Entwicklung der Wärmepumpen-Technologie

Energieapéro Graubünden Nr. 112

Wärmepumpen – Was macht diese Technologie effizient?

Manuel Prinzing

Ehem. Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energiesysteme IES

OST- Ostschweizer Fachhochschule, Buchs

www.ost.ch/ies

www.wpz.ch

Entwicklung der Wärmepumpen-Technologie

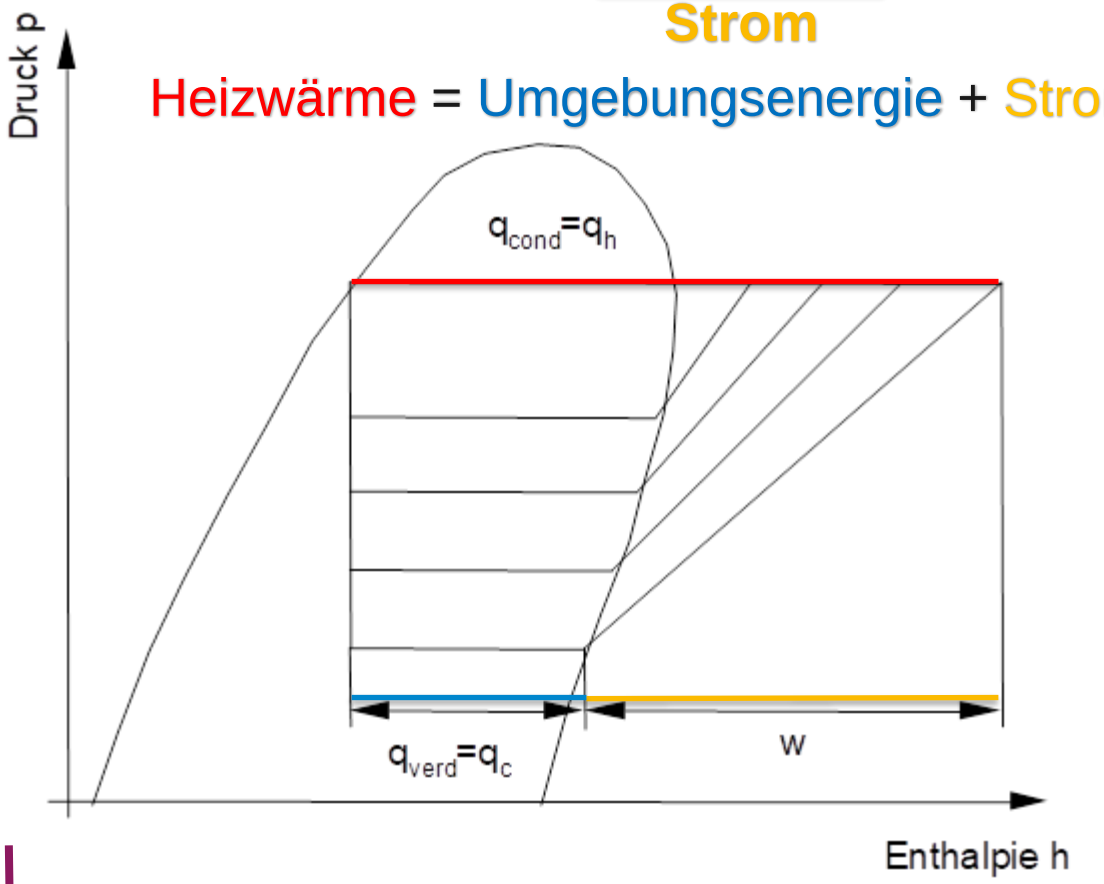
- Thermodynamische Grundlagen – Temperaturhub - Kältemittelthematik
- Erkenntnisse aus den Feldmessungen von Wärmepumpen
- Erdwärme-Wärmepumpen für Graubünden und Sanierungen
- Warmwasserbereitung & PV-Eigenstromoptimierungen
- Entwicklungstrends & Technologieausblick

Thermodynamische Grundlagen

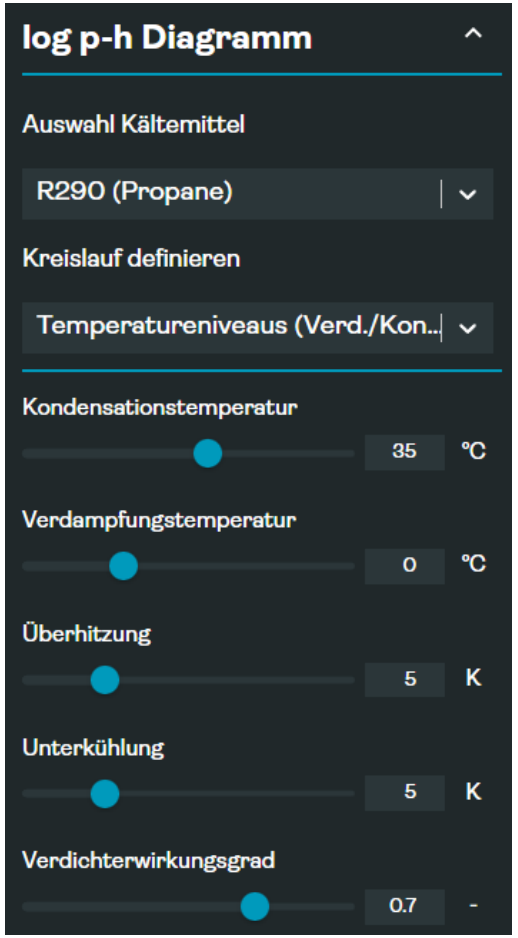
- Log ph Diagramm –Temperaturhub Quelle - Senke

