



Wir schaffen Wissen – heute für morgen

Paul Scherrer Institut

Reinhard David

**Heat Recycling at PSI, a Project to Cover up to 75% of the
Campus` s Heat Consumption**

Target of the presentation

- Presentation of the boundary conditions and interfaces relevant to the realisation of the project
- Facts and figures
- Project scope and impressions

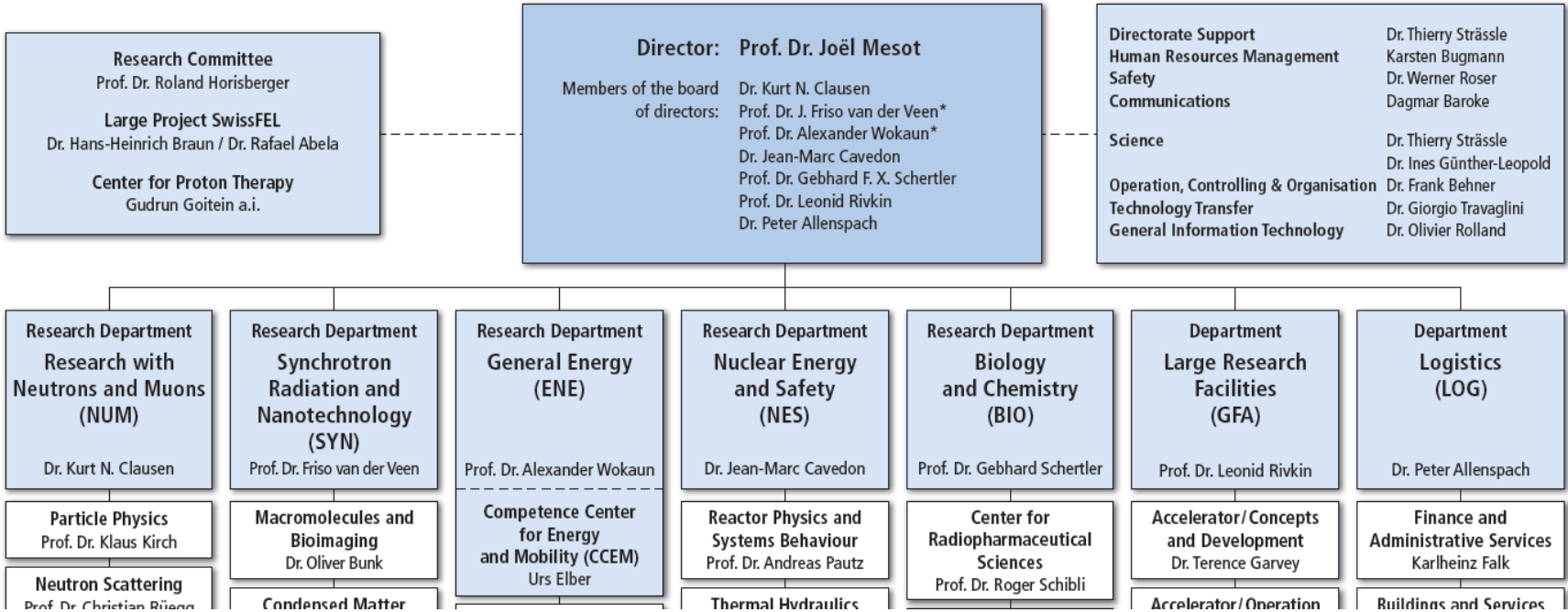
Agenda

General

- PSI maps, sections and accelerators
- Main power consumers
- Potentials for efficiency improvements

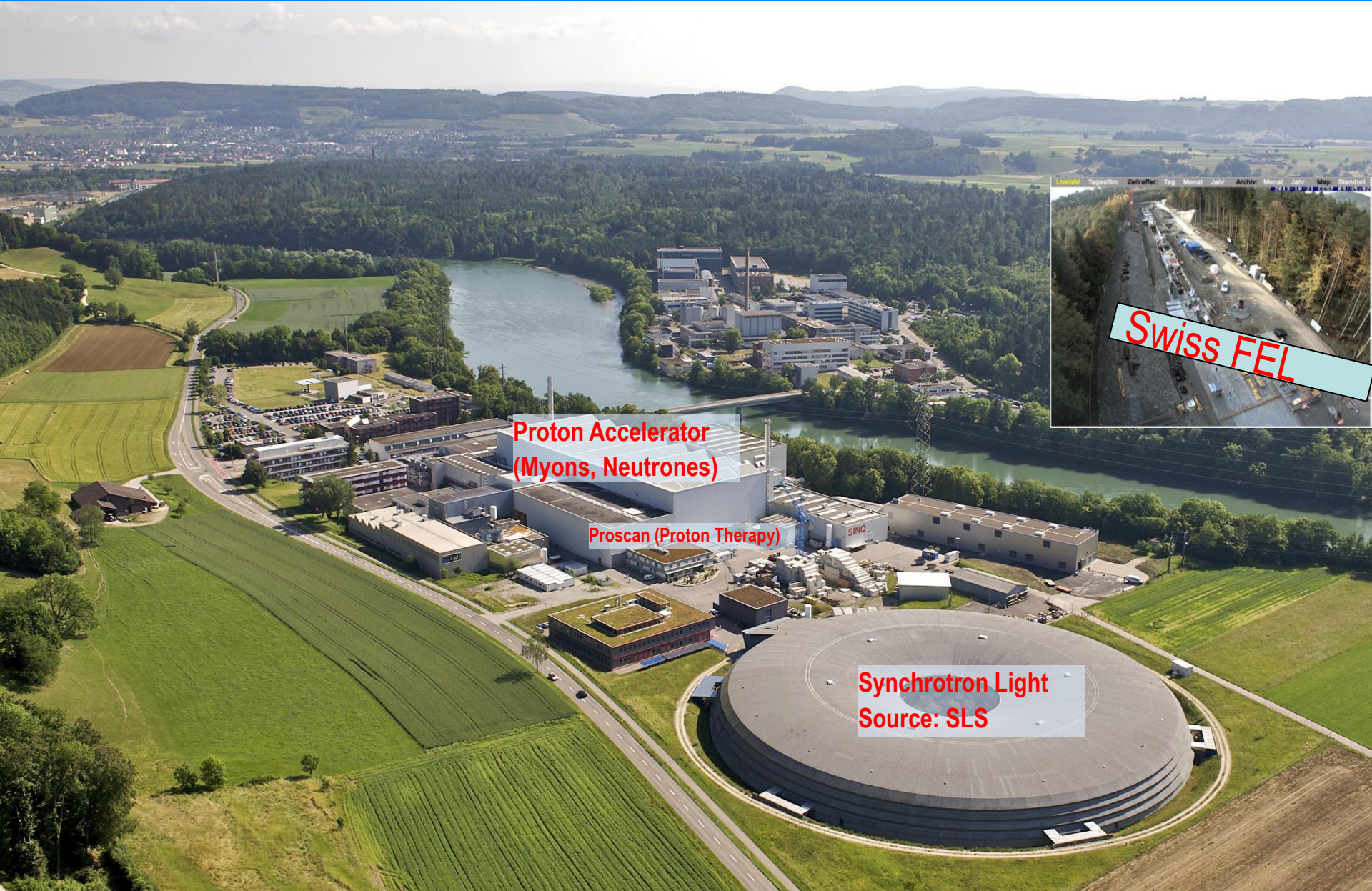
Heat Recycling

- Heating and building infrastructure
- Cooling infrastructure, available heat sinks
- Potential heat sources for heat recycling
- A long term 2-step strategic plan for the heating system of PSI (Measures, Economy, Impressions)
- Potential adsorption cooling



Number of Employees	1500
Annual external user	5000
Annual budget	365Mio CH Fr
Annual cost of electricity	3.5-4 % appr.
Annual cost of heat	2‰ appr.

