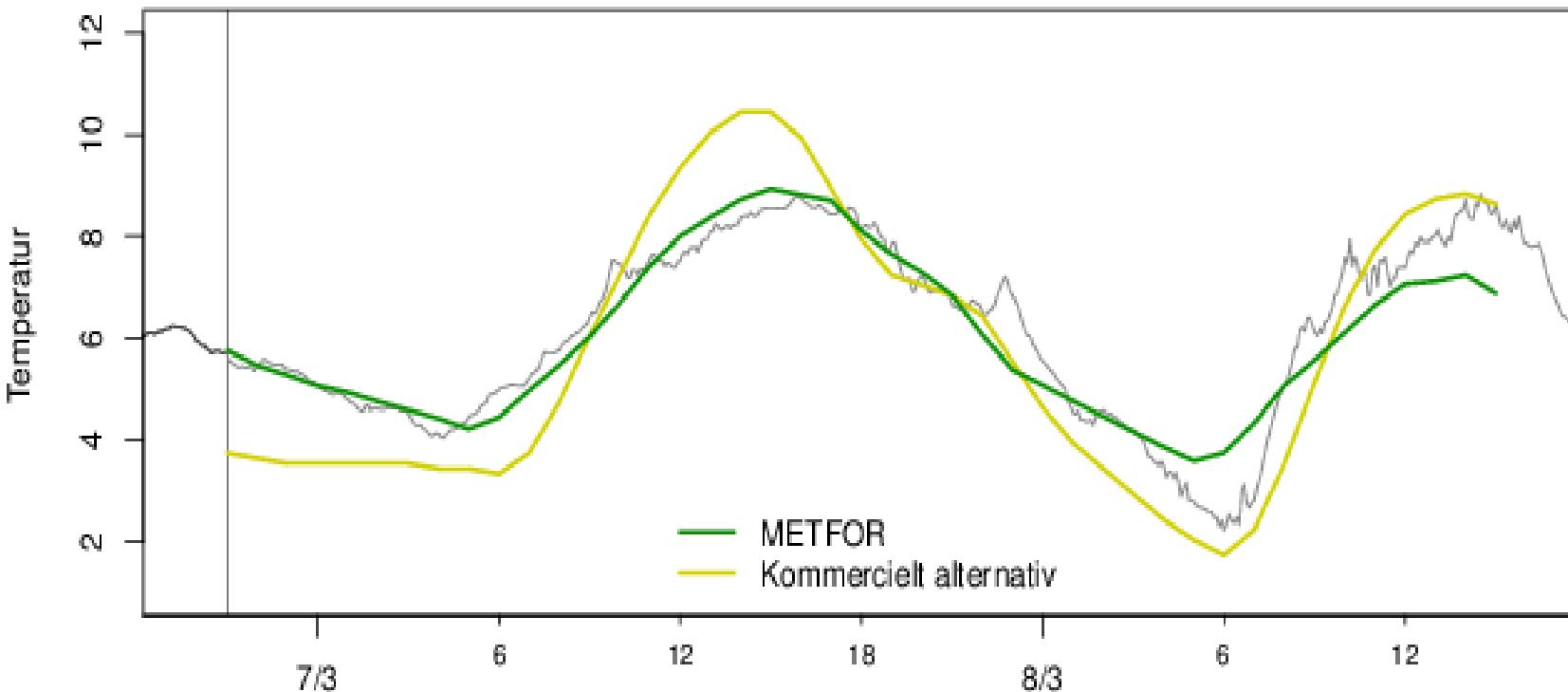
Local adaptation

Static and Dynamic correction

METFOR



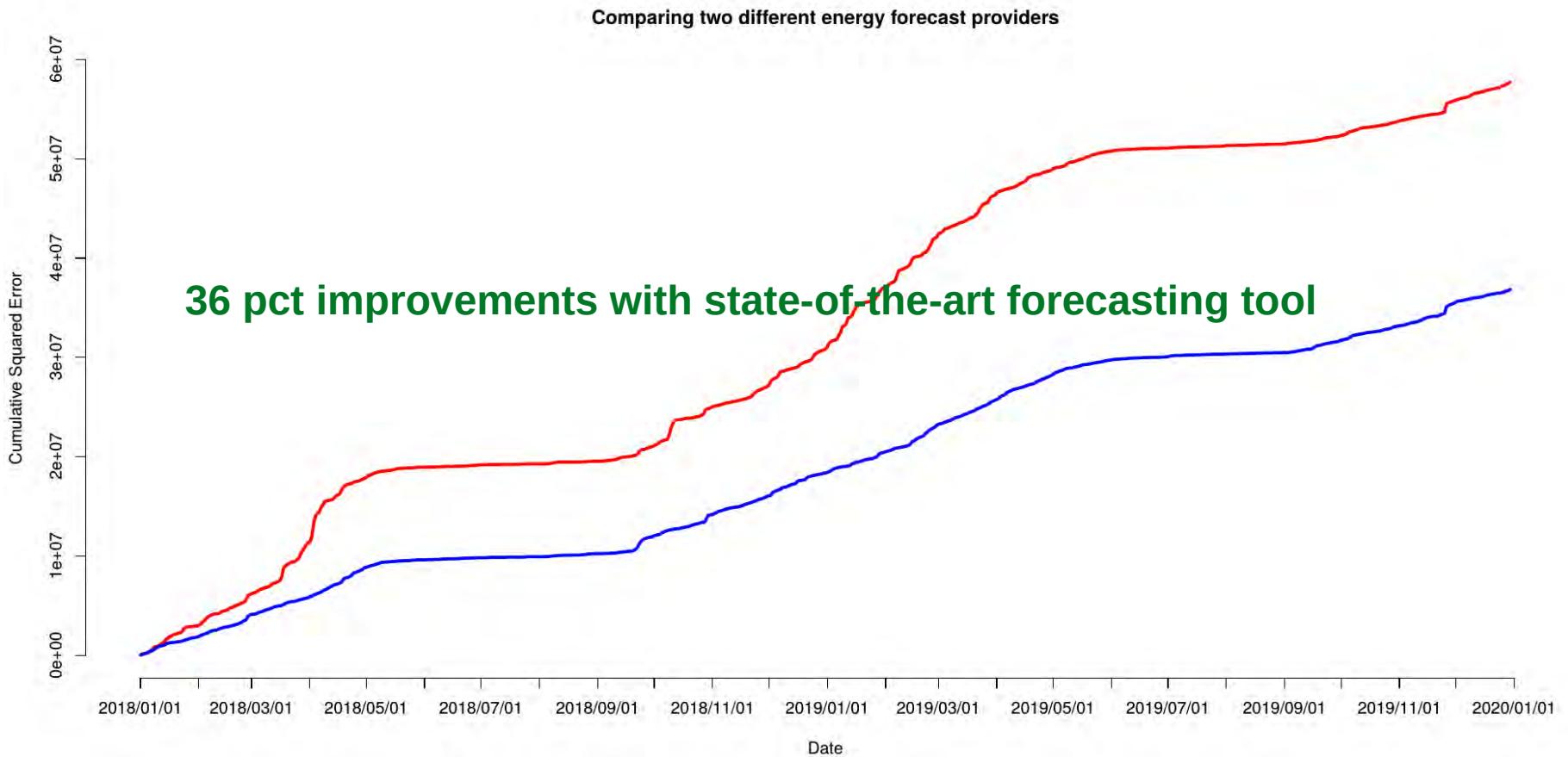
# METFOR forecast example



# Heat Load Forecasting



# Heat