



Symposium

“Give Brains to buildings’ energy systems: smart monitoring, management & control

Date: 7th of February 2020 from 9:00-14:00 (prior to inaugural speech of Laure Itard)

Venue: TU Delft, Faculty of Architecture and the Built Environment

‘Be smart - but first become intelligent’

From business case to lessons learned in practice (2012-2020) of an industrial (in building) smart grid in Kampen (NL).



E. (Epko) Horstman MBSE BEng
07-02-2020



Tembo group, Kampen Netherlands

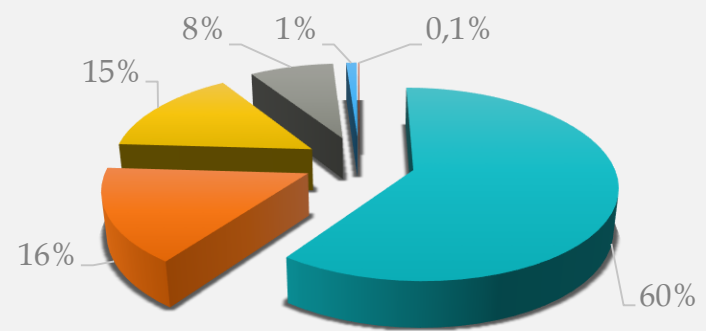
- **Call for work**
 - Design and construct
 - Heat-pump for new office
 - Budget 60 K€

- **4 Biddings**

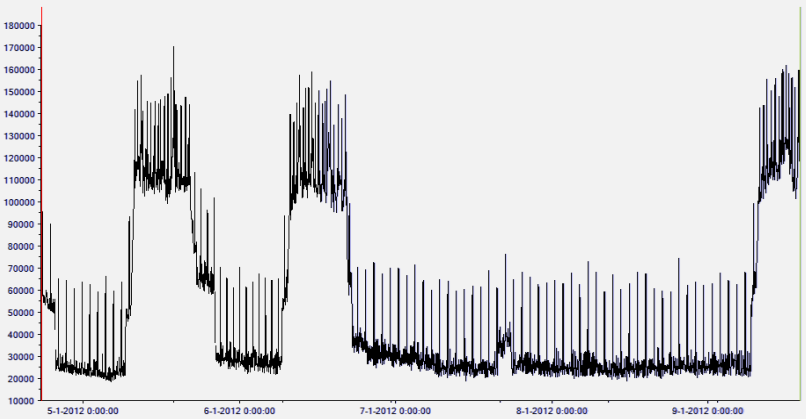
- 41,1 K€
- 48,3 K€
- 62,9 K€
- 770 K€ - 1,3 M€



Becoming intelligent *energy footprint*



- Heating
- Production
- Lighting
- Cooling
- Ventilation and pumps
- Warm water



energy footprint... every kwh...m3 gas = GJ

Checklist binnenklimaat

1. Informatie over de werkplek

1. Hoe lang werkt u al in dit gebouw? jaar maanden

2. Indien korter dan een jaar: vul het aantal maanden in

2. Hoeveel uur werkt u gemiddeld per week in het gebouw? uur per week

3. Hoeveel dagen heeft u de afgelopen week in dit gebouw gewerkt? dagen

4. Hoe wordt de ruimte waar u werkt het best beschreven? (selecteert u één antwoord mogelijk; kruis het juiste antwoord aan)

eenpersoonkamer met meerdere personen gedeelde kamer

open ruimte (bureauroost) met afscheidingen open ruimte zonder afscheidingen

anders, te weten: _____

5. Hoeveel mensen werken er in dezelfde ruimte als u (inclusief uzelf)? 1 2-3 4-7 8 of meer

6. Is er vloerbedekking (tapijt) aanwezig in de ruimte waar u werkt? ja nee

7. Hoe schoon vindt u het op uw werkplek? (selecteert u één antwoord mogelijk; kruis het juiste antwoord aan)

erg schoon redelijk schoon enigszins stoffig of vuil erg stoffig of vuil

8. Hoe is de verlichting op uw werkplek? (selecteert u één antwoord mogelijk; kruis het juiste antwoord aan)

veel te donker precies goed iets te fel

9. Heeft u wel eens last van reflecties of schitteringen op uw werkplek? (selecteert u één antwoord mogelijk; kruis het juiste antwoord aan)

ja nee

10. Hoe comfortabel is uw huidige werkplek? (het betreft de plaatsing en hoogte van de en apparatuur waarmee u werkt) (selecteert u één antwoord mogelijk; kruis het juiste antwoord aan)

erg comfortabel comfortabel vrij oncomfortabel oncomfortabel

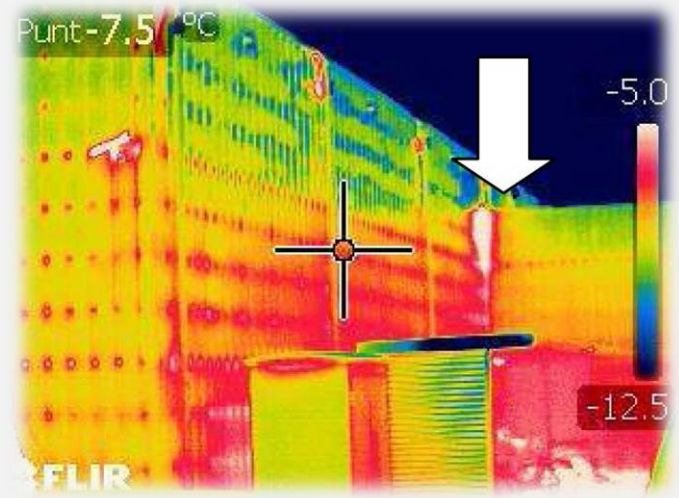
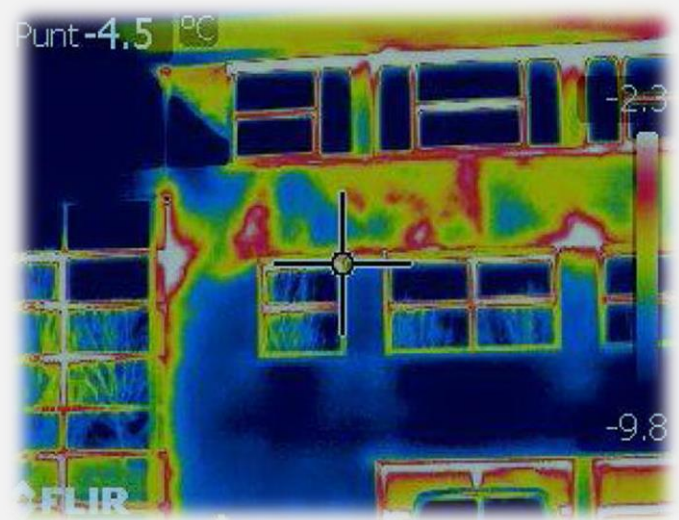
11. Hoeveel uren per dag werkt u met een beeldscherm? ja nee

Als u een computer of beeldscherm gebruikt tijdens dit werk een bril? ja nee

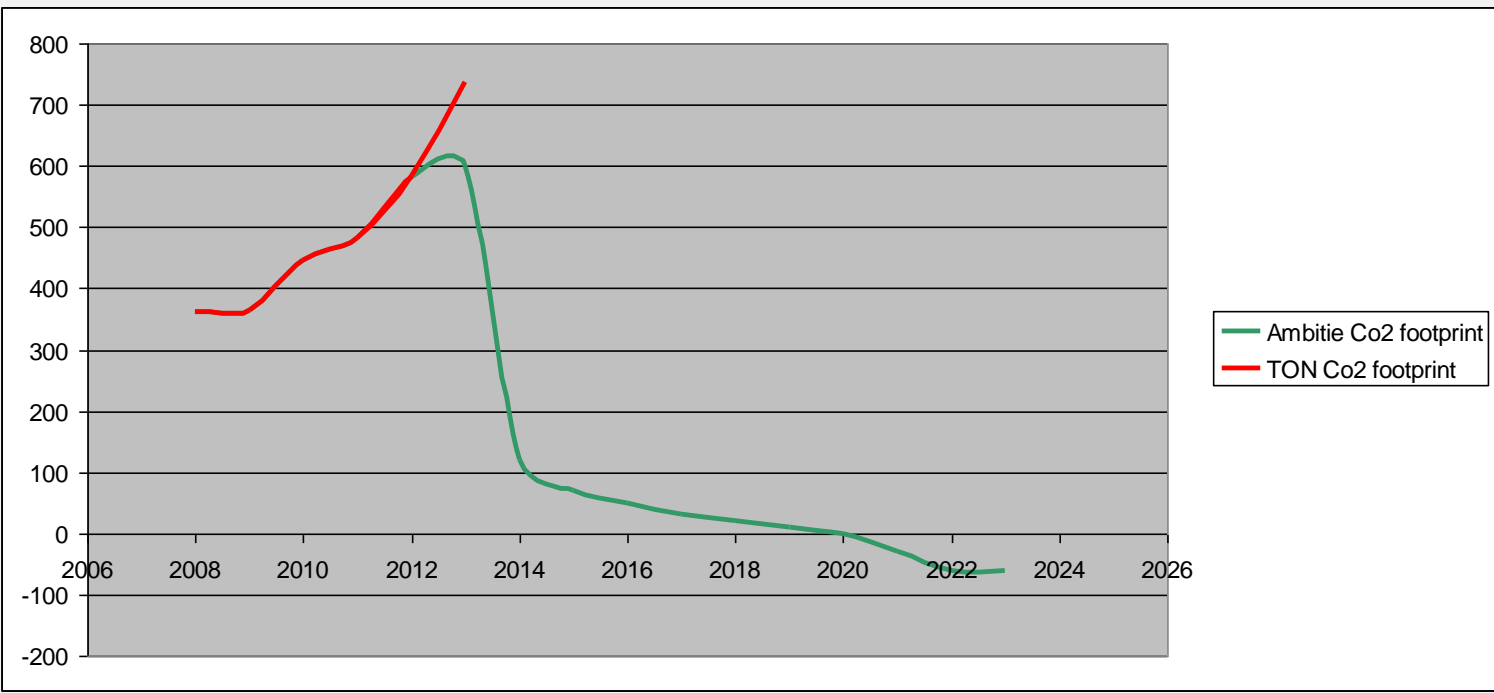
12. Heeft u een antireflectiescherm op uw computer of beeldscherm? ja nee

13. Welke van de volgende omschrijvingen beschrijft het beste het binnenklimaat in uw werkplek? (selecteert u één antwoord mogelijk; kruis het juiste antwoord aan)

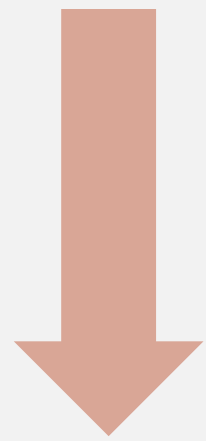
energie vocht warmte licht milieu zon lucht afvoeren werkruimte



Targets



€/GJ



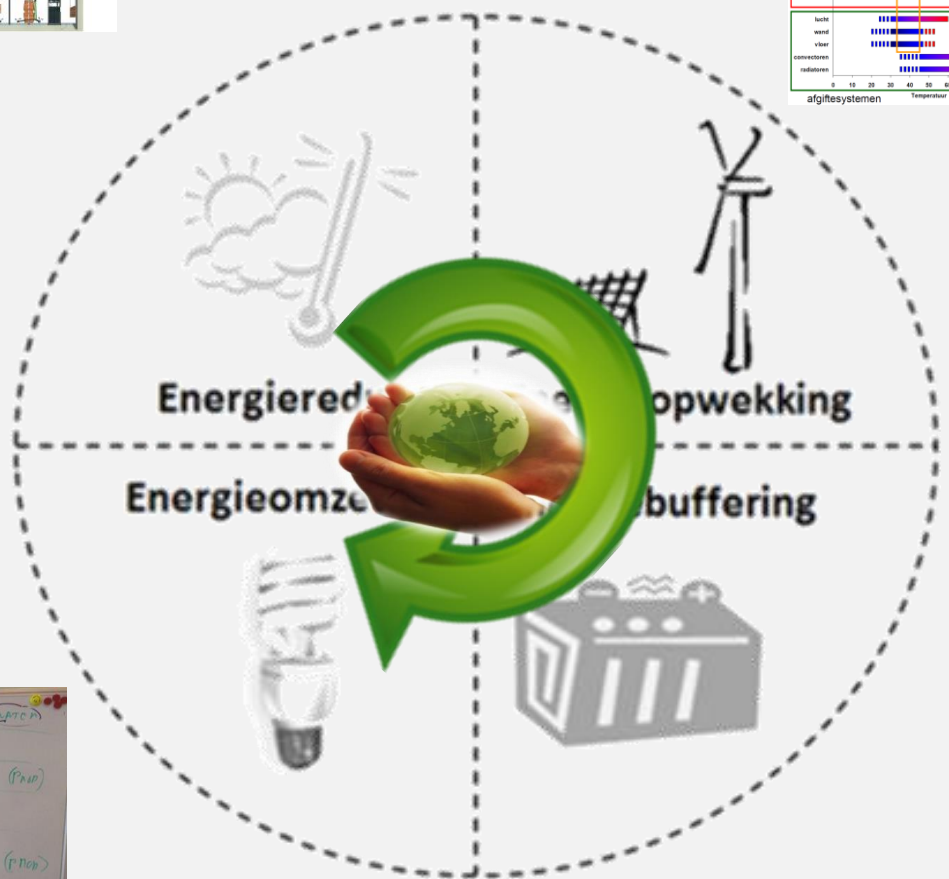
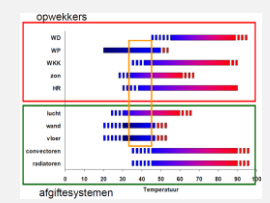
€/GJ