PSI's scientific activities are strongly linked with the design, construction and operation of large and complex research facilities



**Proton Accelerator
(Myons, Neutrones)**

Proscan (Proton Therapy)

**Synchrotron Light
Source: SLS**



Swiss FEL

Power Consumers PSI

Energiedaten		PSI
Qheiz	[gWh]	12
Wel	[gWh]	125
Verhältnis	[-]	10.4

- Legende**
- Grossforschungsanlagen / Beschleuniger
 - Laborgebäude
 - Büro
 - Technik
 - KERNanlagen

● Main electrical consumers (85%)

PSI-West

- Abklinglager B8 WALA
- Betriebsgebäude A B6 WBGA
- Betriebsgeb. B/Cafeteria A8 WBGB
- Büro-Baracke C4 WPDA
- Bürobau A A8 WBBA
- Bürobau B B8 WBBC
- Bürocontainer A7 WBCA
- Büro-/Laborgebäude A6 WMFA
- Containerpool 101-140 WCON
- Experimentierhalle B7 WEHA
- Fahrzeugunterstand B8 WFUA
- Feuerwehrmagazin A5 WFMA
- Fortluftzentrale Nord B8 WEHB
- Gästehaus C3 WGHA
- Grundwasserfassung B C9 WGFB
- Hauptgebäude B5 WHGA
- Heliostat z. Konz. B3 WSAB
- Heliostat z. Konz. B4 WSAF
- Heliumkompressorstation A7 WKCB
- Hochfrequenzgebäude B6 WHFA
- Injektorhalle 2 B6 WIHA
- Isotopenlabor B6 WILA
- Isotopenproduktion B6 WIPA
- Kabelager C6 WKLA
- Kompressorstation A7 WKGA
- Kontrollierter Abstellplatz B8 WKAA
- Kontrolliertes Lager B8 WAKA
- Kühlanlage PROSCAN A7 WKZA
- Kühlanlage B7 WKZB
- Laborgebäude A5 WLGA
- Laborhalle B8 WLHA
- Medizin-Pavillon A7 WPTA
- Metastation A9 WXMA
- Montagehalle B5 WMHA
- Neutronenhalle B7 WNHA
- Neutronienleithalle B7 WNLA
- Niederenergieareal C B7 WYCA
- Nukleonenhalle A7 WNAA
- Pavillon C5 WKPA
- SLS-Gebäude A8 WSLA
- SLS-Technikgebäude A8 WSLB
- Solaranlage B4 WSAE
- Solargeneratorhalle B4 WSAG
- Solarhalle B4 WSAD
- Speisungsgebäude A6 WSGA
- Stapelplatz B8 WSPA
- SULTAN-Halle A7 WSHA
- SULTAN-Kompressor A7 WSHB
- Trafostation 50/16kV B5 W TSA
- Trafostation WLGA A5 W TSG
- Trafostation B5 W TSC
- UCN-Betriebsgebäude A7 WMFA
- UCN-Halle A7 WNAB
- Unterstand B9 WXHA
- Velounterstand/Bus-Halt A5 WXCA
- Werkstatt/Lagergebäude A6 WWLA
- Werkstatt/Lagerhalle A6 WWHA
- Zentrale Pumpstation C5 WZPA