Load Forecasts (Varmelast)

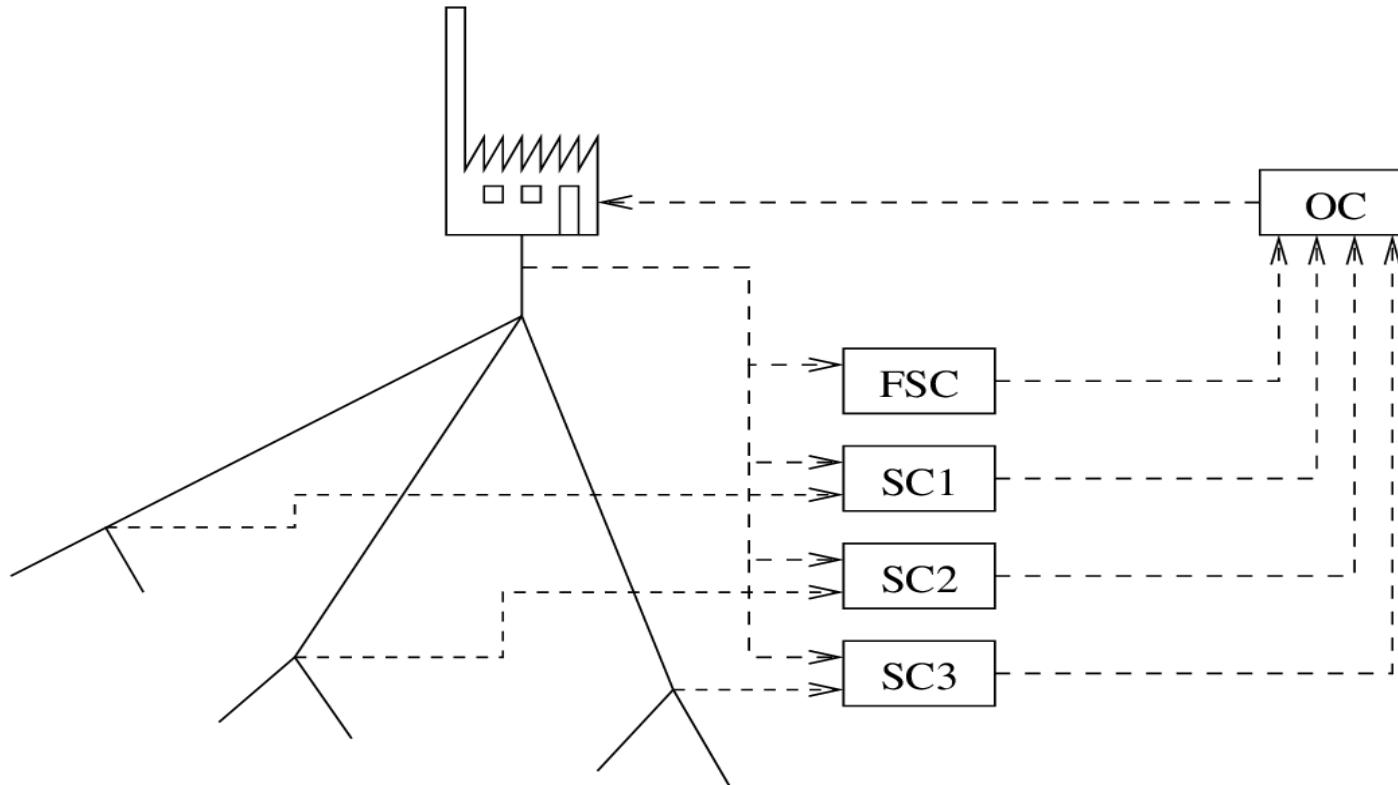


# Data-driven Temperature Optimization



# Models and Controllers

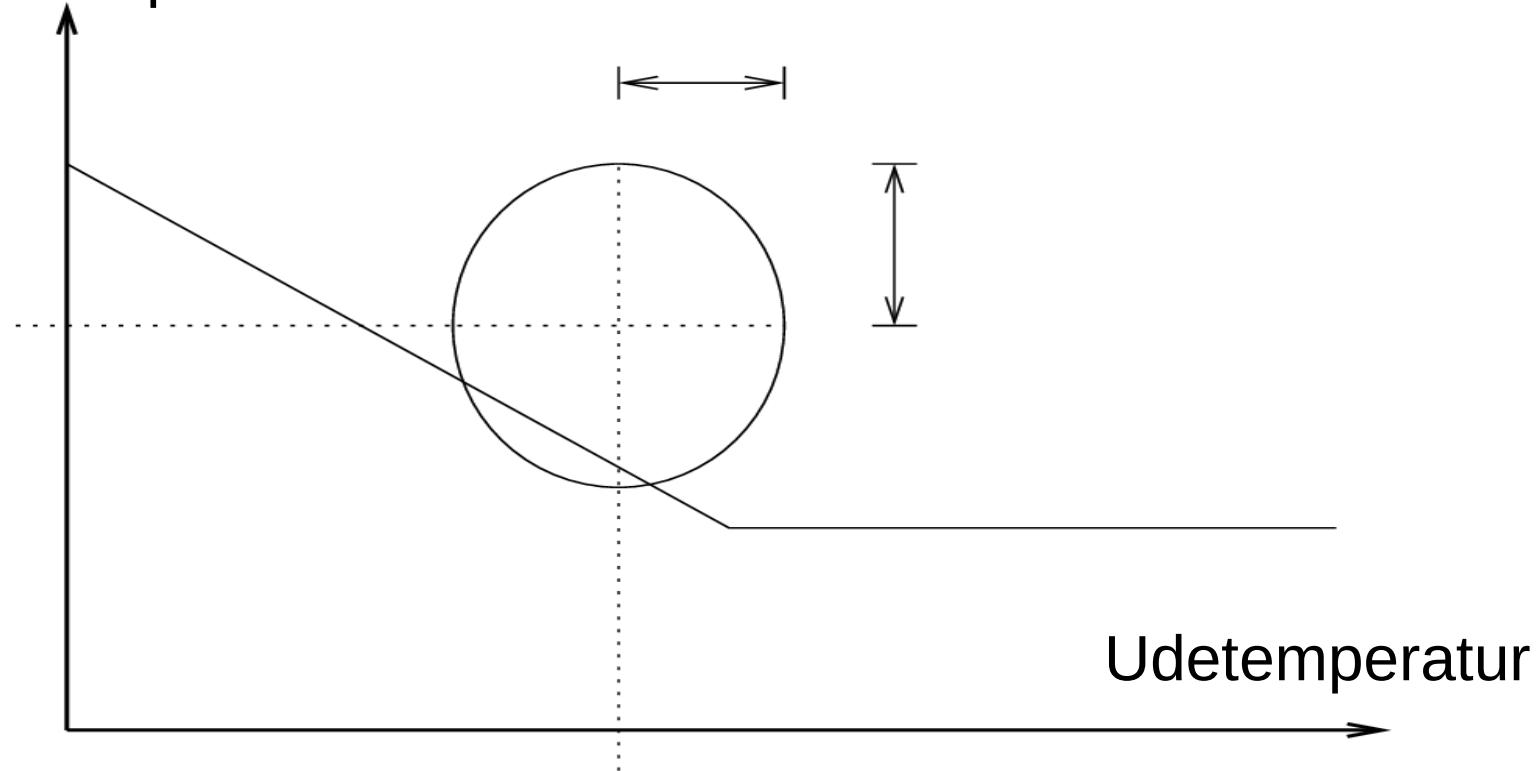
(Highly simplified!)