Putting it all together morphological

Morfologisch overzicht hoofdcomponenten TDC "energiecentrum"

Invoer houtsnippers	Invoervijzel inbouw in de straat	Invoervijzel opbouw aan de wand	Invoervijzel opbouw verplaatsbaar	Invoer via stortkoker of de bunker
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Opslag snippers	Prefab betonnen bunker	Met hout beklede staalconstructie (kooi) 100kg/m2 wanddruk	Met hout beklede staalconstructie (kooi) 100kg/m2 wanddruk	Prefab container
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Locatie opslag snippers	In nis op heipalen	In nis op geheide vloer	In hal op vloer	In hal op vloer, staalconstructie geheid
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Afwerking opslag	Staalconstructie en balken in zicht	Plaatwerk voorkant koelconstructie	Fototoek voorkant koelconstructie	€ K mnd.
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Optionele byB	Breedstedetectie	Sprinkler	€ K mnd.	€ K mnd.
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Houtkachel	Prefab betonnen stookruimte 60 min. Brandwerend	Met hout beklede staalconstructie (kooi) 60 min. brandwerend	Prefab container	
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	
Locatie houtkachel	In nis op heipalen	In nis op geheide vloer	In hal op vloer	In hal op vloer, staalconstructie geheid
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Afwerking stookruimte	Staalconstructie en balken in zicht	Plaatwerk voorkant koelconstructie met dubbele deur 60 min.	Glasen pui 60 min. met transparante dubbele deur 60 min.	€ K mnd.
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Optionele byB	Thermische melders	Sprinkler	€ K mnd.	€ K mnd.
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Opslag water	Prefab betonnen bunker met dek	In het werk gestorte kelder + dek	In het werk gestorte kelder + constructieve vloer	Silo of container gebouwd
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Locatie opslag water	In nis op heipalen in de grond	In nis op heipalen op de grond	In nis op geheide vloer	In hal op vloer, staalconstructie geheid
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Afwerking opslag	Openloze	Gelicoled	€ K mnd.	€ K mnd.
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Optioneel	Bepianting	Doorkijkluik	In hal in vloer	
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	
Optionele byB	Sprinkleroverraad	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Warmtepompen	Prefab betonnen bunker	Met hout beklede staalconstructie (kooi)	Prefab container	
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	
Locatie warmtepomp	In nis op heipalen	In nis op geheide vloer	In hal op vloer	In hal op vloer, staalconstructie geheid
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Afwerking warmtepomp	Staalconstructie en balken in zicht	Plaatwerk voorkant koelconstructie met dubbele deur	Glasen pui met transparante dubbele deur	Fototoek voorkant koelconstructie
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Optionele byB	Sprinkler	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.	€ K mnd.
Concept				



LCC	Hout CV	EWP	GasCV	kosten/energie eenheid	€ 0,04	€ 0,15	€ 0,37	€ 0,15		
15 jaar	200	100	120	COP	1	1	1	6		
66-07	1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	energie (MJ)	288.000	14.700	0	36.667		
1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	Opbrengst energie (kWh)	3.168.000	52.920	0	792.000		
1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	Opbrengst energie (kWh)	880.000	14.700	0	220.000		
1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	Rendement cent/MJ	0,3636	4,0278	#DEEL/01	0,6713		
1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	1.7E+07	Rendement cent/kWh	1,3091	14,5000	#DEEL/01	2,4167		
5.330										
	Jaartal	Investering CVW opwekkers	Investering GKW opwekkers	Investering afgifte	Kosten installatie	Kosten CVW onderhoud	Kosten CVW elektriciteit	Kosten GKW gas	Kosten GKW elektriciteit	Totaal
	2012	€ 110.000,00	€ 180.000,00		€ 167.000,00	€ 4.350,00	€ 11.520,00	€ 2.131,50	€ 5.316,67	€ 480.318,17
	2013				€ 4.437,00	€ 11.980,80	€ 2.216,76	€ 5.369,83	€ 504.322,56	
	2014				€ 4.525,74	€ 12.460,03	€ 2.305,43	€ 5.423,53	€ 529.037,29	
	2015				€ 4.616,25	€ 12.958,43	€ 2.397,65	€ 5.477,77	€ 554.487,40	
	2016				€ 4.708,58	€ 13.476,77	€ 2.493,55	€ 5.532,54	€ 580.698,85	
	2017				€ 4.802,75	€ 14.015,84	€ 2.593,30	€ 5.587,87	€ 607.698,50	
	2018				€ 4.898,81	€ 14.576,48	€ 2.697,03	€ 5.643,75	€ 635.514,66	
	2019				€ 4.996,78	€ 15.159,53	€ 2.804,91	€ 5.700,19	€ 664.176,07	
	2020				€ 5.096,72	€ 15.765,92	€ 2.917,10	€ 5.757,19	€ 693.713,00	
	2021				€ 5.198,65	€ 16.396,55	€ 3.033,79	€ 5.814,76	€ 724.156,75	
	2022				€ 5.302,63	€ 17.052,41	€ 3.155,14	€ 5.872,91	€ 755.539,84	
	2023				€ 5.408,68	€ 17.734,51	€ 3.281,35	€ 5.931,64	€ 787.896,01	
	2024				€ 5.516,85	€ 18.443,89	€ 3.412,60	€ 5.990,95	€ 821.260,31	
	2025				€ 5.627,19	€ 19.181,65	€ 3.549,10	€ 6.050,86	€ 855.669,11	
	2026				€ 5.739,73	€ 19.948,91	€ 3.691,07	€ 6.111,37	€ 891.160,20	
	2027	€ 14.804,55			€ 5.854,53	€ 20.746,87	€ 3.838,71	€ 6.172,48	€ 927.577,34	
	2028				€ 5.971,62	€ 21.576,74	€ 3.992,26	€ 6.234,21	€ 960.552,17	
	2029				€ 6.091,05	€ 22.439,81	€ 4.151,94	€ 6.296,45	€ 1.000.000,00	
	2030				€ 6.212,87	€ 23.337,41	€ 4.318,18	€ 6.360,00	€ 1.040.000,00	
	2031				€ 6.337,13	€ 24.270,90	€ 4.490,00	€ 6.424,00	€ 1.080.000,00	
	2032				€ 6.463,87	€ 25.241,00	€ 4.670,00	€ 6.488,00	€ 1.120.000,00	
	2033				€ 6.593,15	€ 26.247,00	€ 4.855,00	€ 6.552,00	€ 1.160.000,00	
	2034				€ 6.725,01	€ 27.287,00	€ 5.045,00	€ 6.616,00	€ 1.200.000,00	
	2035				€ 6.859,51	€ 28.367,00	€ 5.245,00	€ 6.680,00	€ 1.240.000,00	
	2036				€ 6.995,70	€ 29.490,00	€ 5.455,00	€ 6.744,00	€ 1.280.000,00	
	2037				€ 7.133,66	€ 30.650,00	€ 5.675,00	€ 6.808,00	€ 1.320.000,00	
	2038				€ 7.273,39	€ 31.845,00	€ 5.905,00	€ 6.872,00	€ 1.360.000,00	
	2039				€ 7.414,89	€ 33.075,00	€ 6.145,00	€ 6.936,00	€ 1.400.000,00	
	2040				€ 7.558,16	€ 34.345,00	€ 6.395,00	€ 7.000,00	€ 1.440.000,00	
	2041				€ 7.703,20	€ 35.655,00	€ 6.655,00	€ 7.064,00	€ 1.480.000,00	

Kwantitatief (C)

Kwalitatief

Potentiele opbrengsten

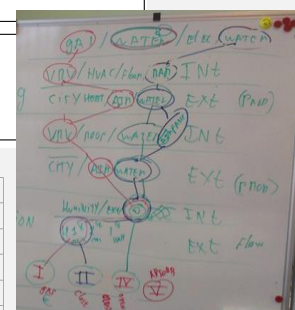
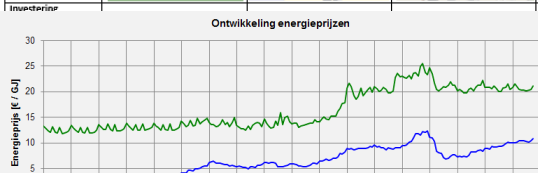
Business Case

Benodigde investeringen / Opgeven voor de organisatie

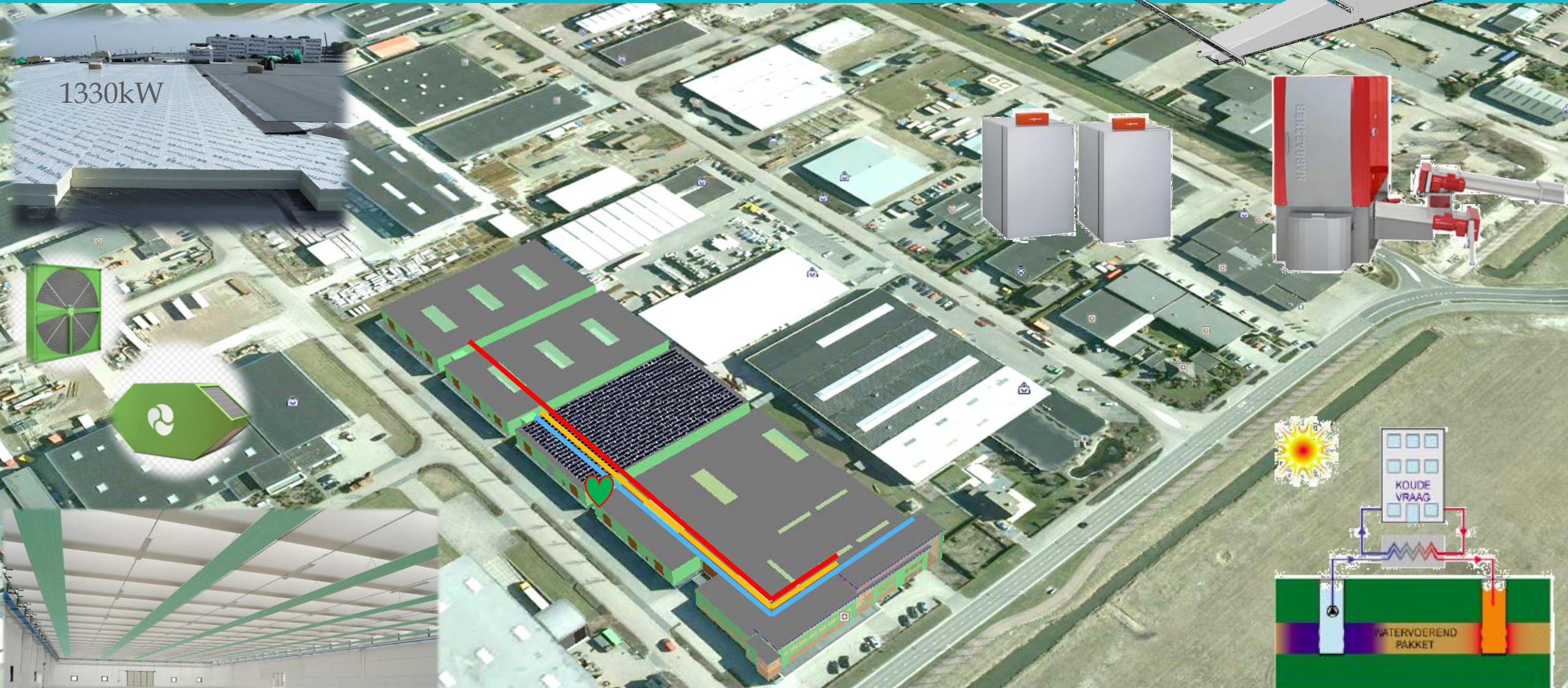
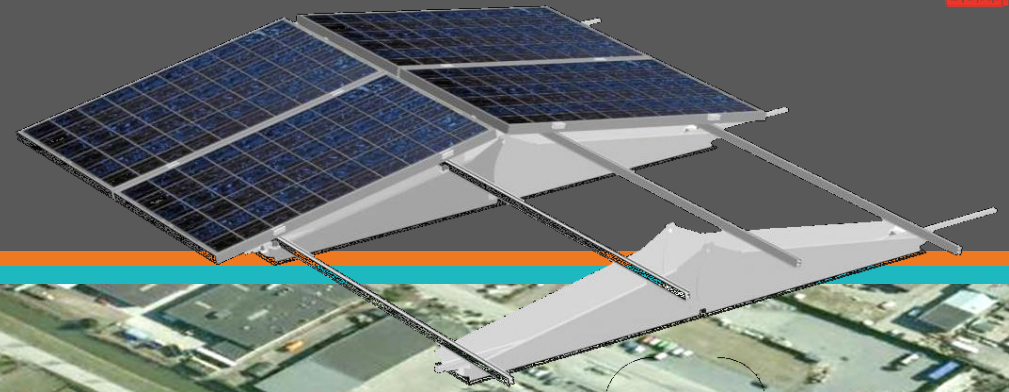
Overheidsbijdrage	€ 100.000,00	Leverancier	
Opbrengst gemeente	€ 100.000,00	Opbrengst huur	€ 100.000,00
Afgeleverde ruimte	€ 200.000,00	Verhuurschuld	€ 100.000,00
€ 100.000,00	€ 100.000,00	€ 100.000,00	€ 100.000,00
Stichting + over	€ 100.000,00		
Totaal aanvraag	€ 300.000,00		
€ 300.000,00	€ 300.000,00		
Totaal aanvraag	€ 300.000,00		