Pel, PSI-West, ca. 18MW

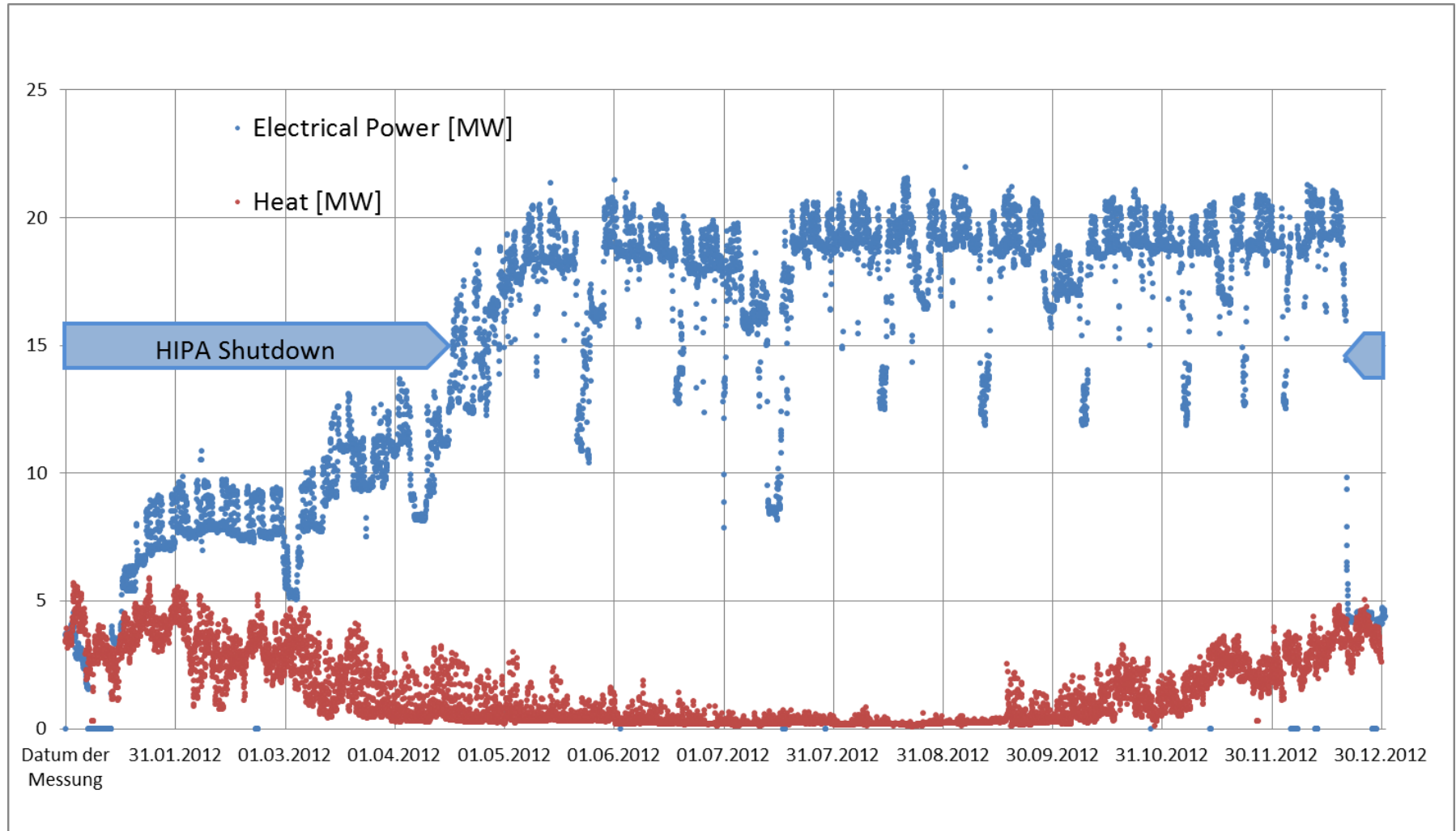
PSI-Ost

- Aktiv-Labor F3 OALA
- Aktiv-Lagerhalle A G2 OAHA
- Aktiv-Lagerhalle C G2 OACH
- Aktiv-Lagerhalle D G2 OAHB
- Ausbildungspavillon H3 OAPA
- Betriebsgebäude RA G2 OBGA
- Brandchutzanlage H3 OBBA
- Brückenkopf Ost E8 OZBA
- Bundeszwischenlager H2 ORAA
- Bürogebäude F5 OFLA
- Bürogebäude F5 OFLB
- Bürogebäude E5 OFLC
- Bürogebäude F5 OFSA
- Bürogebäude F5 OSUA
- Büropavillon GENORA F5 OBBA
- Cafeteria F5 OHBB
- Castor Lagerhalle G2 OAHB
- Containerpool 201-221 OCON
- DieSELhalle E4 ODHA
- DieSEL Tankanlage F3 OTAB
- Dienstgebäude H3 ODGA
- DIORIT-Gebäude F4 ODRA
- Einsteilhalle E5 OEUA
- Entsorgungsplatz H3 OEPA
- ERK-Baracke G3 OBAA
- Experiment-Teststand E4 OBLA
- Fahrzeugunterstand H3 OFUA
- Feuerwehrmagazin F3 OFMA
- Feuerwehreinstraum F3 OFMB
- Forschungslabor E5 OFLG
- Garagen E7 OGAA
- GENORA F5 ONRA
- Holzleger Baracke H3 OHZA
- Hotlabor G3 OHLA
- Hotlabor Pavillon F3 OHLD
- Hotlabor Kältezentrale G3 OHLC
- Kalibrierlabor E5 OFLD
- F3 OALA
- G2 OAHA
- G2 OACH
- G2 OAHB
- H3 OAPA
- G2 OBGA
- H3 OBBA
- E8 OZBA
- H2 ORAA
- F5 OFLA
- F5 OFLB
- E5 OFLC
- F5 OFSA
- F5 OSUA
- F5 OBBA
- F5 OHBB
- G2 OAHB
- OCON
- E4 ODHA
- F3 OTAB
- H3 ODGA
- F4 ODRA
- E5 OEUA
- H3 OEPA
- G3 OBAA
- E4 OBLA
- H3 OFUA
- F3 OFMA
- F3 OFMB
- E5 OFLG
- E7 OGAA
- F5 ONRA
- H3 OHZA
- G3 OHLA
- F3 OHLD
- G3 OHLC
- E5 OFLD
- Kindertagesstätte KIWI E7 OGWA
- Kindertagesstätte KIWI E7 OAAA
- Kraft-/Wärmezentrale F4 OKWA
- Kreislauflabor E5 OKLA
- Kühlerhaus E4 OKHA
- Labor Aktiv-Abwasser E4 OFLA
- Laborgebäude G4 OGLA
- Laborhalle A G4 OLHA
- Laborhalle B F4 OHLB
- Labor Neutralisation E4 OFLE
- Laborpavillon E4 OLPA
- Lagerhalle H3 OLLA
- Meteo Vorfluter E4 OMVA
- PANDA-Anlage F3 OEAA
- Personalrestaurant OASE E8 OKAA
- PROTEUS E5 OPRA
- pei forum E6 OKAB
- Pumpenhaus E4 OPHA
- Radiofarmazie (IP) F4 OIPA
- Sanitätsklinik E6 OSBA
- SAPHIR-Gebäude F5 OSRA
- Schaltanlage E4 OPBH
- Schieberhaus F3 OSBA
- Schülerlabor Lab E8 OBHA
- Schulungsgebäude F8 OSGA
- Sportclub/Freizeitwerkst. J2 OSCA
- Tankanlagen F3 OTAA
- Technisches Labor G3 OTLA
- Trafostation OZBA E8 OTRA
- Velounterstand H3 OVUA
- Verbrennungsanlage G2 OVAA
- Verwaltungsgebäude G4 OVGA
- Werkstattgebäude H3 OWGA
- Zentrale Fortluftanlage F4 OZFA
- Zentrale Pumpstation F3 OZPA

Pel, PSI-Ost 3MW

Load Profile Power and Heat

Energiedaten		PSI
Qheiz	[gWh]	12
Wel	[gWh]	125
Verhältnis	[-]	10.4



Example PSI-HIPA:

10MW total power → 1,3MW proton beam power



RF: 4,1MW	32% efficiency = already quite good, improvements difficult, potential low high cost
Magnets: 2,6MW	improvements possible, but high investments (new magnets) → not balanced by savings
aux.systems: 3,3MW	improvements possible and undertaken; often high investments
finally: 10MW heat	Heat recovery is investigated and used; Efficient use for smaller portion of high temperature RF cooling loop only.

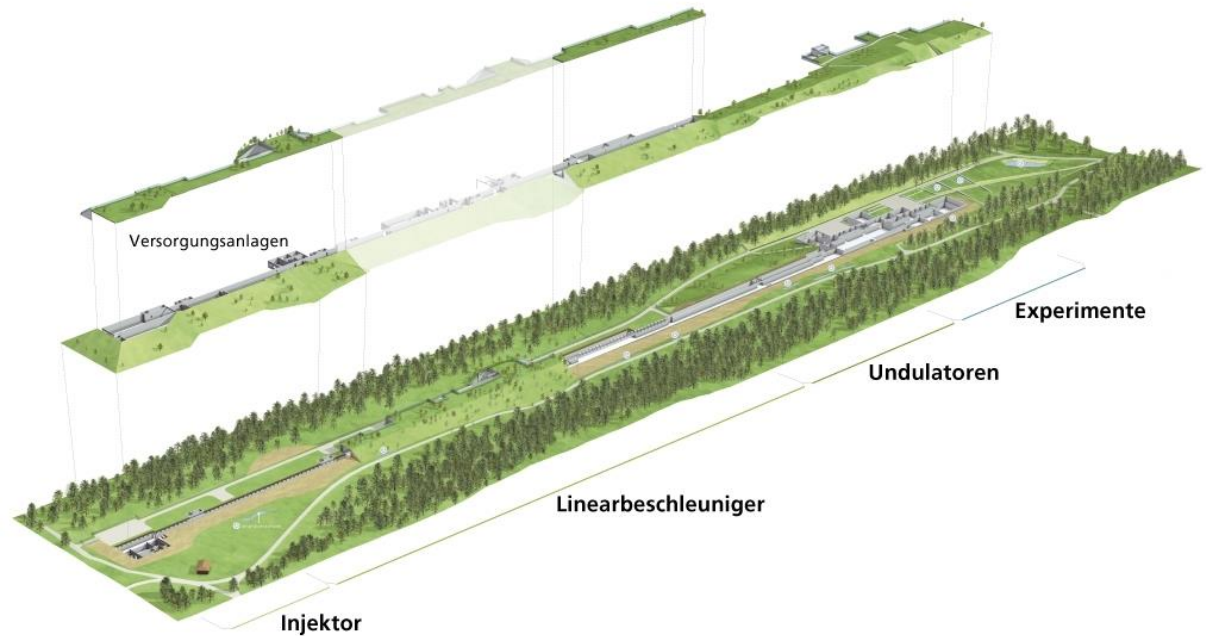
- thus important to **utilize energy efficient technologies right from the design phase of an accelerator**; later improvements are typically expensive and will not amortize
- Heat Recycling is an important measure to decrease the use of primary energy

Saving Potential of New Machines (Swiss FEL)?

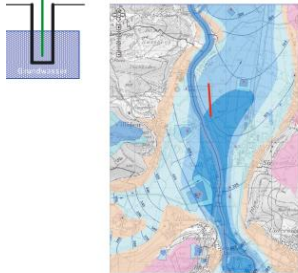
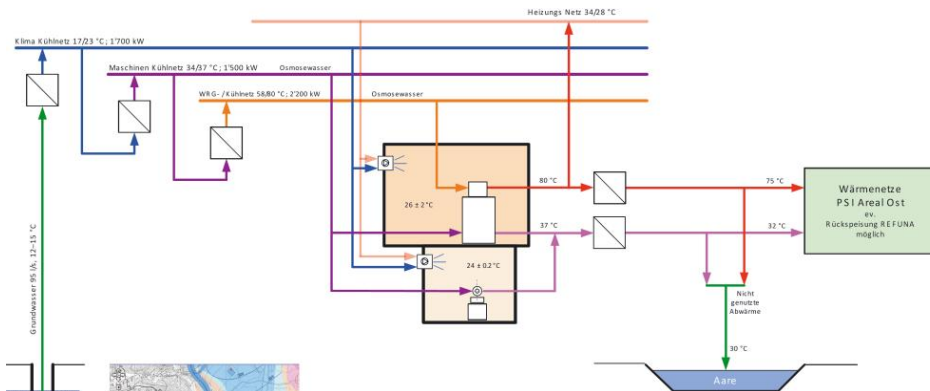
Swiss FEL is optimised for low energy consumption!