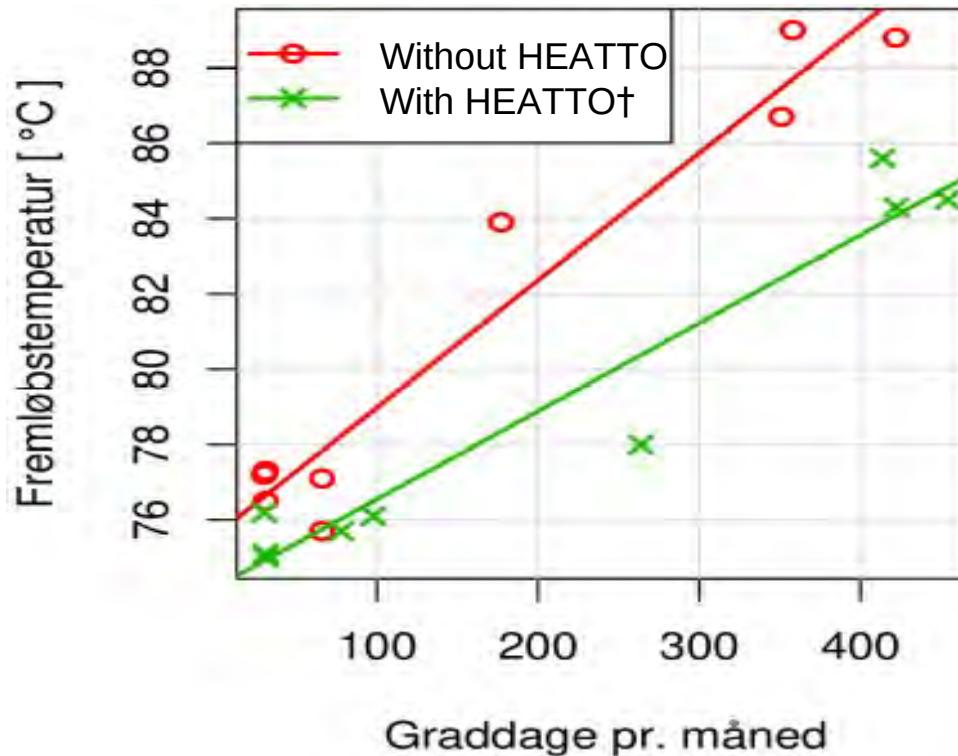
# Optimal set-point

## Uncertainty must be taken into account

Brugertemperatur



# Supply temperature with/without data-driven temperature opt.



**Savings:**  
Reduction in heat loss  
18.4 pct  
Annual cost saving  
2.4 mill dkr

# Data-driven Temperature Optimization for DH Systems

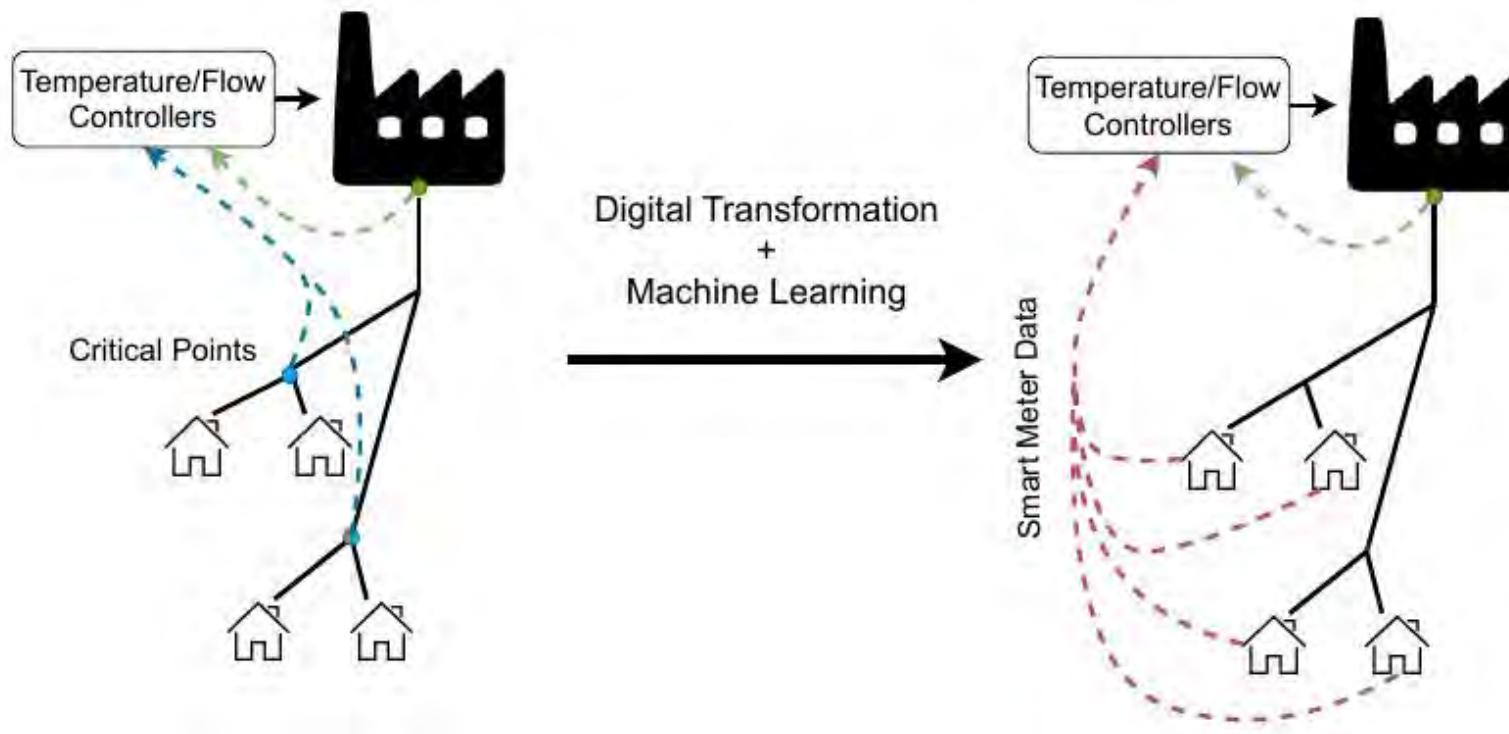
- Able to take full advantage of **information in data**
- **Automatic/self-calibrating** models for the DH network
- Shows where to **upgrade** the DH network
- **Fast** (real time) calculations
- Use DH net for **peak shaving** and **storage**
- Able to use **online MET forecasts** etc.
- **Savings up to 800 Mill. DKK annually** by using data-driving temperature opt. (Damvad report)



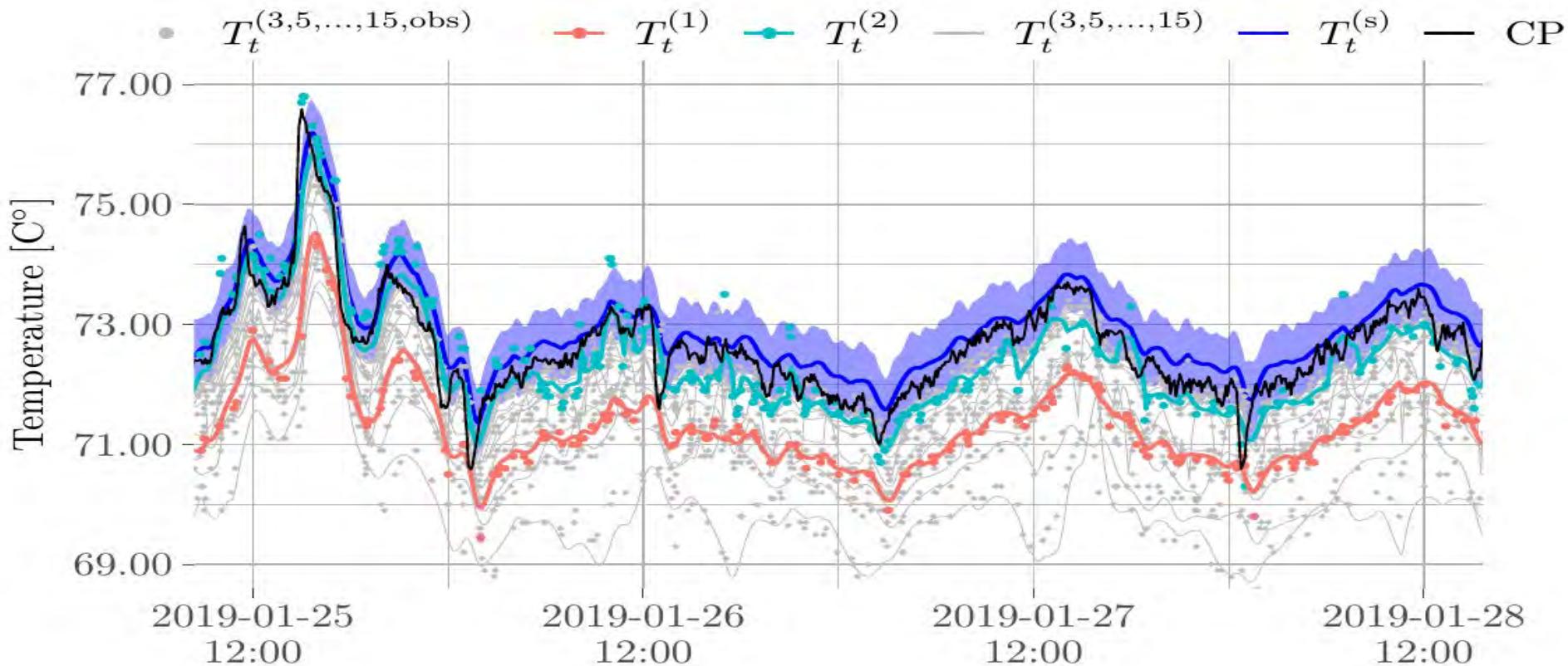
# Data-driven Temperature Optimization (v.4.0) (Incl. use of meter data)