Ongewenste neveneffecten

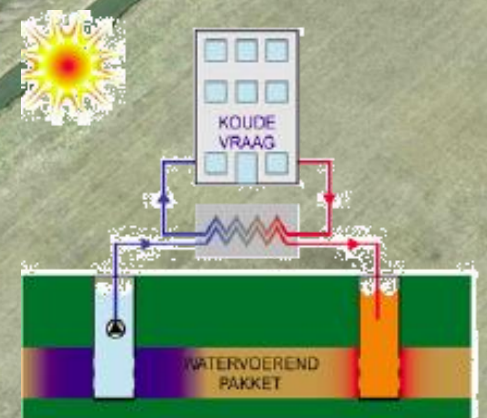
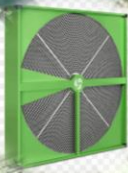
Scenario 1	Scenario 6
"Gewoon doorgegaan..."	"HoutCV + WKD + eWP"
• Decentraal opgewekt:	• Collectief opgewekt:
– Uitbreiding kantoor;	– Uitbreiding kantoor;
– Experience hall;	– Experience hall;
– Gemeen Besparingen;	– Gemeen Besparingen;
– Investerings voor zich;	– Investerings voor zich;
Pmax(CV) = >1440kW	Pmax(CV) = 320kW
Pmax(GKW) = 300kW	Pmax(GKW) = 270kW



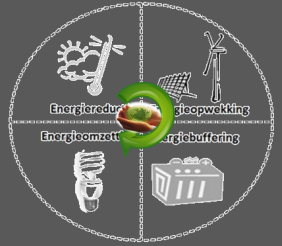
The proposal



1330kW



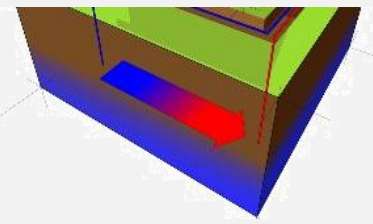
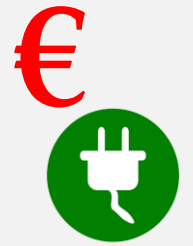
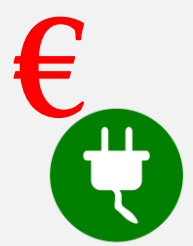
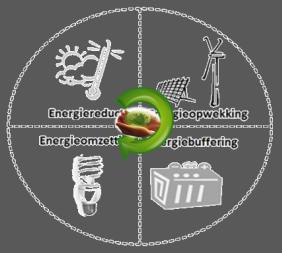
The proposal



is also going to be SMART



The proposal



GJ

GJ

GJ

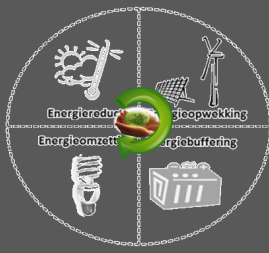
GJ

GJ

GJ

GJ

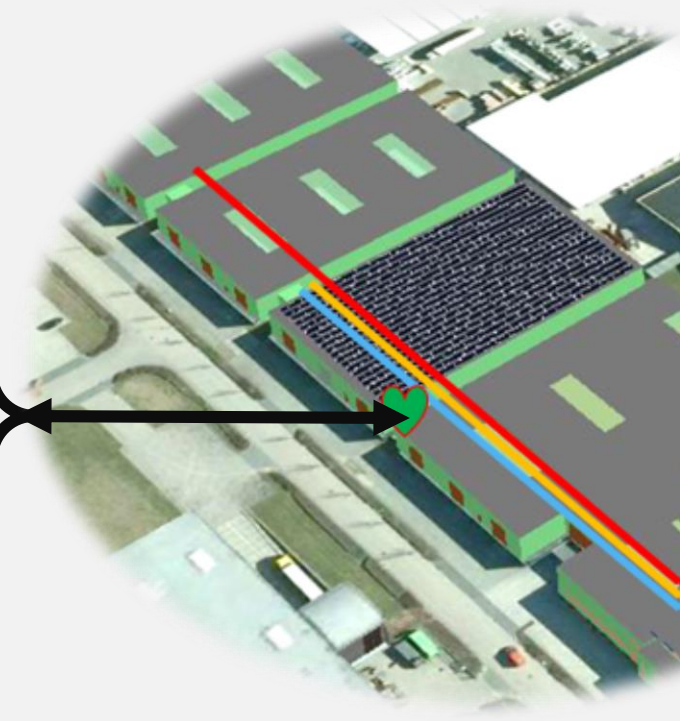
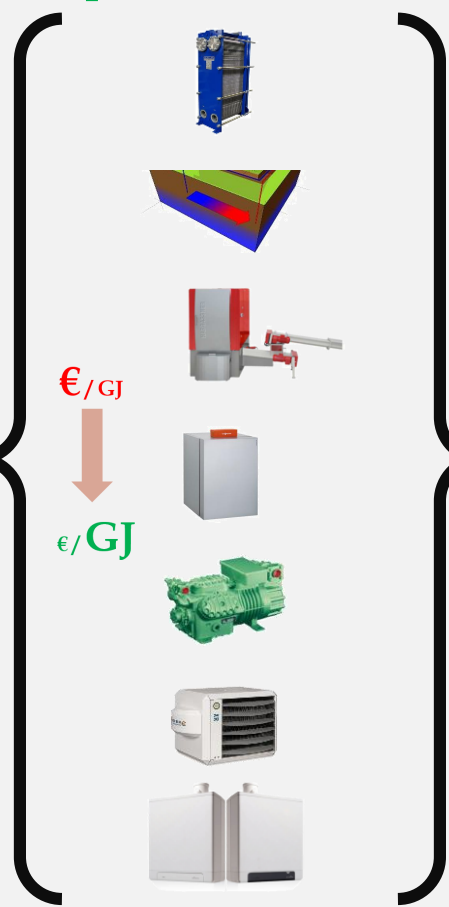
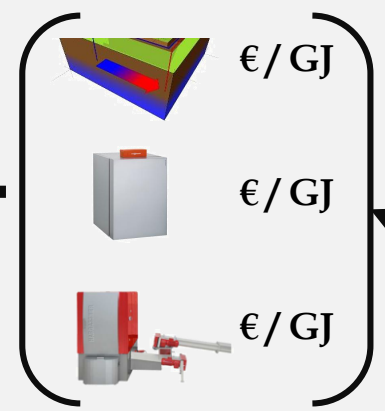
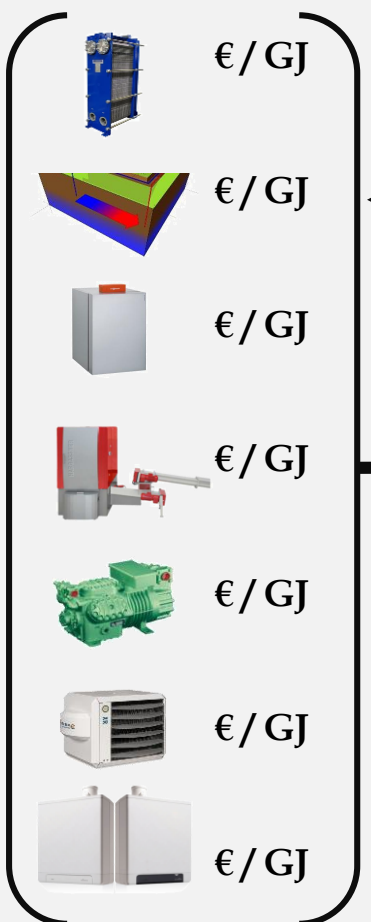
The smart thing



Static

Dynamic

Preferred operation



The smart thing



typical factory day



200 KW



HARTH



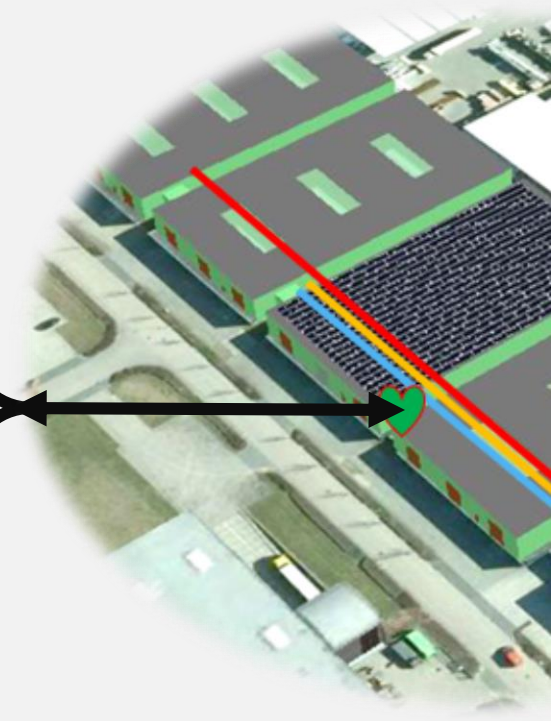
Elec

Preferred operation



Heat

Cool



The smart thing



weekend



Preferred operation

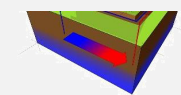
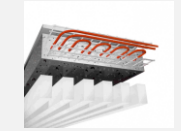
60+60+120 KW