compared with SACLA (Japan) reduced by	-40%
compared with LCLS (Stanford USA) reduced by	-55%

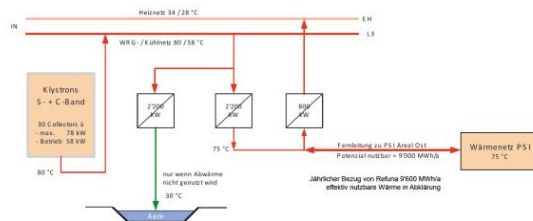
(statements from SwissFEL project management, background not subject of presentation)



- Infrastructure
 - Cooling Design (ground water, minimized through cascading temperature levels)
 - HVAC concept and design (ventilation efficiency, very limited compression chillers)
 - Class A components (Motors, Pumps, Ventilators, Filters, etc.)
 - Heat Recycling (focus of this presentation)



Grundwasserkarte



Wärmerückgewinnung

Relevant boundary conditions and criteria's

- Building and heating infrastructure
- Cooling infrastructure, available heat sinks
- Potential heat sources for heat recycling

- A long term 2-step strategic plan for the heating system of PSI (Measures, Economy, Impressions)
- Potential adsorption cooling

Building Infrastructure and condition, casing and insulation

- Age from 0 to 50 years
- Office, laboratories and functional buildings with high internal heat loads
- Some huts as permanent interim arrangements
- Closed but still legal «research atomic reactor buildings»
- Buildings to be removed but ever and ever used



Adobe Acrobat
Document



3073 WALA Aktiv-Lagerhalle



3073 WAKA Aktivkomponentenlager



3072 OALA Aktivlabor



3072 OAHA Aktivlagerhalle



3072 OAAA Angestellten Wohnhaus



3072 OAPA
Ausbildungsraum / Archiv



3072 OBGA Betriebsgebäude



3073 WBGA Betriebsgebäude



3073 WBGB Betriebsgebäude B

- Reduction of heat consumption by passive insulation less effective than waste heat recycling but very costly!

Heating Infrastructure of PSI Campus

- District heating system Refuna
- Heat source nuclear power plant Beznau I+II
- Future heat source unknown, today`s low CO2-emission source not further guaranteed!
- System designed for high temperature of 115° C

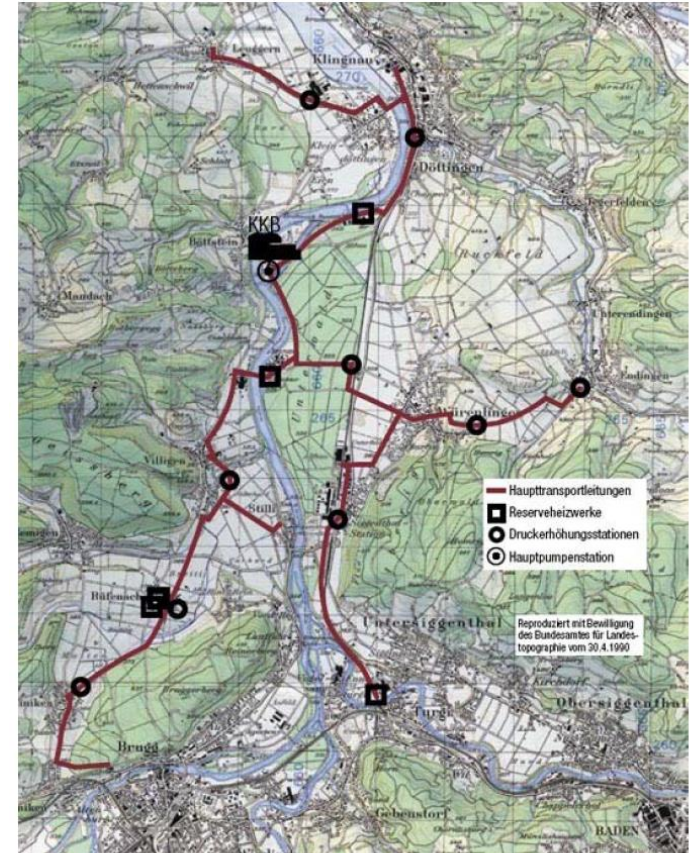
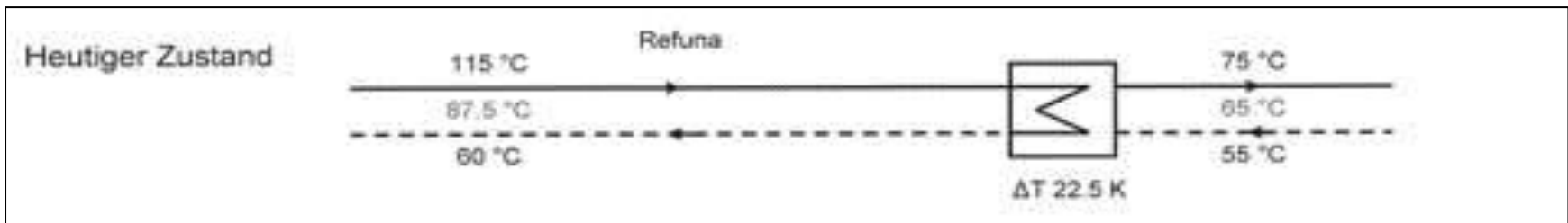


Abbildung 1 Situation Fernwärmenetz der REFUNA (Total ca. 70 MW)



2.2.4 Langfristiger Wärmeleistungs- und Wärmeenergiebedarf

Der externe Wärmeleistungs- und der Wärmeenergiebedarf wird sich langfristig (2050) mit dem Ausbau der Energiebezugsflächen, der Sanierung der bestehenden Gebäude und Anlagen voraussichtlich (Abschätzung) wie folgt entwickeln:

Wärmeleistungsbedarf Bestand 126'000 m² (20% Bedarfssenkung durch Sanierungen) = ca. 40 W/m²

Wärmeleistungsbedarf Neubauten 40'000 m² (Niedertemperaturfähigkeit) = ca. 25 W/m²

Total externer Wärmeleistungsbedarf = 6'040 kW

Wärmeenergiebedarf Bestand 126'000 m² (20% Bedarfssenkung durch Sanierungen) = 60 kWh/m²,a

Wärmeenergiebedarf Neubauten 40'000 m² (Grenzwert SIA 380/1) = 50 kWh/m²,a

Total externer Wärmeenergiebedarf = 9'560 MWh/a

Das heisst, dass der langfristige Wärmeleistungs- und Energiebedarf mit einem realistischen Sanierungspotenzial im Bestand und den neuen Verbrauchern auf dem heutigen Stand stabilisiert werden kann.