# Use of meter data gives new possibilities – and extra savings



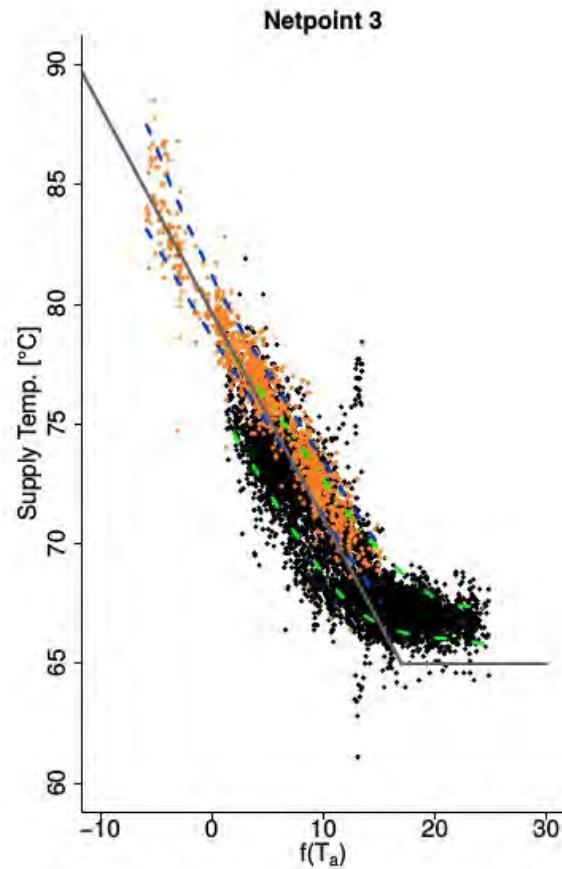
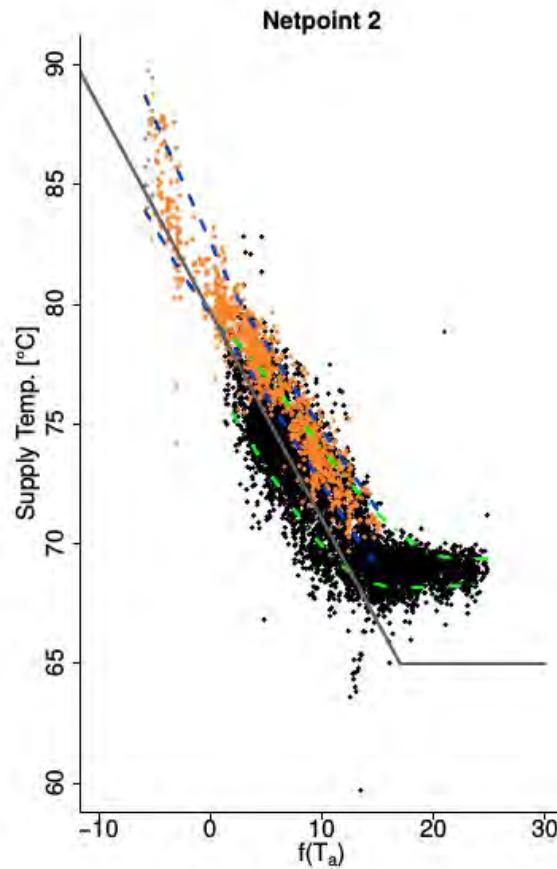
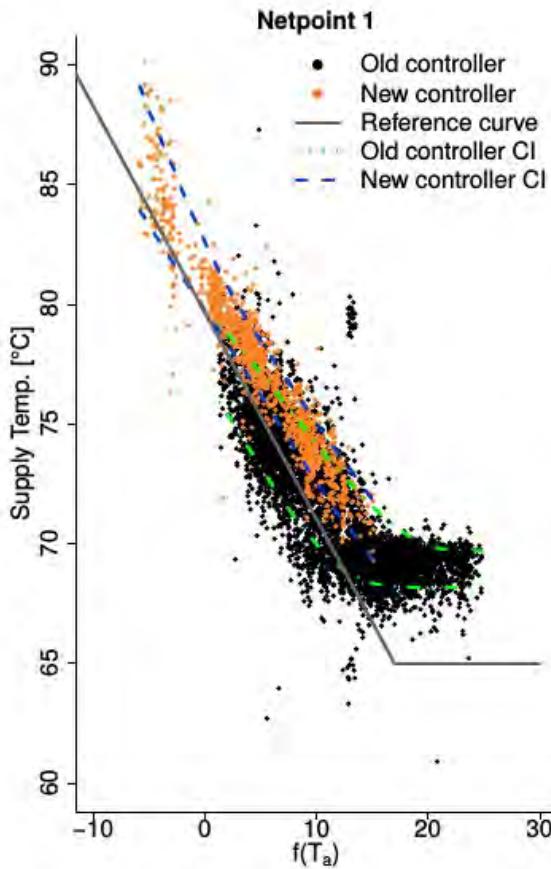
# Estimated critical point temperature (Brønderslev District Heating)



(a) Area 1: Winter/January

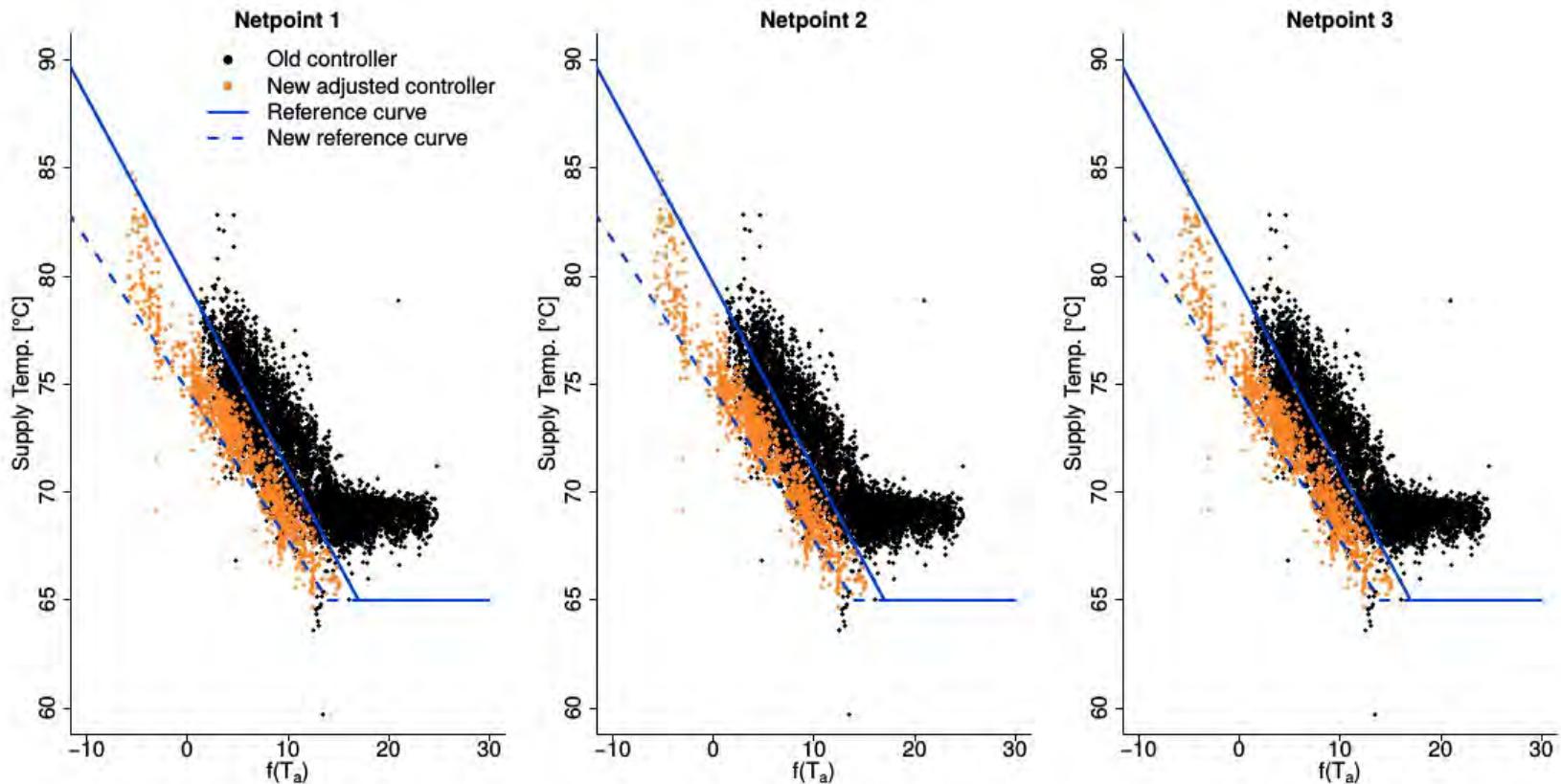
# Temperature at end-users (Tingbjerg)

## Old and new controllers



# Temperature at end-users (Tingbjerg)

## Higher precision = 5 C temp. reduction



# DIGITALISERENDE I FJERNVARMEN BIDRAGER TIL 2030-MÅL

Det sparer penge og CO<sub>2</sub>, når fjernvarmesektoren styrer temperaturen med data og lokale vejrudsigtter i stedet for tegninger af ledningsnettet og mavefornemmelsen.