LTH

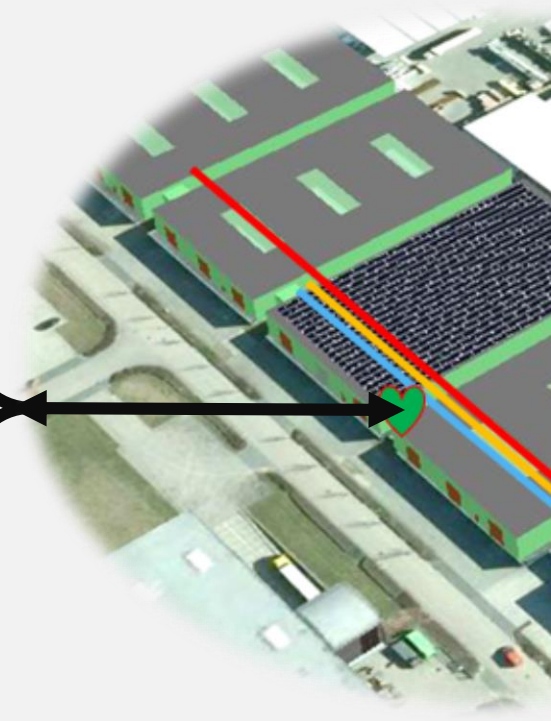


Elec



Heat

Cool



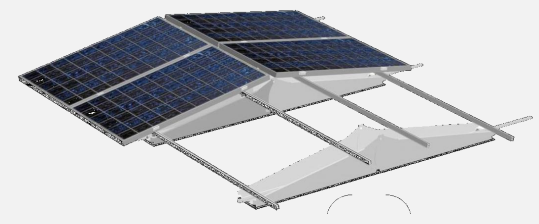
The smart thing



fall or spring

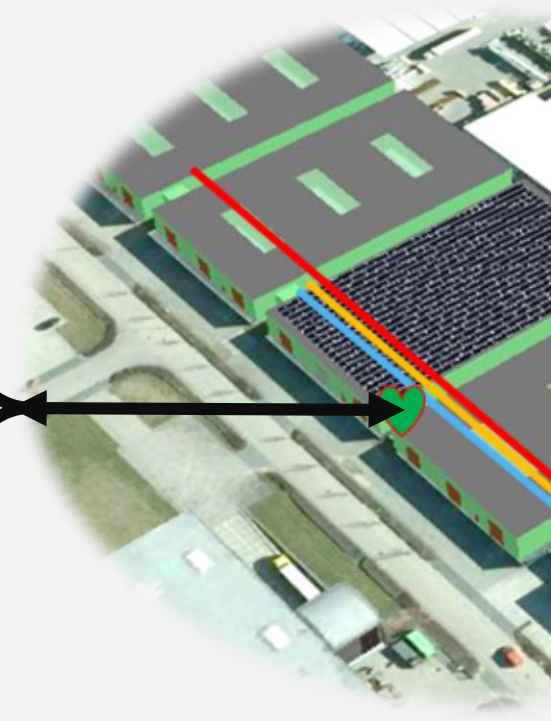
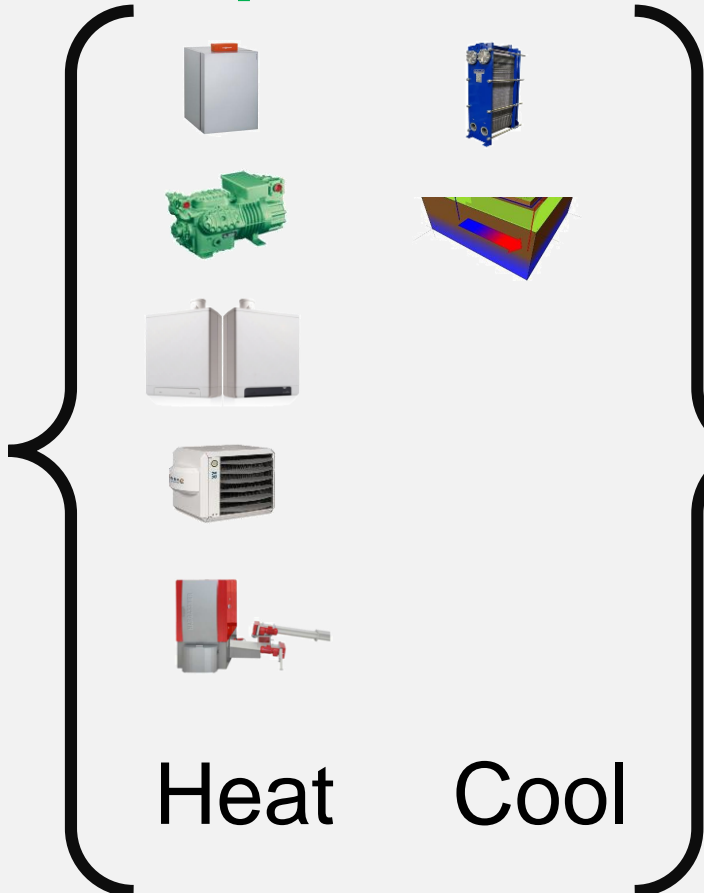


LTH + HTC

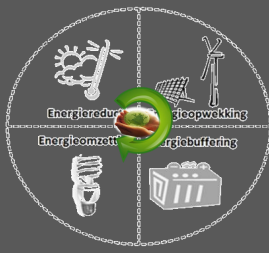


Elec

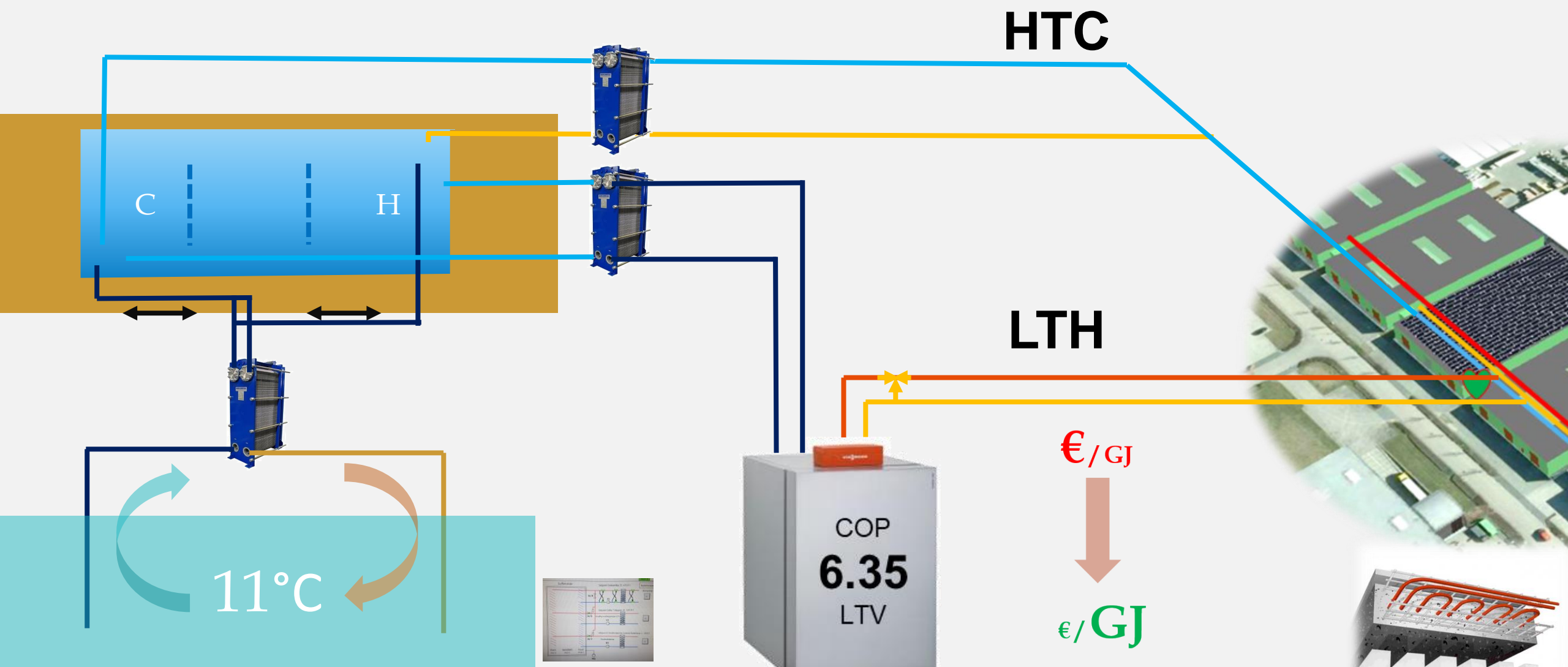
Preferred operation



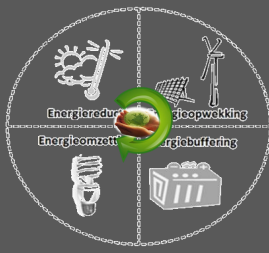
The smart thing



COP optimisation



The smart thing



Summer

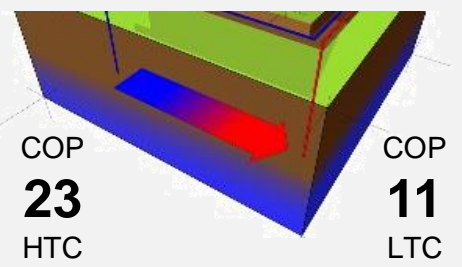


€/**GJ**

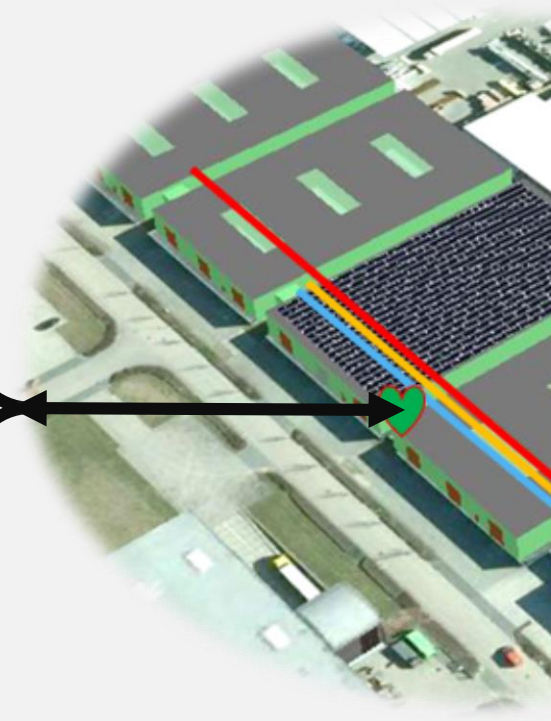
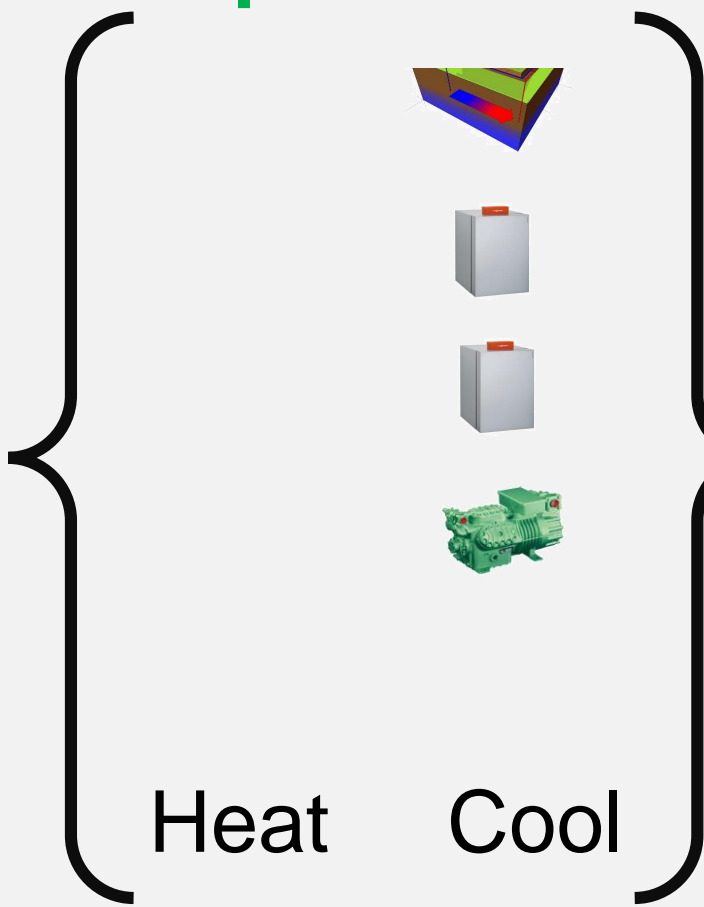
210 KW 330 KW

€/**GJ**

150 KW



Preferred operation



Cooling

The smart thing



typical factory day



Preferred operation

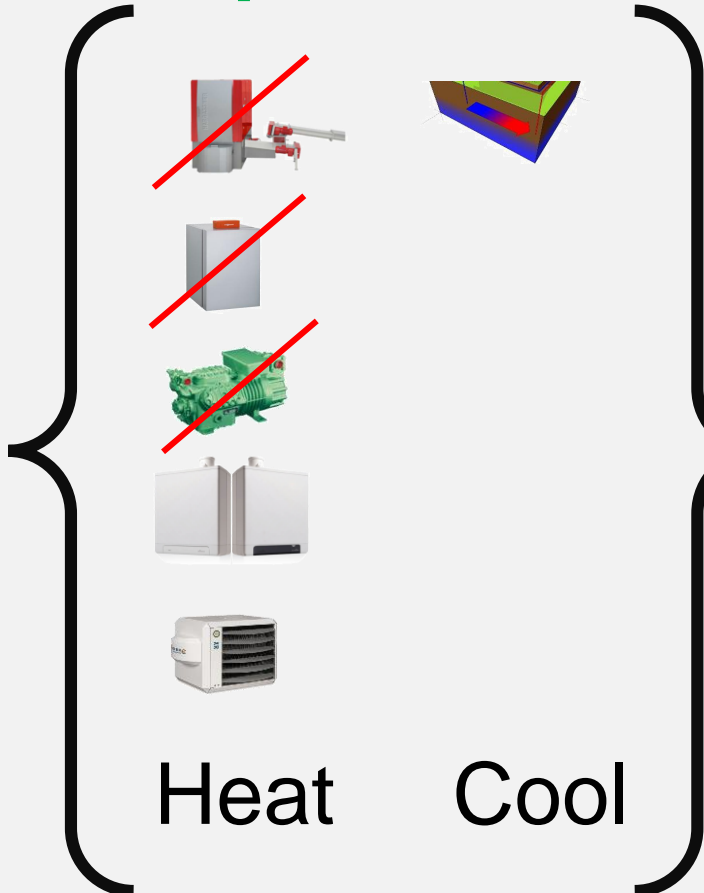
120 KW



HTH

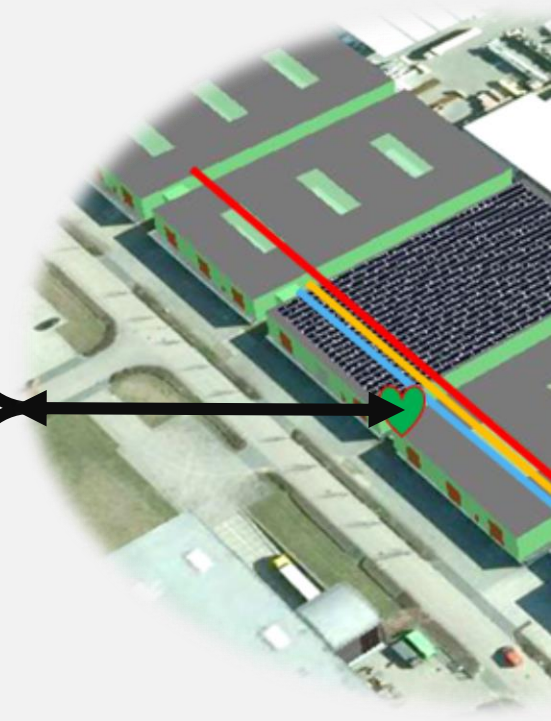
kosten/energie eenheid	€ 0,37	
COP	1	
eenheden	125.118	
opbrengst energie (MJ)	3.960.000	
opbrengst energie (kWh)	1.100.000	
rendement cent/MJ	1,1690	
rendement cent/kWh	4,2085	
investering	Kosten	Kosten
installatie	onderhoud	CVW
	gas	
57.000,00	€ 3.200,00	€ 46.293,84

€ 0,37
1
64
2.038
566
1,1690
4,2085
Kosten
GKW
gas
€ 23,82

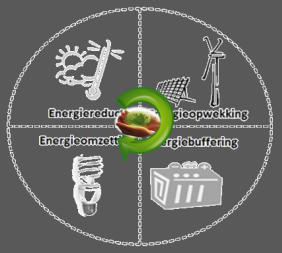


Heat

Cool



The idea



Reality today....?