Abbildung 3 Geplante Situierung der künftigen Baufelder

Actual consumption = expected long term consumption = 12GWh

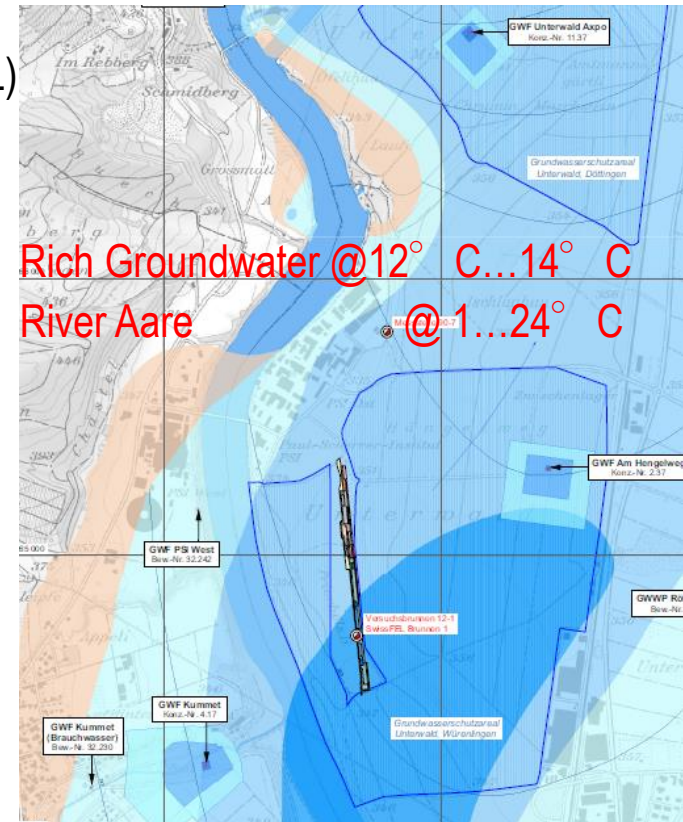
Yearly cost:

750kFr

Future cost:

??? (actual heat price is based on process heat from nuclear power plant Beznau), price increase very likely!

River "Aare"	15MW	(cavities, magnets, ...)
Ground water	5MW (+6MW from 2017 for SwissFEL)	(various, 3 cascading circuits)
Air	2.5MW +5MW	(direct+indirect mainly for HVAC`s only)
Total	27.5 MW (33.5 MW incl. SwissFEL)	



→ **Most efficient cooling systems with very little compressing cooling machines in terms of energy!**
(capacity is 5MW for peak and/or summer loads or redundancy)

Potential Heat Sources and Demand

Gebäude	Anlage	Betriebsprofil	Max. Abwärmeleistung [MW]	Primärvorlauf [°C]	Primär-rücklauf [°C]	Sekundär-vorlauf [°C]	Sekundär-rücklauf [°C]
WSGA	HFO	April - Dezember	2	50	65	55	71
RZ Ost	Kompressorkältemaschine	ganzjährig	0.25	55	65	50	60
RZ West	Kompressorkältemaschine	ganzjährig	0.25				
WSHB	Sultan Heliumkompressoranlage	März - Dezember	0.3				
WSGA	HF1	April - Dezember mit regelmässigen Shutdowns ca. 27 Tage/a	1	40	55	50	65
OLGA	Klimakälte Labors	ganzjährig	0.05	55	65	50	60
ODRA	Klimakälte Reinräume & Prozesslabors	ganzjährig	0.3	55	65	50	60
WKSA	WKSA Heliumkompressoranlage	April - Dezember	0.25	40	60	50	200
OTLA	Druckluftkompressor	ganzjährig	0.03	55	65	50	60
Total	direkt nutzbar		4.43				
WSGA	Beschleunigeranlagen exkl. Proscan, WSLA	April - Dezember	7				
WSGA	Tertiärkreislauf	April - Dezember	3				
WKZA	Proscan Kühlkreislauf		1		30	30	40
WSLA	SLS	Februar - Dezember mit 7 ca. 10 tägige Shutdowns	3		28	20	30
Diverse	Grundwasser für Klima & Vakuumpumpen		4.5	12	25		30
WLHA	250 MEV Injector	nur kurzfristiger Betrieb					
Total	indirekt nutzbar (Wärmepumpe)		18.5				
Total	direkt und indirekt nutzbar		22.93				

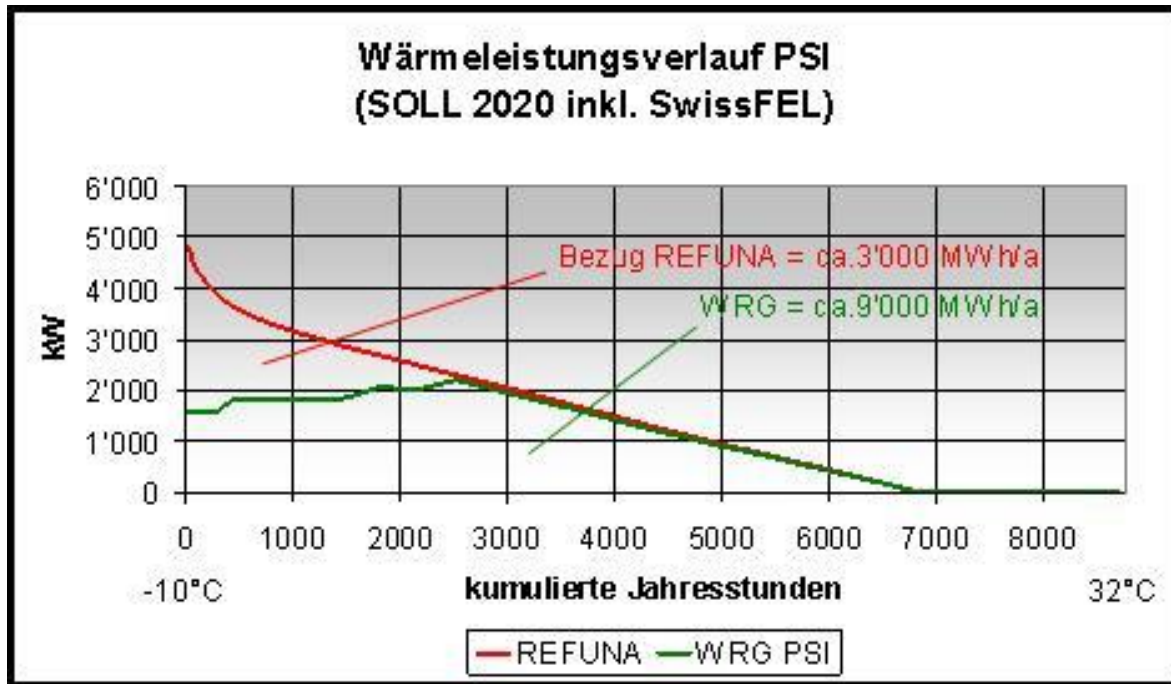
Category 1: 4MW @ appr. 60° C

Category 2: 18MW @ appr. 30° C

Heute: nur direkte Nutzung, total max. 1.3 MW für ca. 2'300 MWh/a

2 Step Strategy - Step 1

- Direct use of waste heat category 1 ($>60^{\circ}\text{C}$)
- Increase use of waste heat from 20% to 75% appr.



Projekt in Execution now!

Required Measures

- Separation of heating water cycle (Refuna / PSI)
- Integration of heat sources category 1
- Temperature decrease:
 - Modification of building heating stations
 - Replacement of Radiators
 - Replacement of ventilation heaters



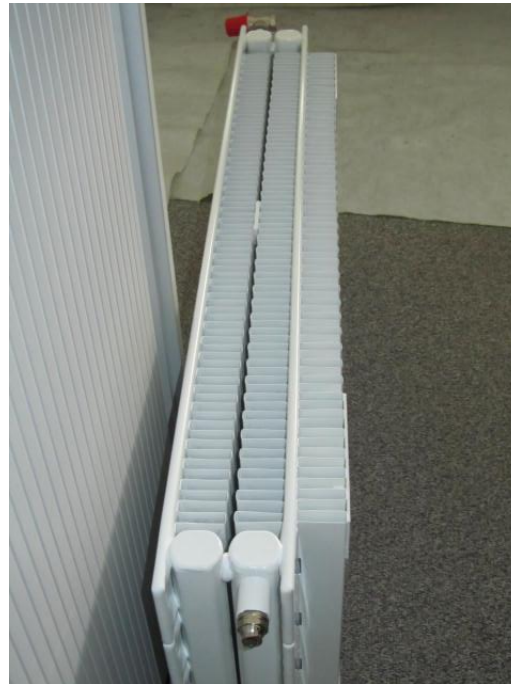
Integration of 4 existing sources and separation of PSI heating cycle:

700kFr

Replacement of Radiators



New Design: 45/30° C



Original Design: 70/50° C



1500 Radiators have to be replaced

Costs: 1500kFr



Existing heat exchanger with $dT_m=22K$
(type pipe bundle)



Existing heat exchanger with $dT_m=5K$
(plate type fusion bonded, stainless steel)
→very compact

37 heat transfer stations to be adapted: 700kFr

Ventillation Heaters



Original Design Temperature 50...80° C →

New Design Temperature 35/20° C

150 heat exchangers to be replaced: 700kFr

New District Heat Pipe for Waste Heat Swiss FEL

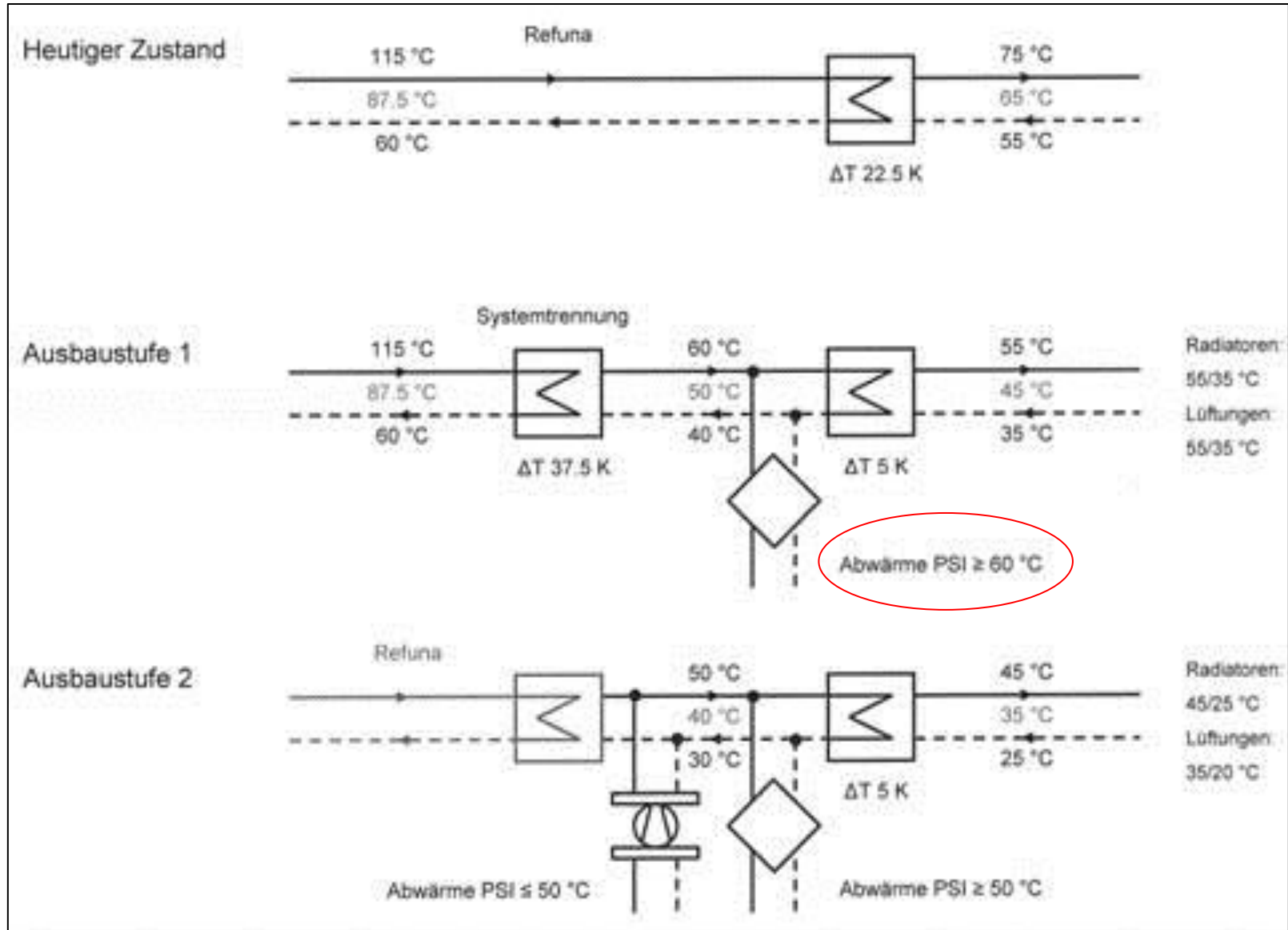


1000m of ground pipe

Costs: 600kFr

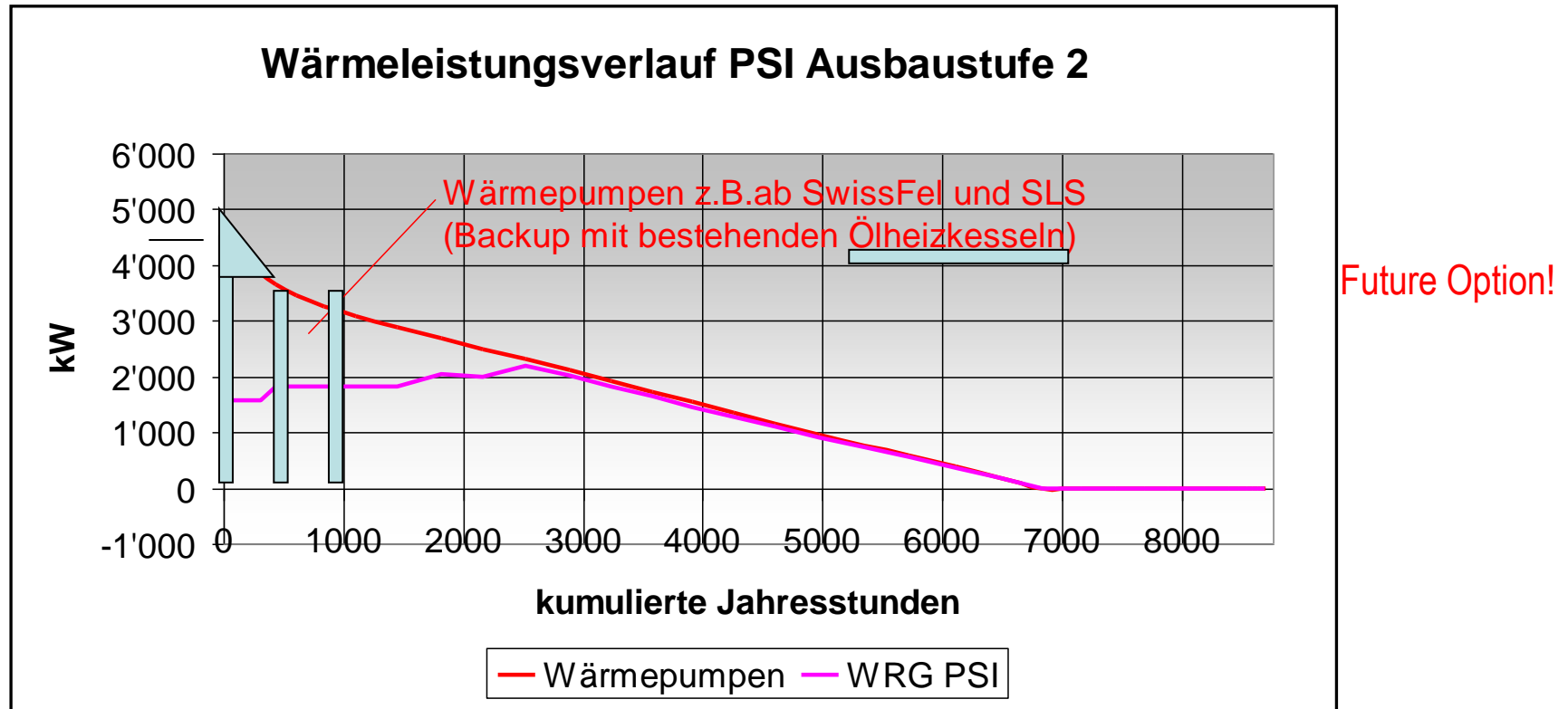
(ditch was needed for other puprose as well)