Hanne Kokkegård

Sven Müller, DTU, Dansk Fjernvarme/Nils Rosenvold

**1,7** mio. husstande i Danmark (ca. 64 pct.) bliver opvarmet med fjernvarme, der løber gennem 60.000 kilometer fjernvarmenet. Rejsen fra fjernvarmeverkets til radiatorerne tager typisk flere timer, og derfor skal varmehøvlet kunne forudsiges.

Man skal ikke skru mere op for varmeproduktionen end nødvendigt, for det koster penge og er energispild, ligesom temperaturatabet i rorene er større ved højere temperaturer. Samtidig skal vandet være tilstrækkelig varmt på de såkaldt kritiske punkter i udkanten af ledningsnettet. Så det er en videnskab at styre fjernvarmeproduktionen optimalt.

På DTU Compute arbejder professor Henrik Madsen og hans kolleger med datadrevet energi- og temperaturoptimering. Flere forskningsprojekter viser, at digitalisering forbinder prognosene for varmehøvle og tilmeld letter vejen til Danmarks 2030-klimamål.

En undersøgelse, som Damvad Analytics har lavet sammen med Danmarks største smart city-projekt, CITIES, ledet af netop Henrik Madsen, samt tankenkanten Gron Energi under Dansk Fjernvarme, viser, at fjernvarmesektoren kan spare mellem 240 og 790

mio. kr. ved at indføre datadrevet temperaturregulering af fremlobstemperaturen, fordi temperaturen kan senkes tre til ti grader. Lavere temperatur sparer også CO<sub>2</sub>, ligesom varmetabet i nettet mindskes.

"Der er store potentieler ved at gå fra erfaring og simulationsbaseret styring ud til tegninger af ledningsnettet til datadynamisk optimering af fjernvarmen. Vores projekter viser, at når fremlobstemperaturen er baseret på flere her og nu-datakilder, herunder vejdata fra lokale målestationer, optimerer vi produktionen og accelererer den grønne omstilling," siger Henrik Madsen.

## Lavere varmepriser

Svebølle Viskinge Fjernvarmeselskab med 335 husstande er ét af de forsyningsselskaber, der har øget digitaliseringen. Siden oktober 2019 har fjernvarmeselskabet i Nordvestjylland benyttet bearbejdede data fra DTU-spinout-firmaet ENFOR til optimal styring af fremlobstemperaturen.

På få måneder har man kunnet senke fremlobstemperaturen med over 20 grader. Hvor temperaturen før lå på 80,9 grader, blev den først senket til 68,1 grader, hvorefter den kunne senkes yderligere til 60 grader.



## Dynamisk datadrevet fjernvarmedrift

- Teknologien anvender AI til at bearbejde data til at forudsige varmehøvle, pumpebehov og temperatur på kritiske steder i fjernvarmenettet, hvor temperaturen er lavest.
- Ud fra vejrudsigtter og lokale målestationer foreslår systemet en starttemperatur. Systemet sender realtidsdata for temperaturen i nettet, kritiske steder, varmemforbruget hos slutbrugerne og vejrløb. Temperaturen og trykket reguleres i rorene. Systemet agerer efter de lokale forhold og værnet nettet af kende på en til tre måneder.
- Data kan identificere potentielle fejl og brud.
- Forskerne i CITIES og andre DTU-ledede projekter arbejder også med styring af varmepumper efter CO<sub>2</sub>-baserede algoritmer, så produktionen øges, når strømmen er lav.

KØDE-RAPPORTEN POTENTIALET VED DYNAMISK DATADREVET TEMPERATURREGULERING I FJERNVARMESEKTOREN, FRA DAMVAD ANALYTICS, GRON ENERGI OG CITIES.

"Dengang kørte vi lidt med bind for øjnene, fordi vi ikke vidste, hvordan det reelt stod til med temperaturen i fjernvarmenettet. Vi havde slet ikke forestillet os, at digitalisering kunne blive så stor en gevinst."

SVEN MÜLLER, BESTYRELSESFORMAND FOR SVEBØLLE VISKINGE FJERNVARMESELSKAB

## Transformationen

Figuren skitserer, hvordan den digitale transformation i fjernvarmen kommer til at foregå med data fra fjernafseste måleure (smartmeters).

KE-DK INNOVATION IN INDUSTRIE 4.0:  
FJERNVARMEN TIL DATADREVET MØRKØDE,  
JUNI 2020, DTU, p. 5.



Det giver en anslægt besparelse på mindst 550 MWh og en reduktion på 110.000 kr. i årlige produktionsomkostninger. Man regner med på sigt at sænke varmetabet i nettet til under 30 pct., og at varmeprisen falder med 47 pct. i perioden 2015-2025.

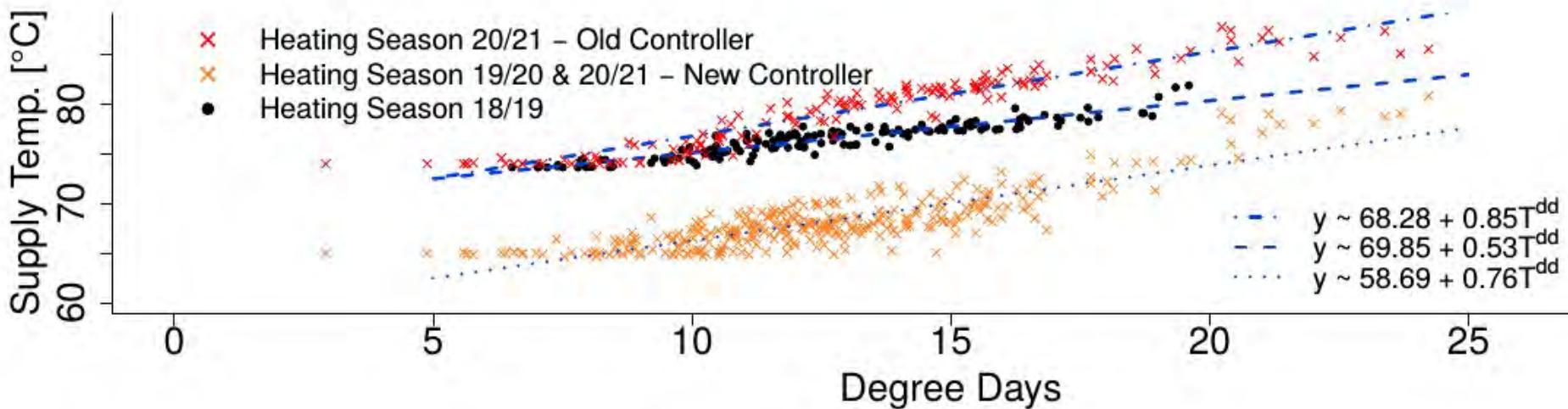
Inden Svebølle Viskinge Fjernvarmeselskab gik over til datadrevet drift, benyttede man såkaldt simulationsbaseret drift baseret på viden om fjernvarmenettet, erfaring og kun lidt forecast.

## ■ Svebølle-Viskinge DH: Lowered the temperature with 12 degrees



# Supply temperature (Svebølle-Viskinge)

## Old and new controllers



# Data Intelligent Temperature Optimization Using Smart Meter Data

- **Self-calibrating models**
- Eliminates or **reduces the need for critical points** in the net
- Identify needs for **upgrade** of the local net (inkl. stikledning)
- Find users with **high flow** or other issues
- Next generation of **temperature zones**
- Use user installations to **store energy locally**
- Better integration of **heat pumps**
- Time-varying prices – active use of end-users



# Control of Temperatures in DH Systems



Styring af temperatur rummer  
kæmpe sparepotentiale

## Lesson learned:

- Control using **simulation** of temperature gives up to **10 pct reduction** of heat loss.
- Control using **data and predictions** gives up to **20 pct. reduction** of heat loss.