Innovation Centre

SolarTeam S

Conference room

Hal 4
Energiecentrum



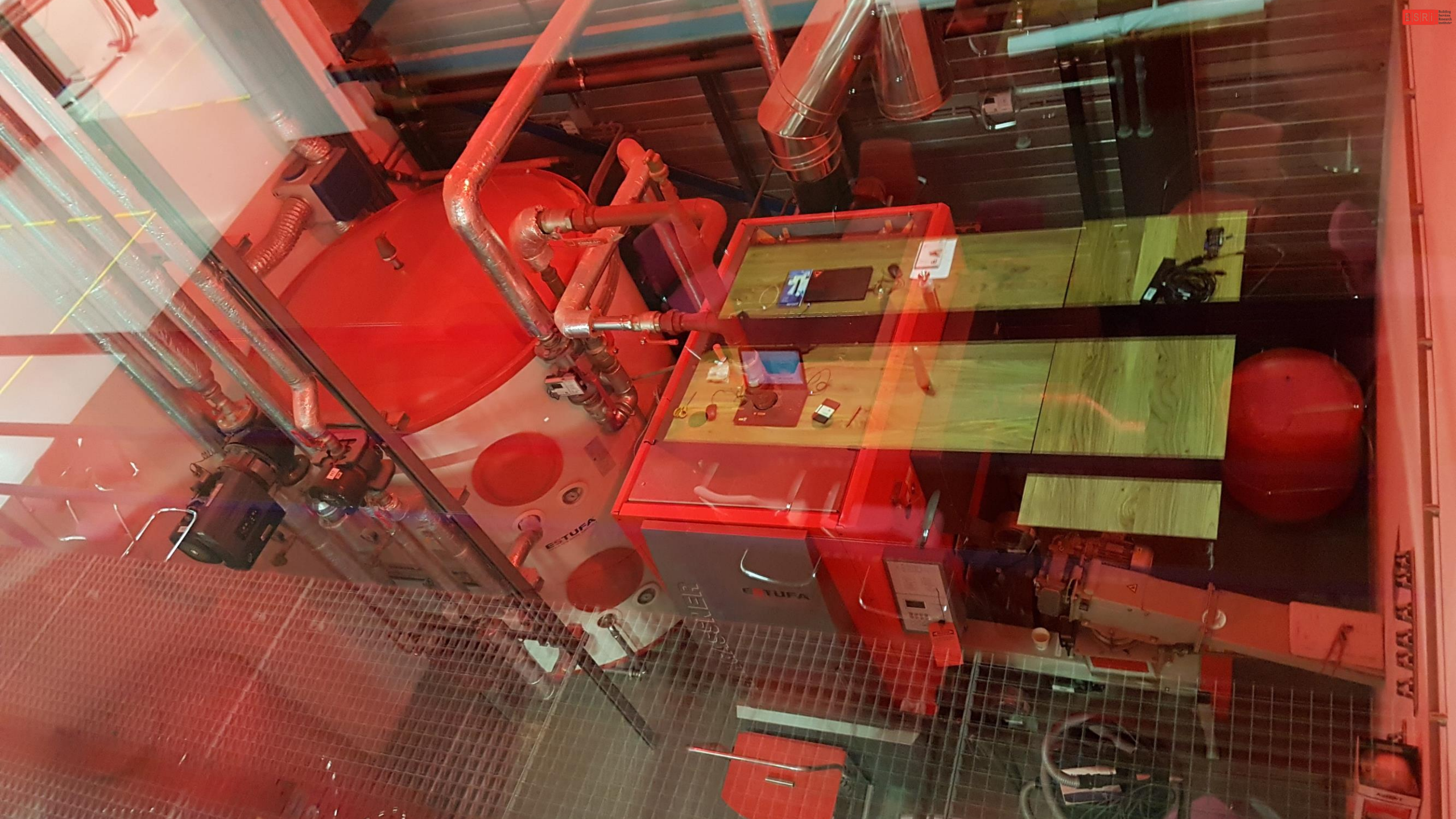


066

0J 59-VH

HARGASSNER
HEIZTECHNIK MIT
ZUKUNFT







Weergave

Instellingen

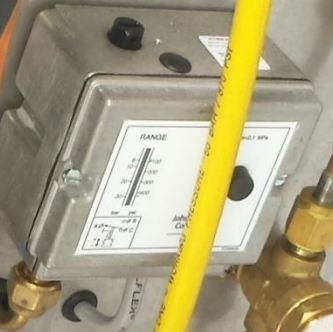
Pompefficiëntie op temp: 100.0 %
Pompefficiëntie op druk: 0.0 %
Pompefficiëntie actual: 100.0 %
BufferTemp: +9.2 C

Pompefficiëntie %

OffSet: +1.0 +0.5 +0.5 +1.0 → BufferTemp °C

Setpoint = spannetemperatuur Bin: +11.6 C

Startpunt branddruk: +2.50 Bar
Min branddruk alarm: +0.50 Bar
Max branddruk alarm: +4.00 Bar