Temperature Decrease to Comply with Heat Sources



Project Heat Recovery Step 2 (Future Option)

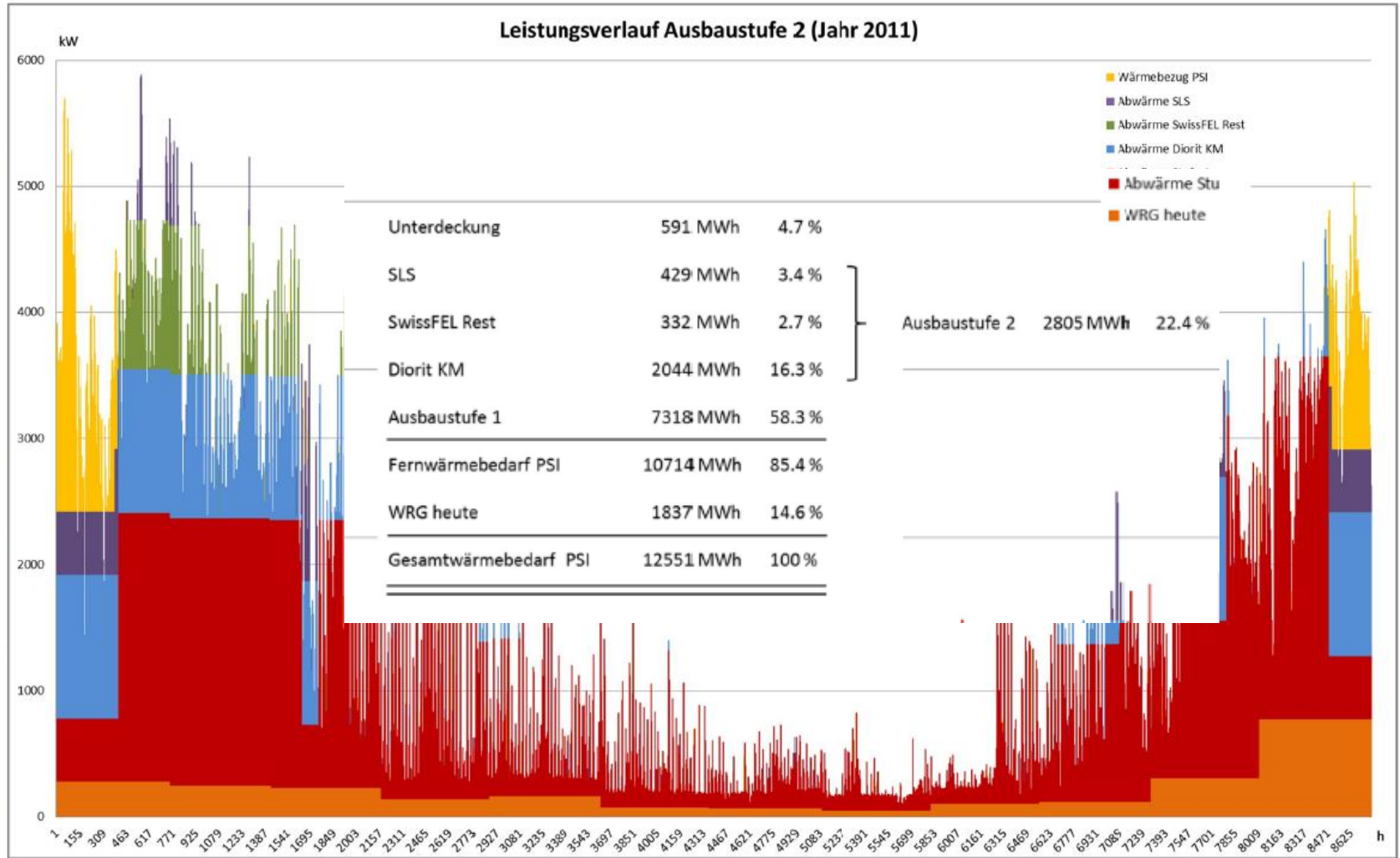
- Direct use of heat sources category 1
- Indirect use of heat sources category 2 via heat pumps (Increase 20K)
- oil for peakload /backup)



Required Measures:

- All measures step 1
- Installation of heat pumps of 3MW approximately

Abb. 5 Deckung des Gesamtwärmebedarfs durch Abwärmequellen der Ausbaustufe 2



Economy Heatrecovery Step 2

Variantenbezeichnung	IST-Zustand Fernwärme	Ausbaustufe 1	Ausbaustufen 1 + 2a	Ausbaustufen 1 + 2b	Ausbaustufen 1 + 2c	Umstellung auf Oel
Kapitalkosten	CHF 0	CHF 284'422	CHF 412'851	CHF 331'549	CHF 308'045	CHF 0
Energiekosten	CHF 809'213	CHF 256'495	CHF 143'359	CHF 165'041	CHF 176'992	CHF 1'244'943
Bewirtschaftungskosten	CHF 58'099	CHF 58'099	CHF 81'338	CHF 69'719	CHF 69'719	CHF 81'338
Total pro Jahr	CHF 867'312	CHF 599'016	CHF 637'549	CHF 566'309	CHF 554'757	CHF 1'326'281