# Which approach to use?

- Use **simulation based** control if:
  - No access to data from the DH network
  - Want an evaluation of new operational scenarios
- Use **prediction based** control if:
  - Access to network data online
  - Want to used meteorological forecasts automatically
  - Want automated update of models



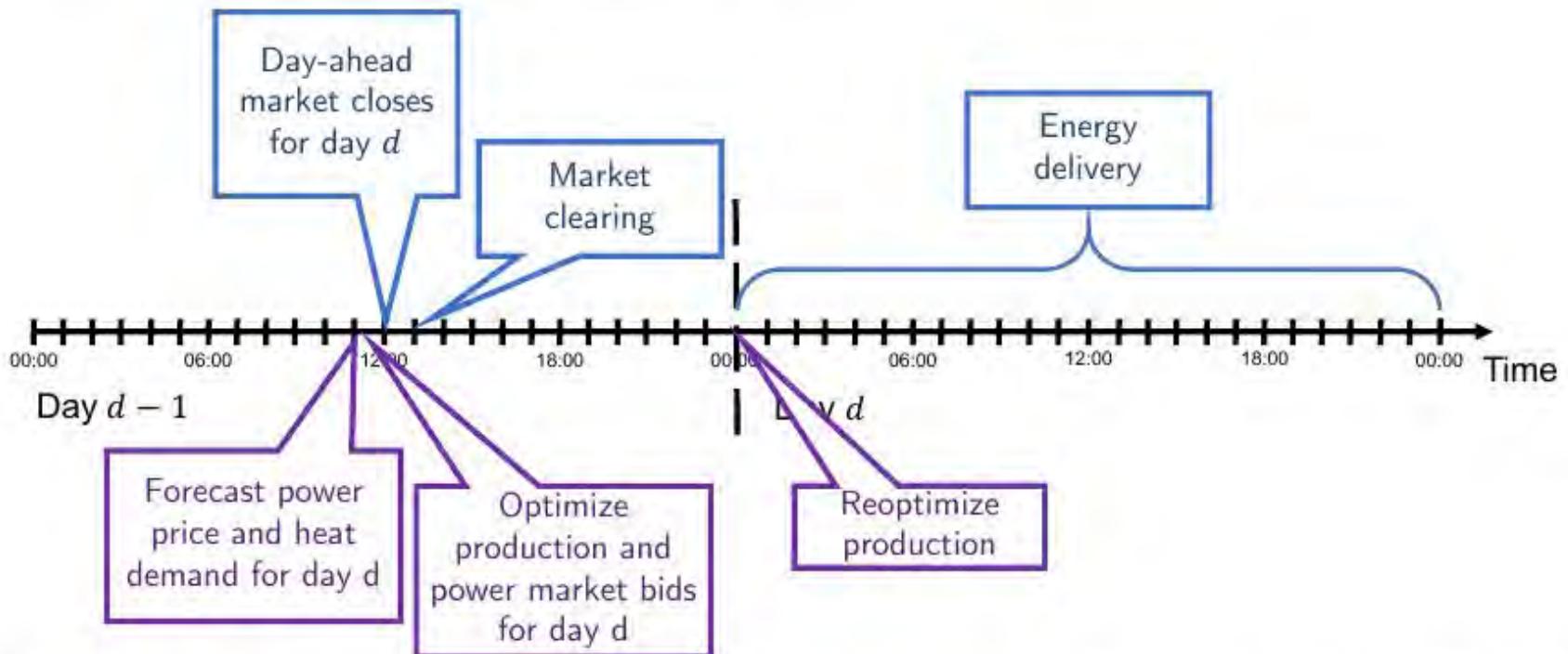
# Optimal Operation and Bidding for District Heating (CHP)



## Illustrative case study on simplified Brønderslev system [Guericke et al., 2022]

- Historical Science Cloud data (1 week in October 2020)
- Market-independent units: boiler (natural gas); solar thermal unit
- Market-dependent units: 7 CHP units (natural gas), boiler (electric)
- Optimization for 7 days in rolling horizon manner
- 2 cases: with and without day-ahead market bidding (no balancing/special regulation markets)

# Optimisation and market interaction

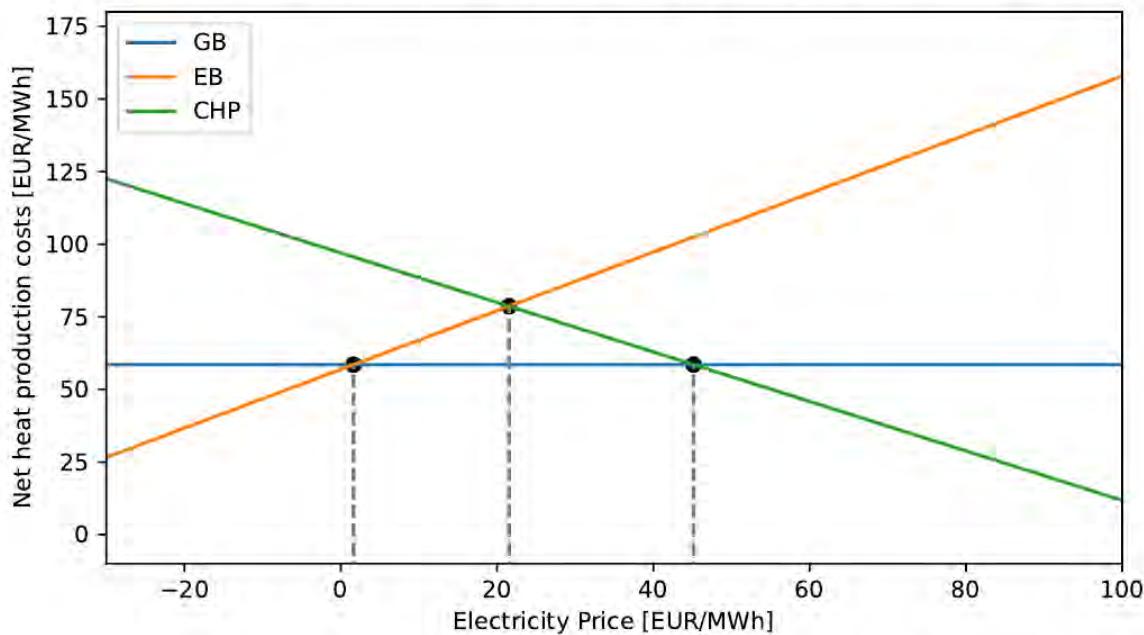


**Research goal:** Develop a methodology for automated optimization and bidding

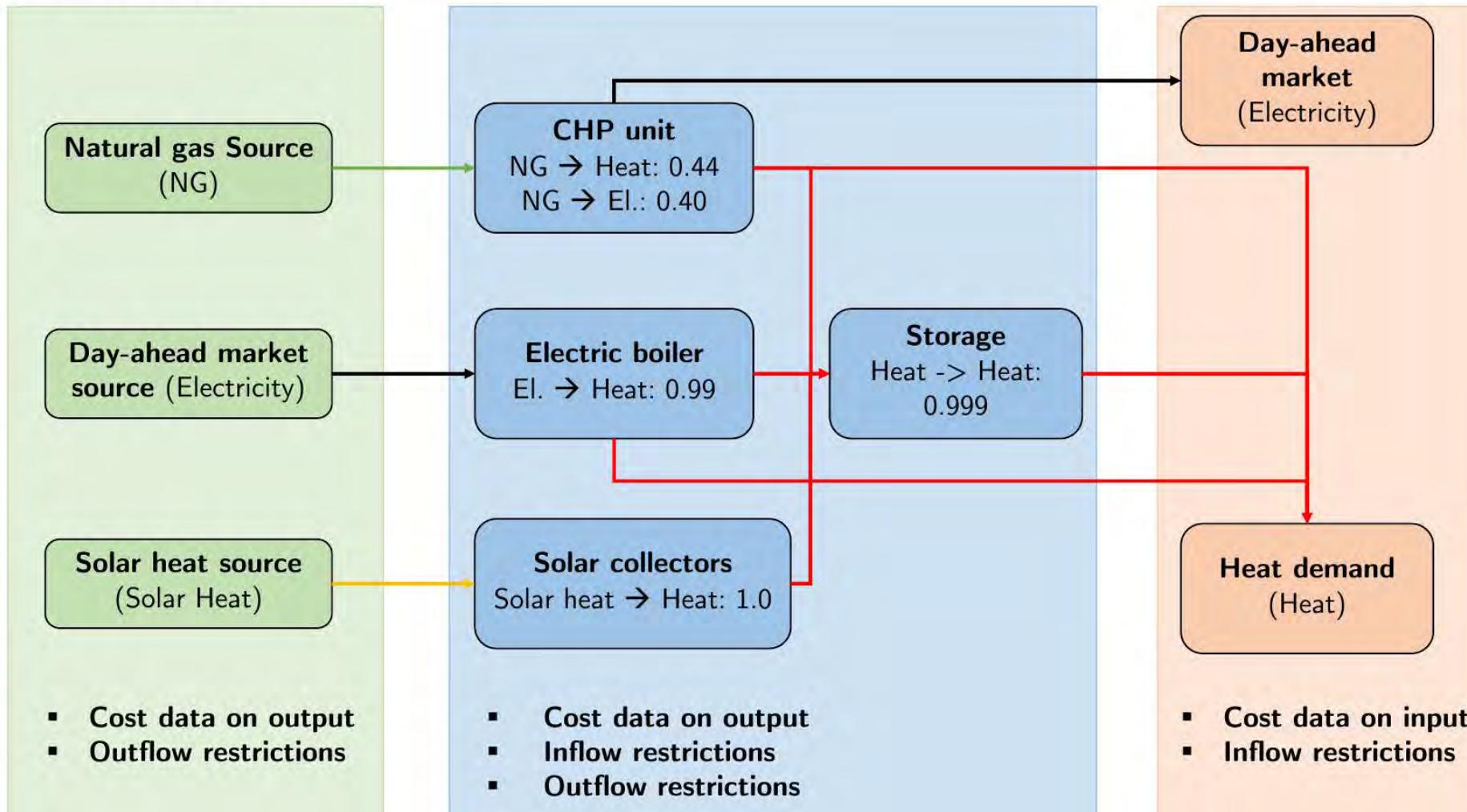
- reduce the heat production costs
- utilise synergy effects of heat and power sectors