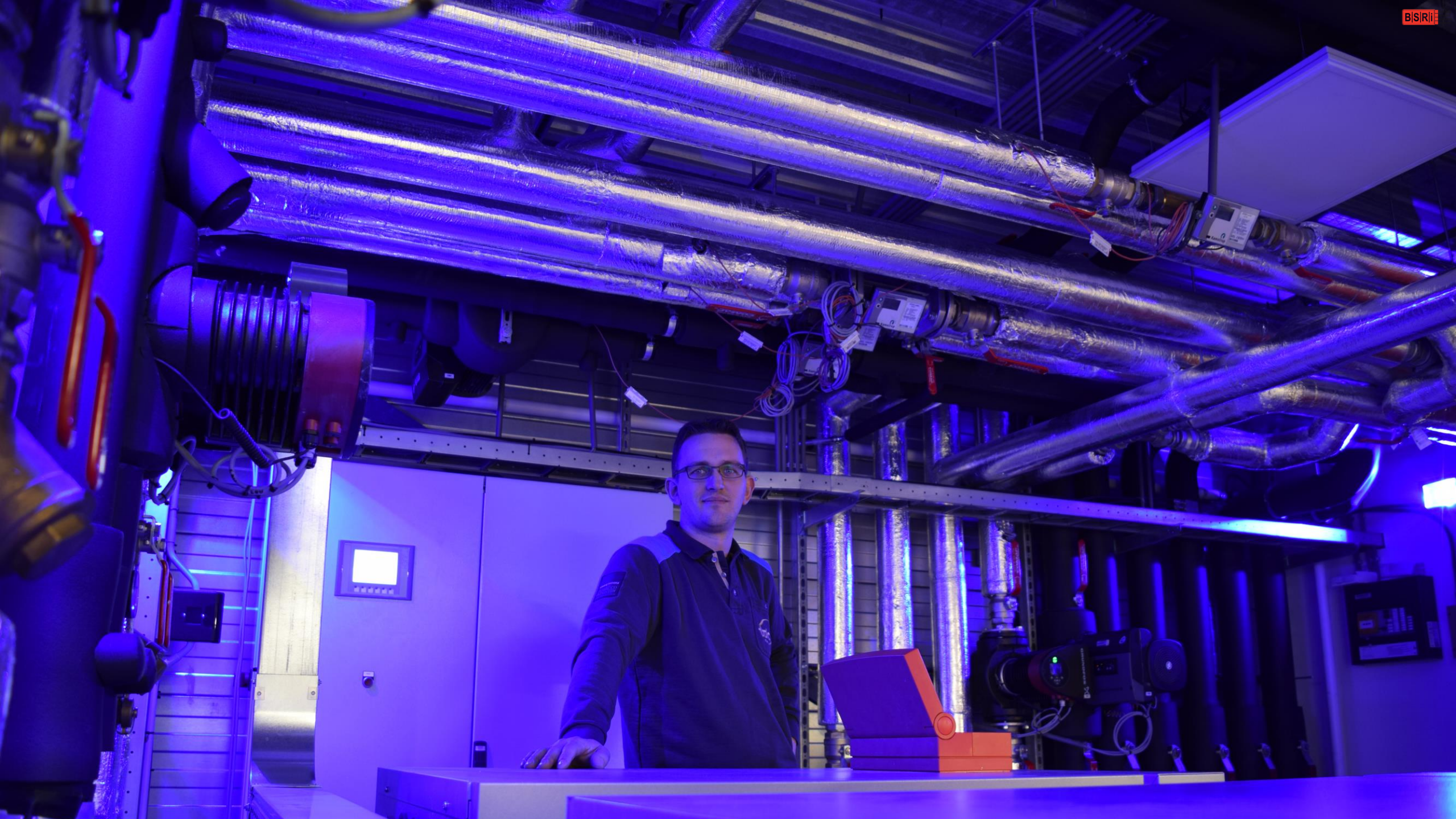


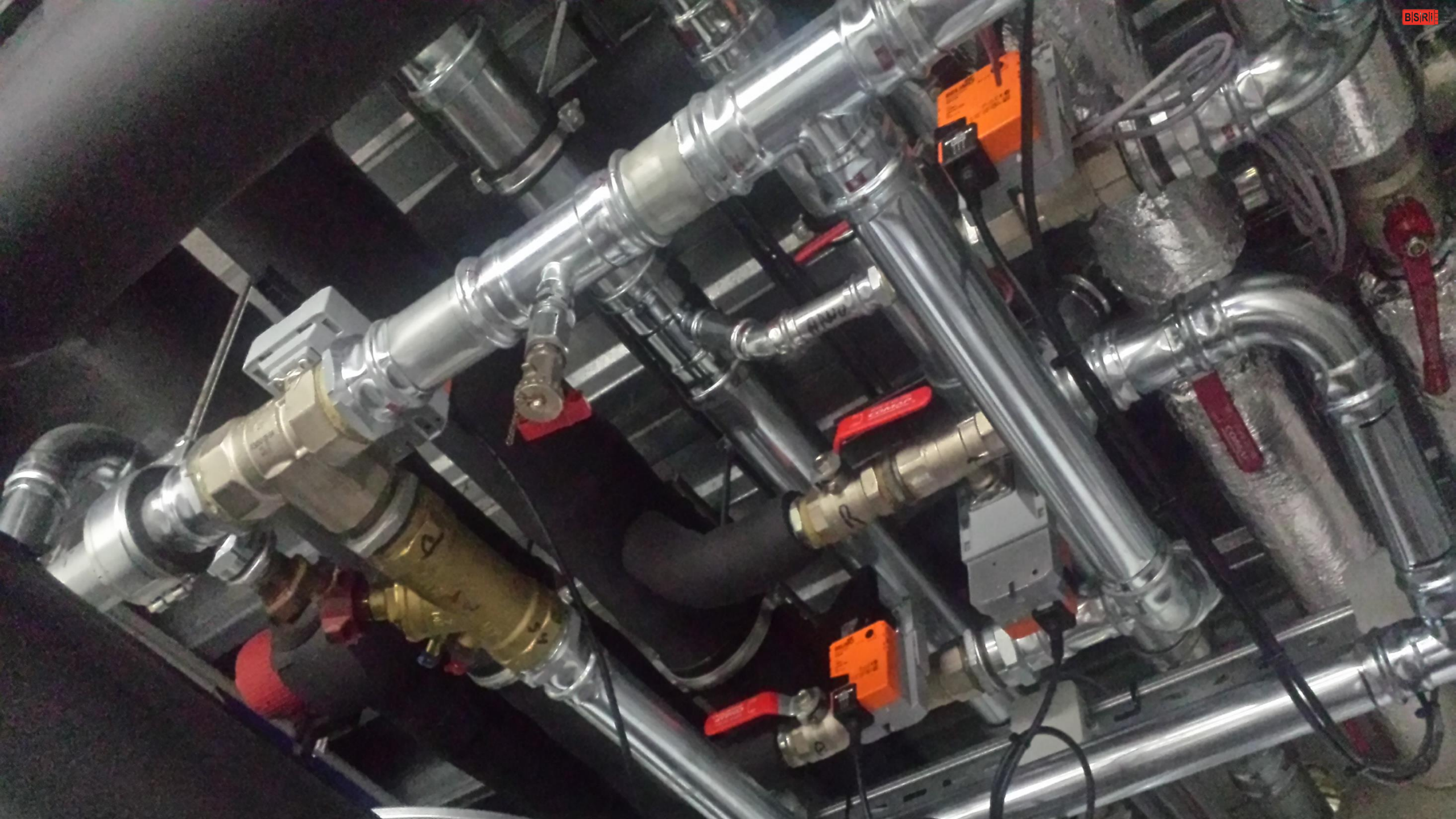


WIRELESS

VIE MANN







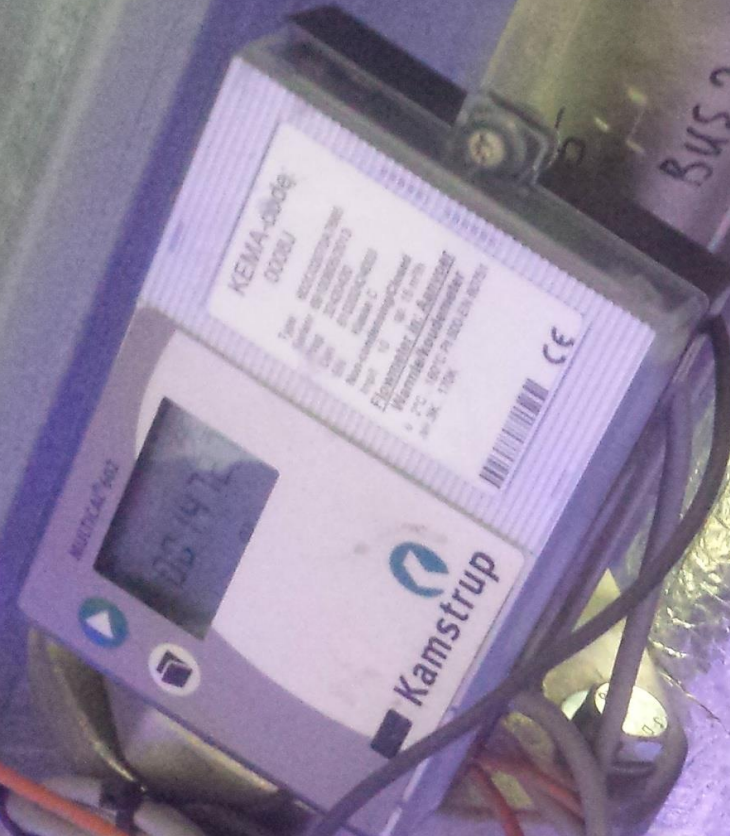


Kamstrup
MULTICA 402
DIG 1972

KEMA-code
0020U

Fluorimeter AG, Amstutzstr.
4100, 18717, 1700
18717, 1700

CE



BUS 2

Kamstrup
MULTICA 402
DIG 0000

KEMA-code
0020C

Fluorimeter AG, Amstutzstr.
4100, 18717, 1700
18717, 1700

CE



Kamstrup
MULTICA 402
DIG 0000

KEMA-code
0020A

Fluorimeter AG, Amstutzstr.
4100, 18717, 1700
18717, 1700

CE



50800169

50800169

50800169





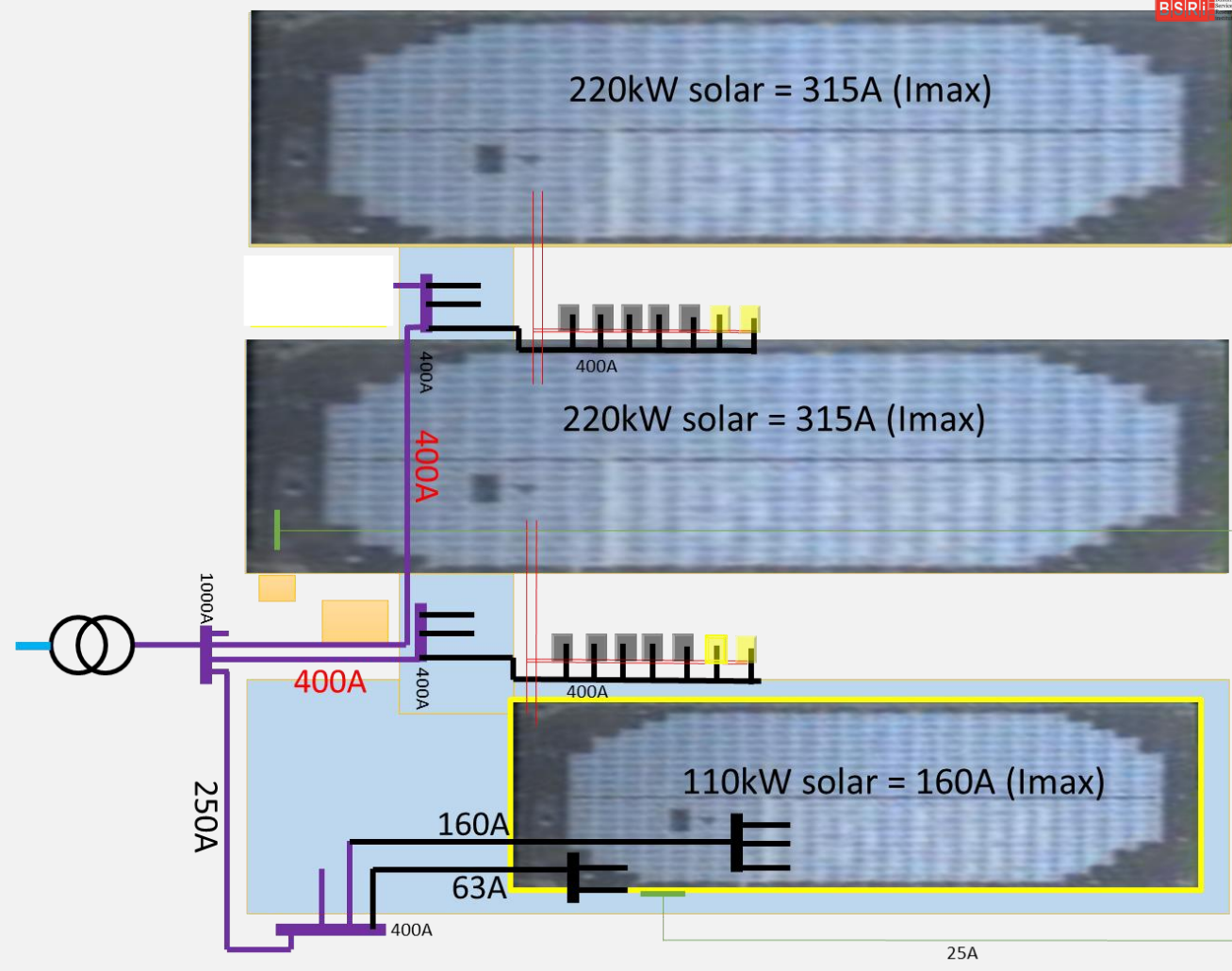
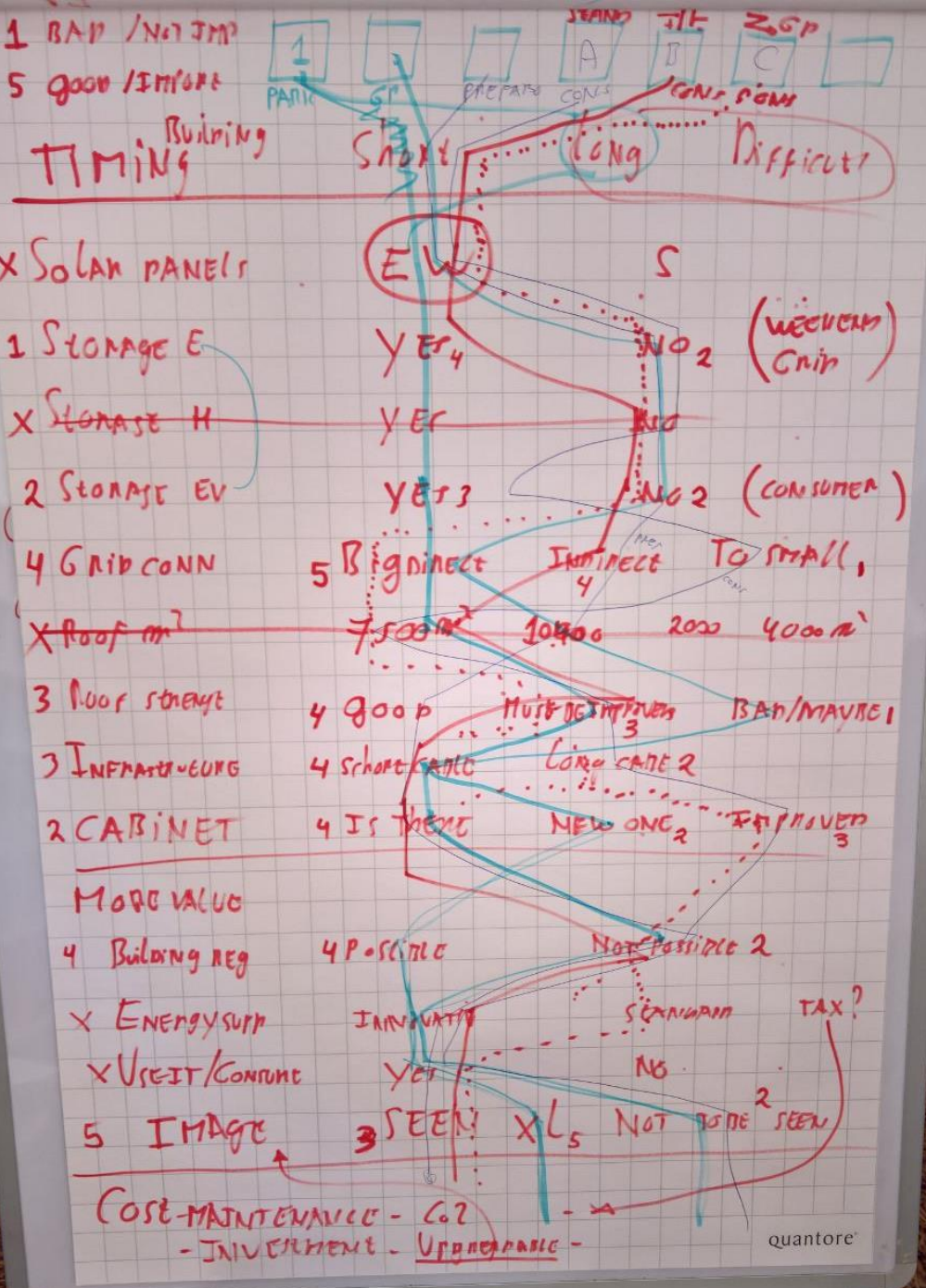