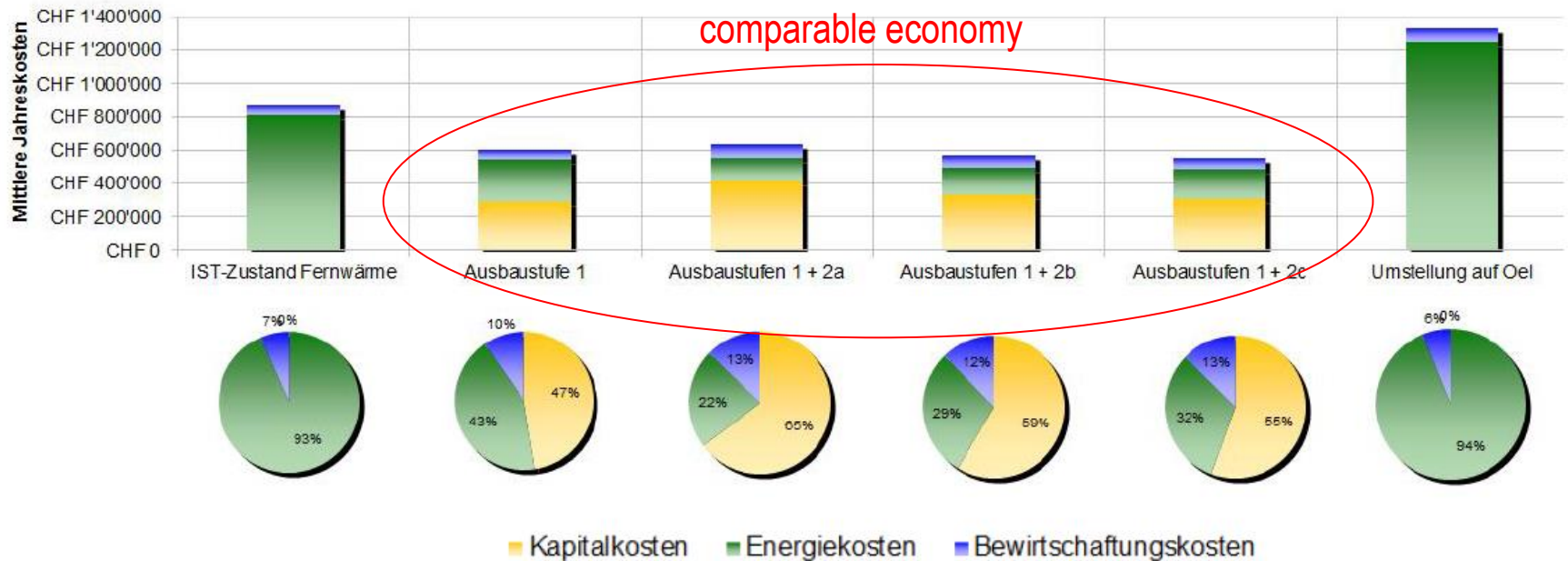
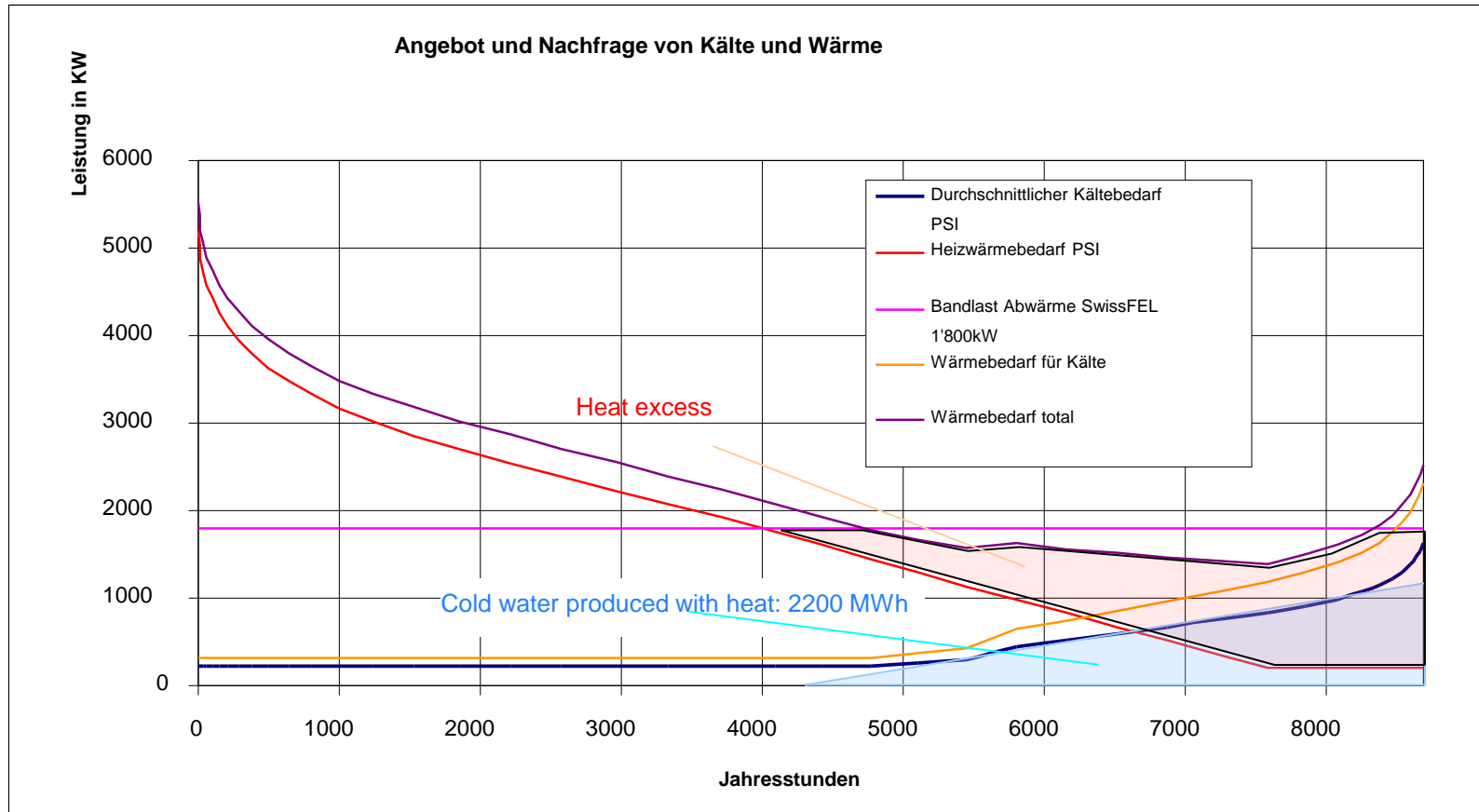


Abb. 8 Zusammensetzung der jährlichen Kostenanteile in CHF und % mit Kapitalzins

→ We have an alternative to today's efficient district heating system

Potential for Adsorption Cooling



- For the PSI it is effective and economic to recycle waste heat
- A considerable investment of 4Mio approximately was permitted
- Heat recycling is more effective and much more cost efficient than reducing the heat consumption by passive insulation only.
- Optimised campus wide energy concepts with a long-term strategy are highly recommended since according our experience more effective than fulfilling typical energy standards for buildings only!

The Project supports

- Reduction of Primary Energy
- Reduction of Cost for Energy

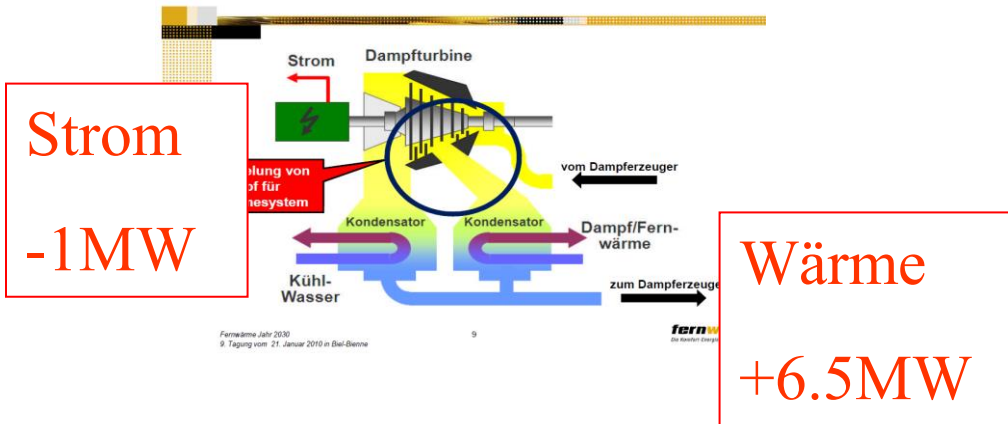
Thank you for your attention!



COP= Coefficient of Performance (Leistungsziffer),

COP = $Q_{\text{heiz}}/P_{\text{el}}$, Coefficient of Performance bedeutet, dass beim Bezug von 6.5MW thermisch 1 MW El. Leistung eingesetzt werden muss. Physikalisch: $1/\eta_{\text{carnot}}$, wobei η_{carnot} an 2-ten Hauptsatz der Thermodynamik gebunden ist: $\eta_{\text{carnot}} = (T_{\text{zu}} - T_{\text{ab}})/T_{\text{zu}}$.

COP der Refuna: 6.5 Netto *)



Verrifikation auf theor. Basis *)

COP Refuna	8	gem. Präsentation Axpo R. Schmidinger Tagung Fernwärme 2009 (effektiv, vermutlich kleiner, siehe COP theoretisch zur Abschätzung)						
Wärmeverlust	18.6 %	gem. Geschäftsbericht Refuna 2008/2009 (Periode 2007/2008)						
Pumpenenergie	10.2 %	gem. Geschäftsbericht Refuna 2008/2009 (bezogen auf Wärmeproduktion)						
COP korrigiert	5.91	Fazit: Energetisch um Faktor 1.4 überlegen						
COP theoretisch, Refuna								
Temperatur Heizer	100	Mittelwert 2 Anzapfungen 125 und 85°C						
Kondensationstemperatur	40	Schätzung, Jahresmittelwert						
Eta Carnot	0.161							
Eta Isentrop	0.8	Schätzung						
Eta effektiv	0.129							
1/ Eta effektiv (entspricht COP)	7.77							
Fazit: Leistungszahl von 8 (ohne Übertragungsverluste) ist realistisch								