## Bid generation

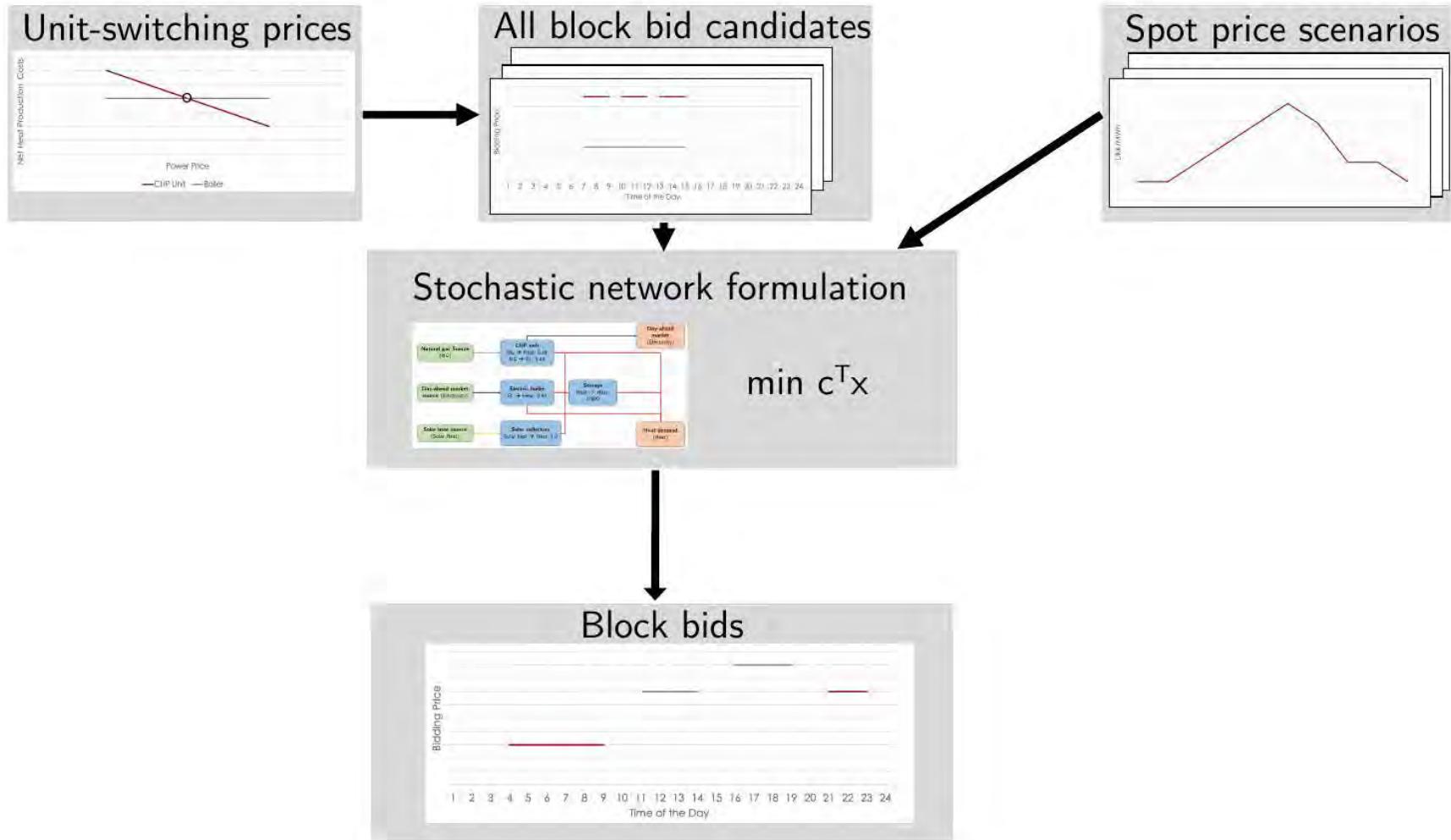
- Bidding prices are unit-switching prices, i.e., at which electricity price does the CHP unit get cheaper than another unit
- Comparison of cost for producing 1 MWh-heat using network model