itm schu tra
VISITORS
P



Innovation centre

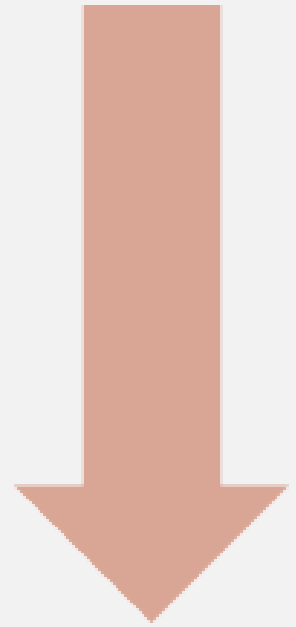




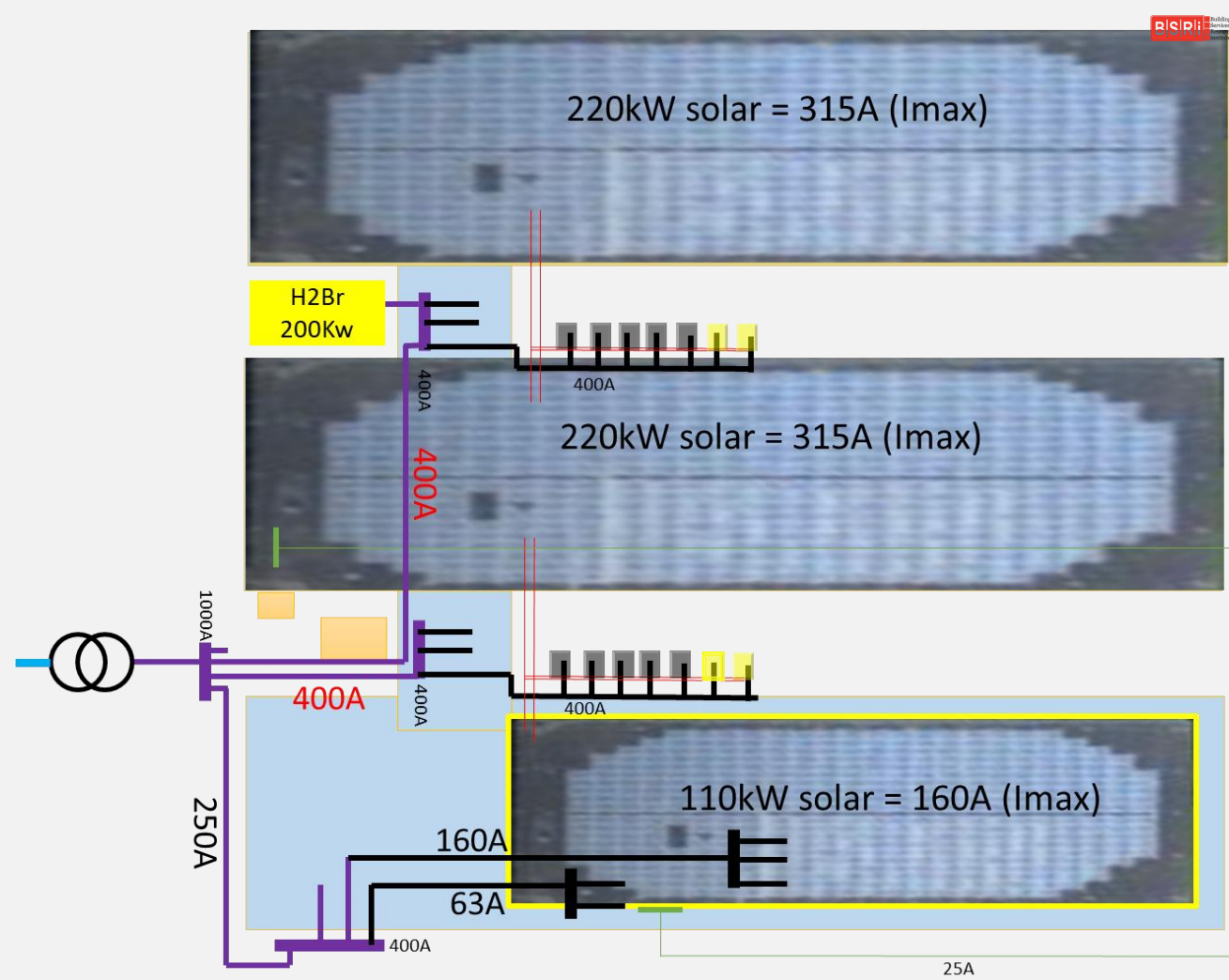
Metric	Lead-acid	Li	Flow	Elestor promise	Liquid Metal	Compressed Air
Specific Energy (kW/kg)	30-50	90-250	10-90.0	10-90.0	100-240	3.2-60
Energy Density (kWh/volume)	25-90	94-500	5.17-70	5.17-70	150-345	.4-20
Specific Power (W/kg)	25-415	8-2,000	5.5-166	5.5-166	14.29-260	2.2-24
Cycle life	200-2,000	500-10,000	10,000+	100,000+	5,000-10,000+	5,000-20,000+

Metric	Lead-acid	Li	Flow	Elestor promise	Liquid Metal	Compressed Air
Specific Energy (kW/kg)	30-50	90-250	10-90.0	10-90.0	100-240	3.2-60
Energy Density (kWh/volume)	25-90	94-500	5.17-70	5.17-70	150-345	.4-20
Specific Power (W/kg)	25-415	8-2,000	5.5-166	5.5-166	14.29-260	2.2-24
Cycle life	200-2,000	500-10,000	10,000+	100,000+	5,000-10,000+	5,000-20,000+
Useful Life	10-15	5 to 15	5 to 20	5 to 20	10	25-40
Lifecycle comments	Useful life varies by depth of discharge and application, variations by chemistry	Useful life varies by depth of discharge and other applications, variations by chemistry	Moving parts require replacement intermittently	Near universal life with maintenance	Not yet proven	Near universal life with maintenance
Cost per kwh	\$50-1,100	\$200-4,000	\$100-2000	\$ 20-200	\$150-900	\$1-140
Environmental Impact	High	High/Med	Medium	Medium	Low	Low/Med
Pros	Mature technology with established value proposition	Flexible uses, very fast response and high specific power	Large storage capacity, cheap materials	Low cost, Large storage capacity, cheap materials	High capacity, fast response, cheap materials, highly stable, temperature tolerant	Low cost, large scale, mature technology paired with gas turbines
Cons	Low lifecycle, toxic materials, flammability risk	Safety Concerns, Low depth of discharge, Corrosion, self-discharge, and efficiency loss over time	Space requirements, Economic efficiency in multiple applications	Economic efficiency in multiple applications	Untested in commercial use, persistent technology issues	Geographically limited, not scalable

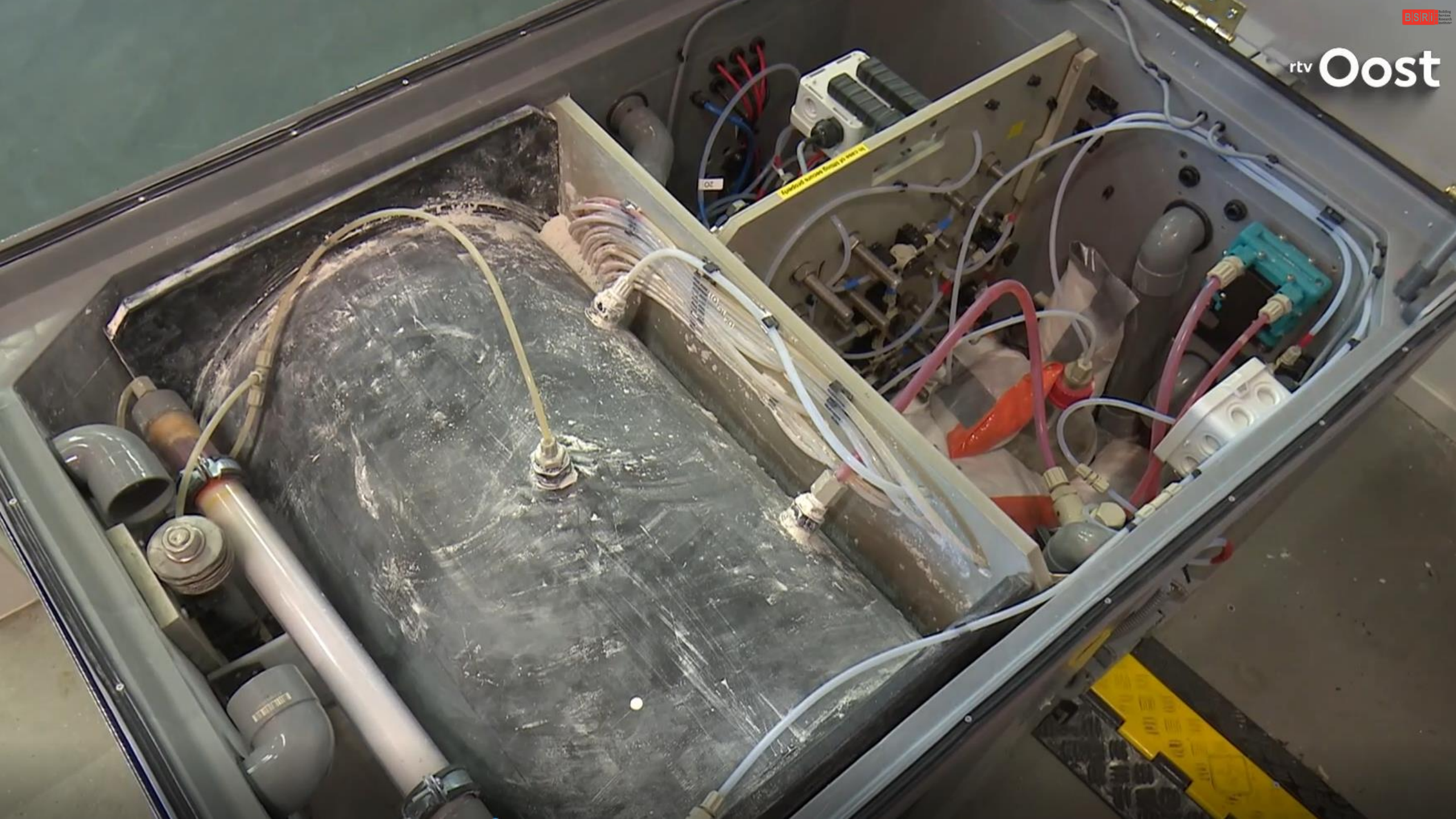
€/GJ



€/GJ



$$\frac{P_0}{E_d} = \frac{c_a R}{\epsilon_{\text{sys,d}} U^2 \epsilon_{\text{v,d}} (1 - \epsilon_{\text{v,d}}) t_d} + \frac{1}{\epsilon_{\text{sys,d}} \epsilon_{\text{q,rt}} n_e F \epsilon_{\text{v,d}} U} \left[\frac{s_+ M_+}{\chi_+} \left(c_{\text{m,+}} + \frac{c_{\text{m,e+}}}{S_+} \right) + \frac{s_- M_-}{\chi_-} \left(c_{\text{m,-}} + \frac{c_{\text{m,e-}}}{S_-} \right) \right] + \frac{c_{\text{add}} + c_{\text{bop}}}{t_d}$$



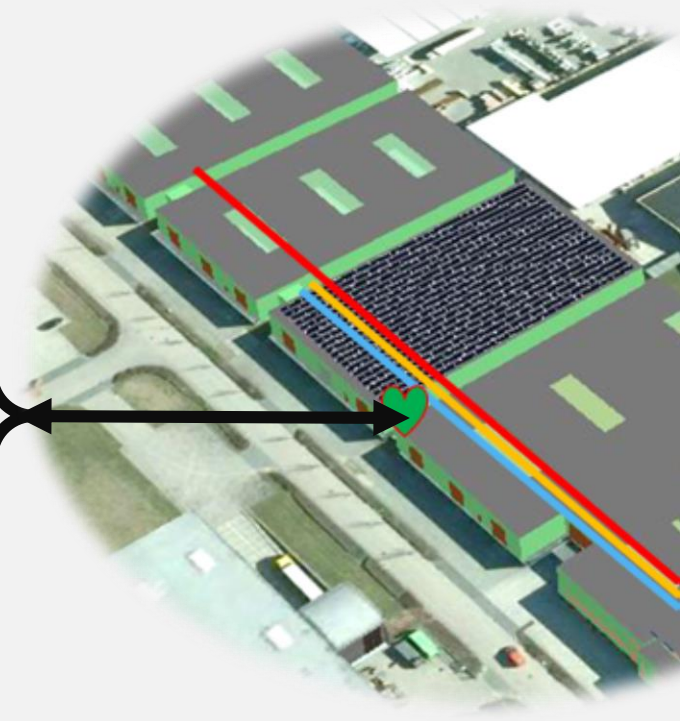
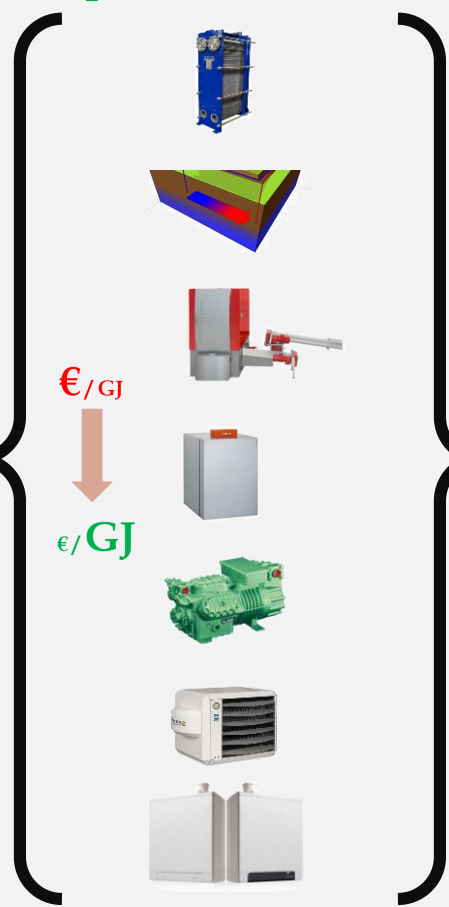
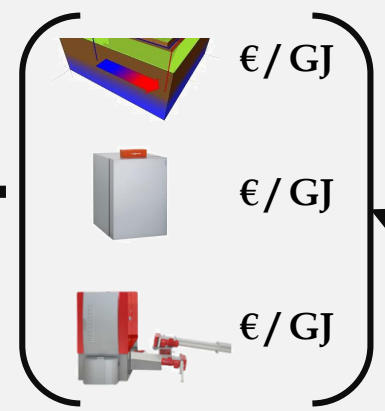
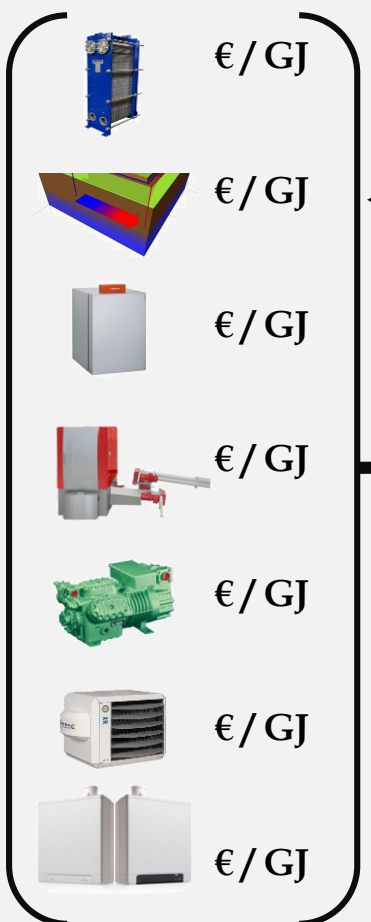
Back to the smart thing