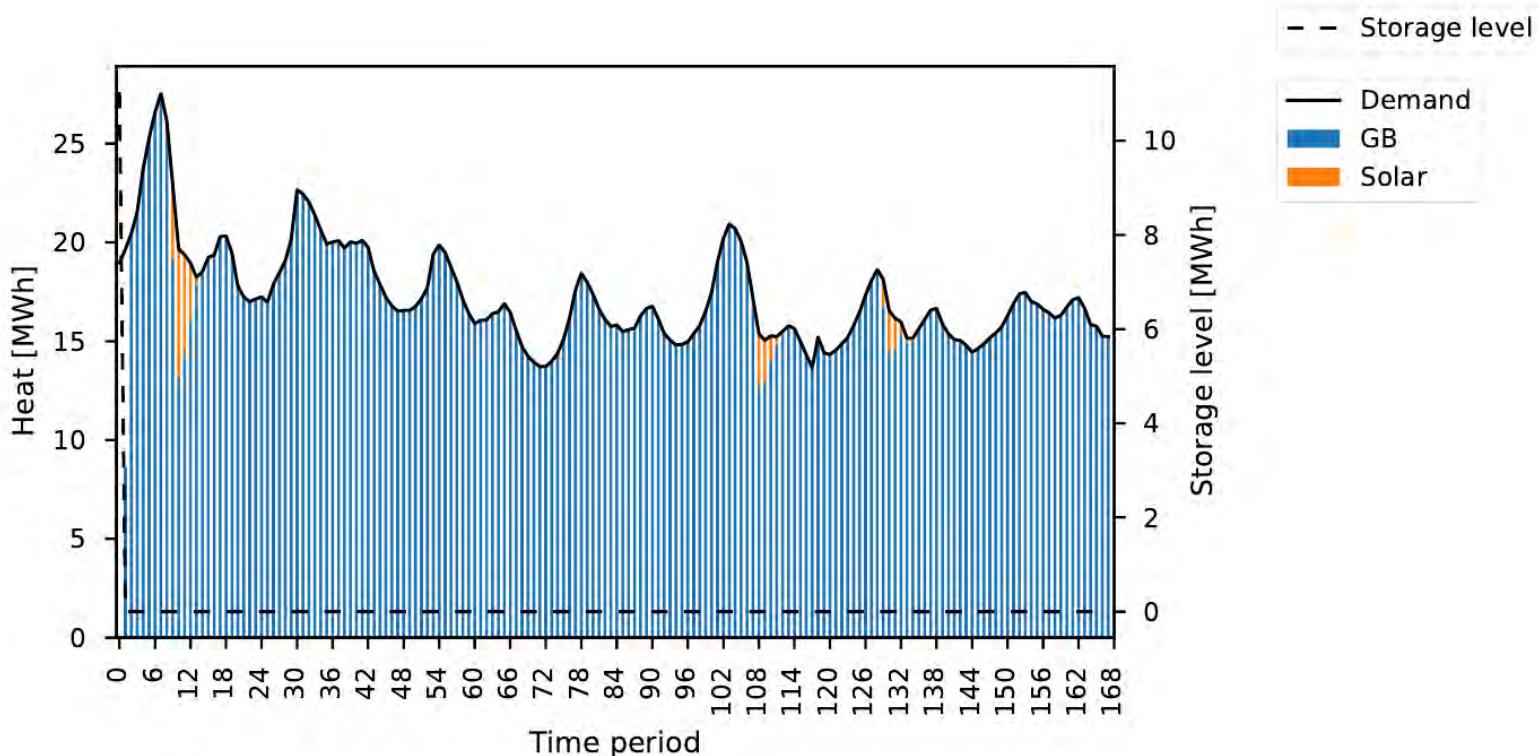
# Network representation



# Block bidding [Schledorn et al., 2021]

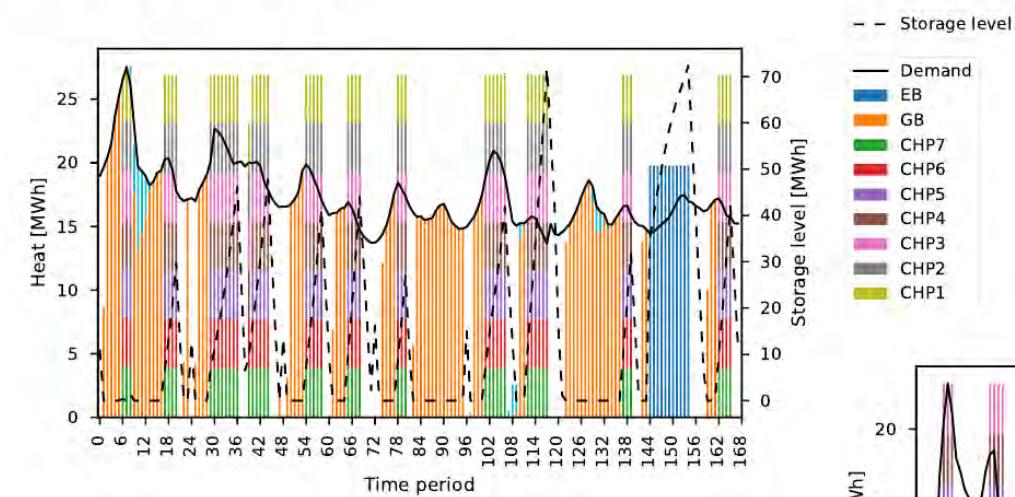


## Preliminary results (no day-ahead market bidding)

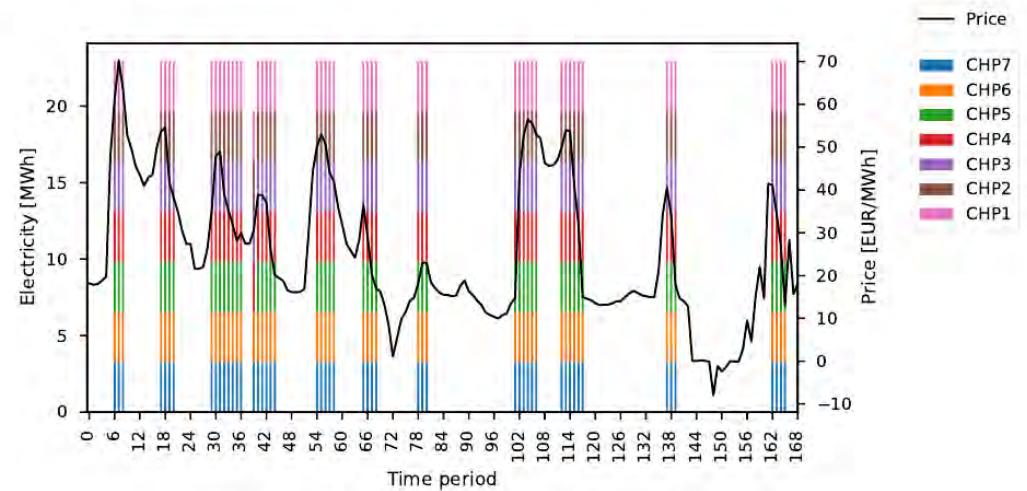


## Preliminary results (with day-ahead market bidding)

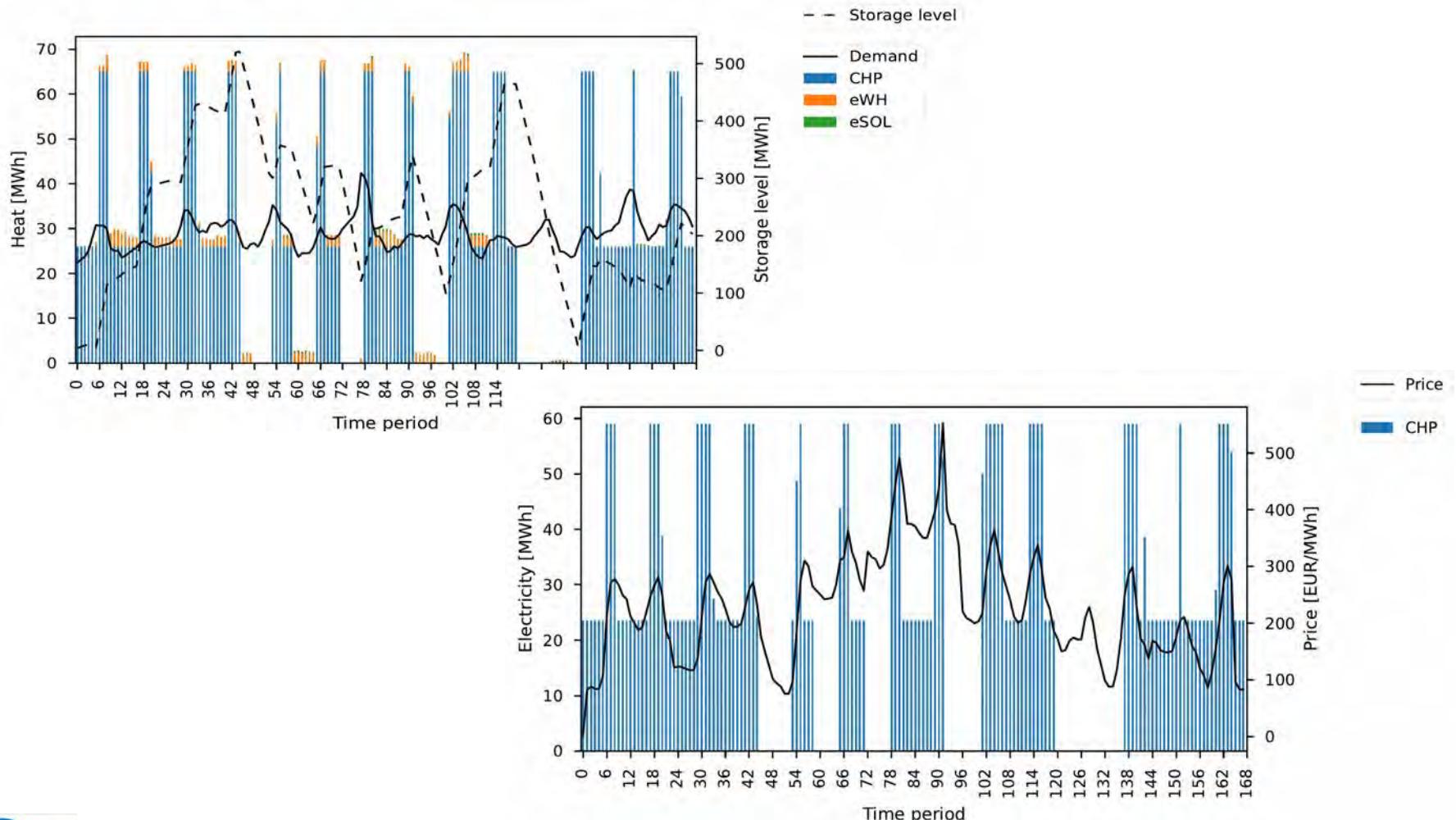
Heat production:



Electricity production:



# Example - Hillerød CHP



## Summary

- Generic method for different district heating systems modelling arbitrary energy carriers
- Integration of scheduling and electricity market bidding under uncertainty
- Applied to historical data from Brønderslev (and Hillerød)

## Thanks for the cooperation to:

- Brønderslev Fjernvarme
- VEKS (installed, but data not analysed yet)
- Hillerød Fjernvarme
- HOFOR
- Svebølle-Viskinge Fjernvarme
- Varmelast
- Sindal Fjernvarme
- Hvide Sande Fjernvarme
- Fredericia Fjernvarme (installed, but not analysed yet)
- Middelfart Fjernvarme
- Roskilde Fjernvarme
- ....



# Possible savings by data-driven operation of DH Systems

- Large savings by improved weather, heat load, and temperature forecasting
- Up to 800 mill dkr annually in Denmark by data-driven temperature optimization = (tons of CO2 savings)
- Use also of meter data - maybe 300 mill dkr extra saving (we don't know exactly how much yet)
- 10 - 30 pct savings by predictive control of heat pumps
- 5 - 20 pct savings by integrating forecasts in smart house controllers
- Up to 20 pct savings by using network and houses for flexible energy storage
- 10 - 40 pct improvements of electricity and heat load forecasts
- Up to 20 pct savings by optimal operation and bidding
  
- Thanks to HEAT4.0 many data-driven solutions now exists.  
Solutions can run in the HEATman Cloud at Center Denmark,  
at commercial companies, or locally - or in a combination.