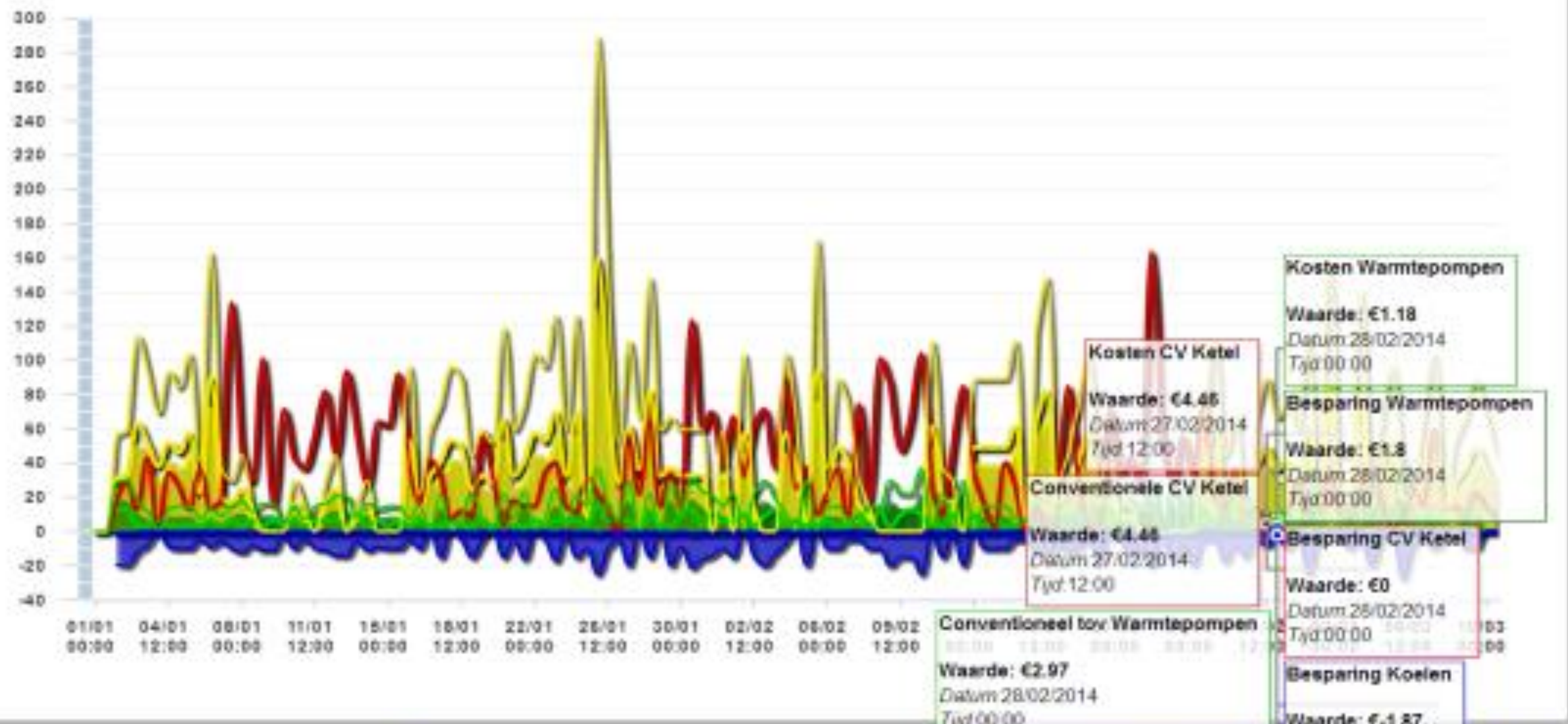


Static

Dynamic

Preferred operation





CV KETELS



14.86 €/GJ

TOTAAL

255 GJ

HOUTKACHEL



8.19 €/GJ

TOTAAL

496 GJ

Kosten Koelen

Waarde: €-0.13

Datum: 28/02/2014

Tijd: 00:00

Conventioneel Koelen

Waarde: €-2

Datum: 28/02/2014

Tijd: 00:00

HTV



Houtkachel Voorkeur



CV Ketels Voorkeur

LTV



Warmtepompen Voorkeur



Houtkachel Voorkeur



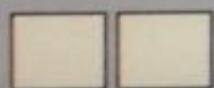
CV Ketels Voorkeur

WARMTEPOMPEN

Actueel 7.6 €/GJ

Gemiddelde 5.7 €/GJ

Actief



€ +0.09 /kWh

HOUTKACHEL

Actueel 8.0 €/GJ

Gemiddelde 8.0 €/GJ

Actief



€ +88.0 /ton

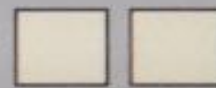
Hout Nieuwe Lading

CV-KETELS

Actueel 12.0 €/GJ

Gemiddelde 12.0 €/GJ

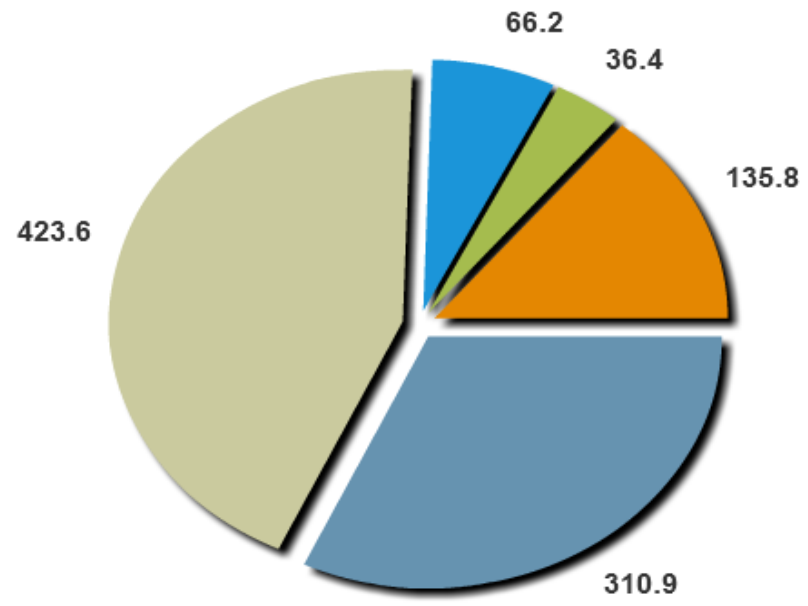
Actief

€ +0.55 /m³

F1

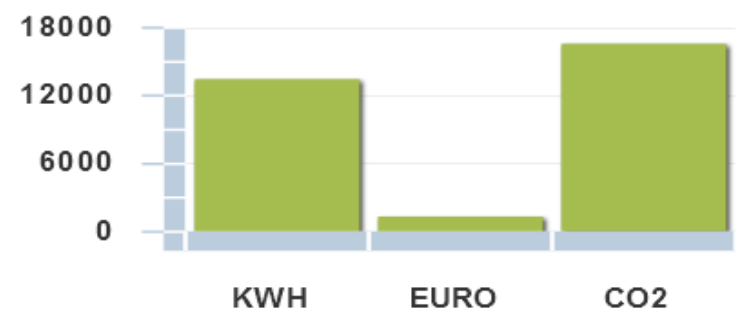
OVERZICHT

WARMTE LEVERING 972.9 GJ

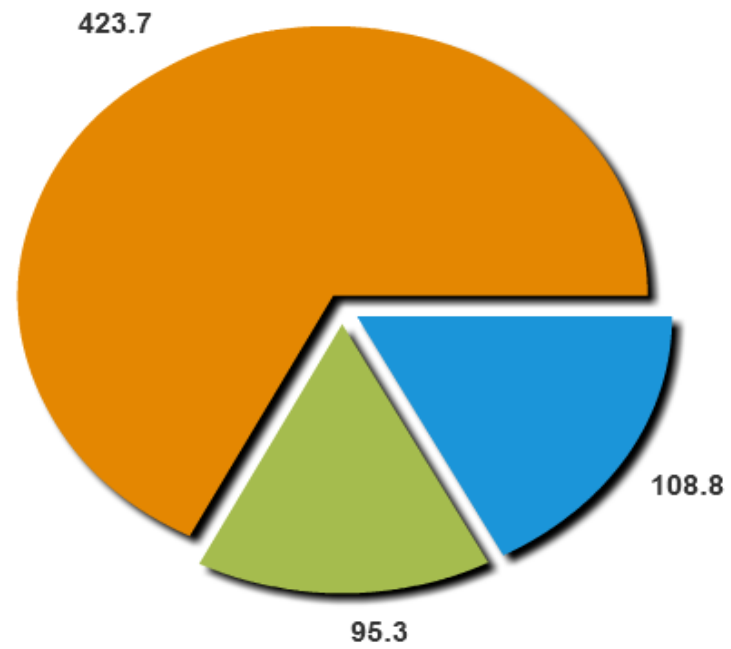


- Hal 7/8/9: 310.9 GJ
- Hal 4/5/6: 423.6 GJ
- Hal 1/2/3: 66.2 GJ
- Experience: 36.4 GJ
- Oudbouw: 135.8 GJ

TOTAAL VERBRUIK €1346.37

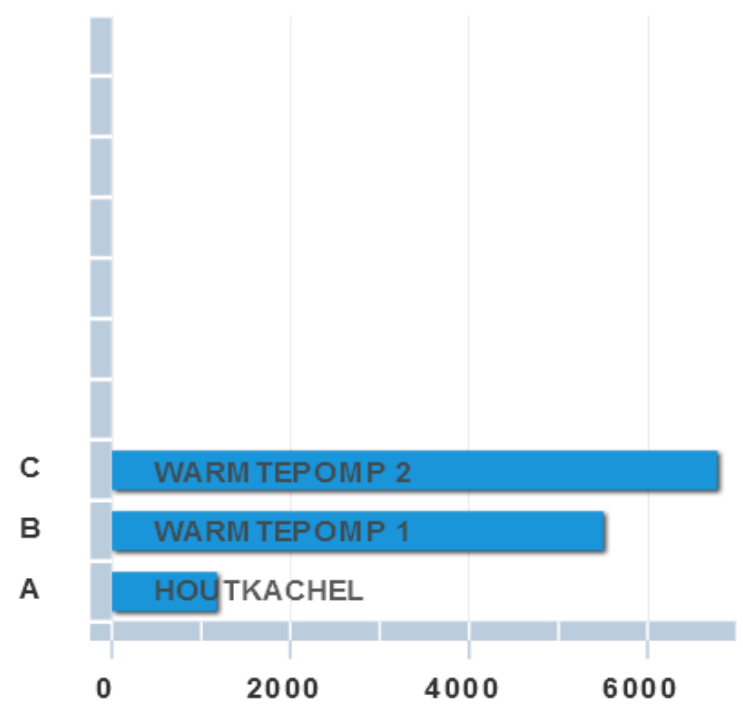


KOUDE LEVERING 627.8 GJ



- Experience: 108.8 GJ
- Kantoor: 95.3 GJ
- Oudbouw: 423.7 GJ

PER METER



Lessons learned

- **Become intelligent**

- *Without knowing how to optimize you cannot be smart*

- **Very hard for installers to think out of their box**

- *Downsizing, customer interest, integral approach*
- *€ / GJ , continues optimisation,..*

- **No supplier could deliver the heart ... of smart**

- *Lack of intelligence (at that time)*
- *Standardisation / certification / arrogance..*



- **A lot went wrong / many surprises**

- *Mostly people related, bankruptcies, benchmark installers..,*
- *Higher maintenance costs, software updates, quality woodchips, changing world..*

*'Be smart - but first
become intelligent'*



Special thanks to: Wim Zeiler / Pierre Leijendeckers
Professors



Arend van der Sluis
Chairman of the Board
of Directors at Tembo