$$COP = \frac{\text{Heizwärme}}{\text{Strom}}$$

Heizwärme = Umgebungsenergie + Strom



https://tlk-energy.de/phasendiagramme/druck-enthalpie



COP 5.70 COP 4.42

- 30%

OST

Feldmessungen von Wärmepumpen

WPZ
Wärmepumpen-Testzentrum

- **Untersuchung der Effizienz von Wärmepumpen im Feld**
- **Untersuchung des Performance Gaps**
- **Erarbeitung von Empfehlungen für Hersteller, Installateure und Planer**

energieschweiz

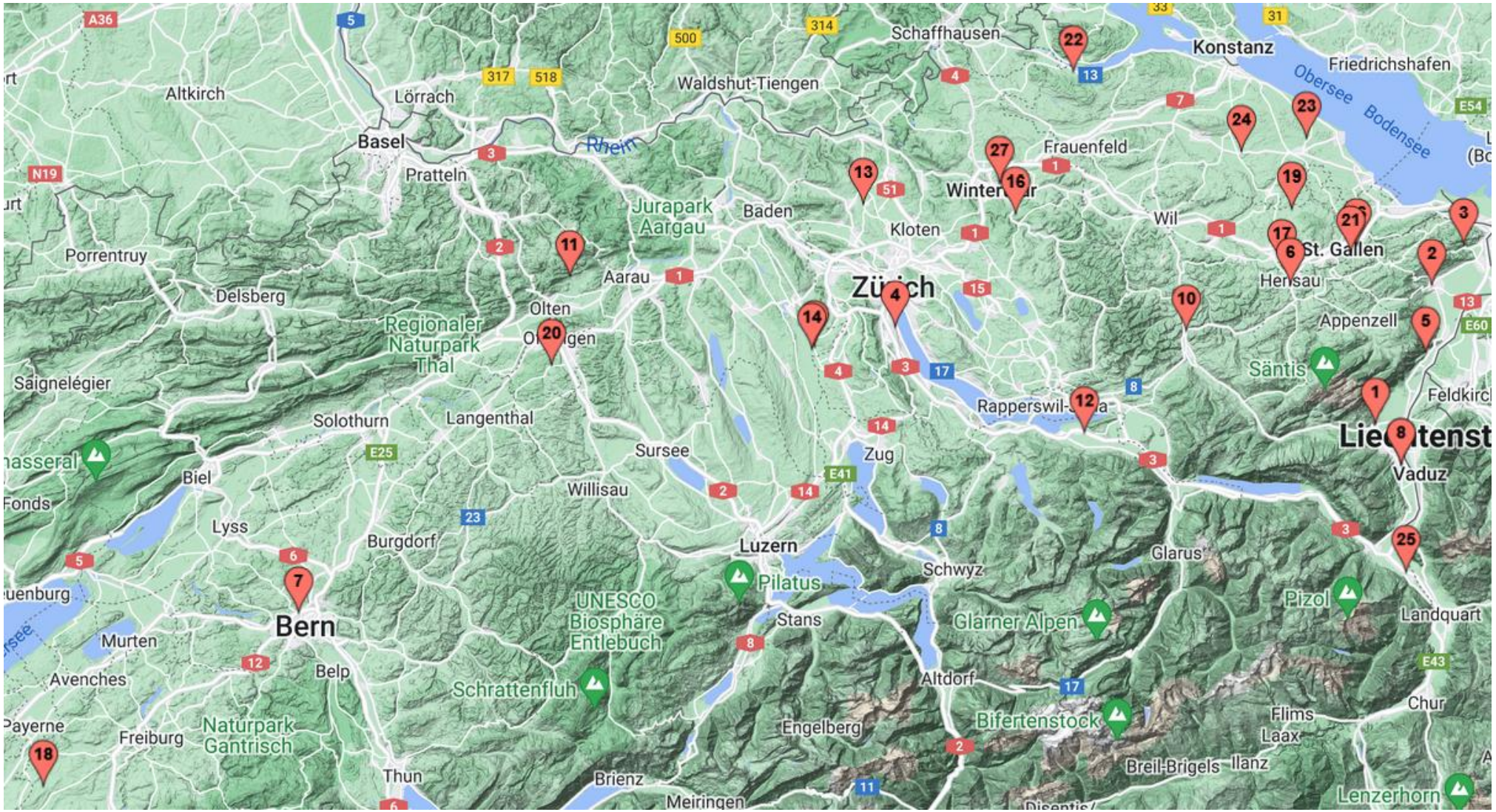
Projektdauer:
2015 – 2024

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

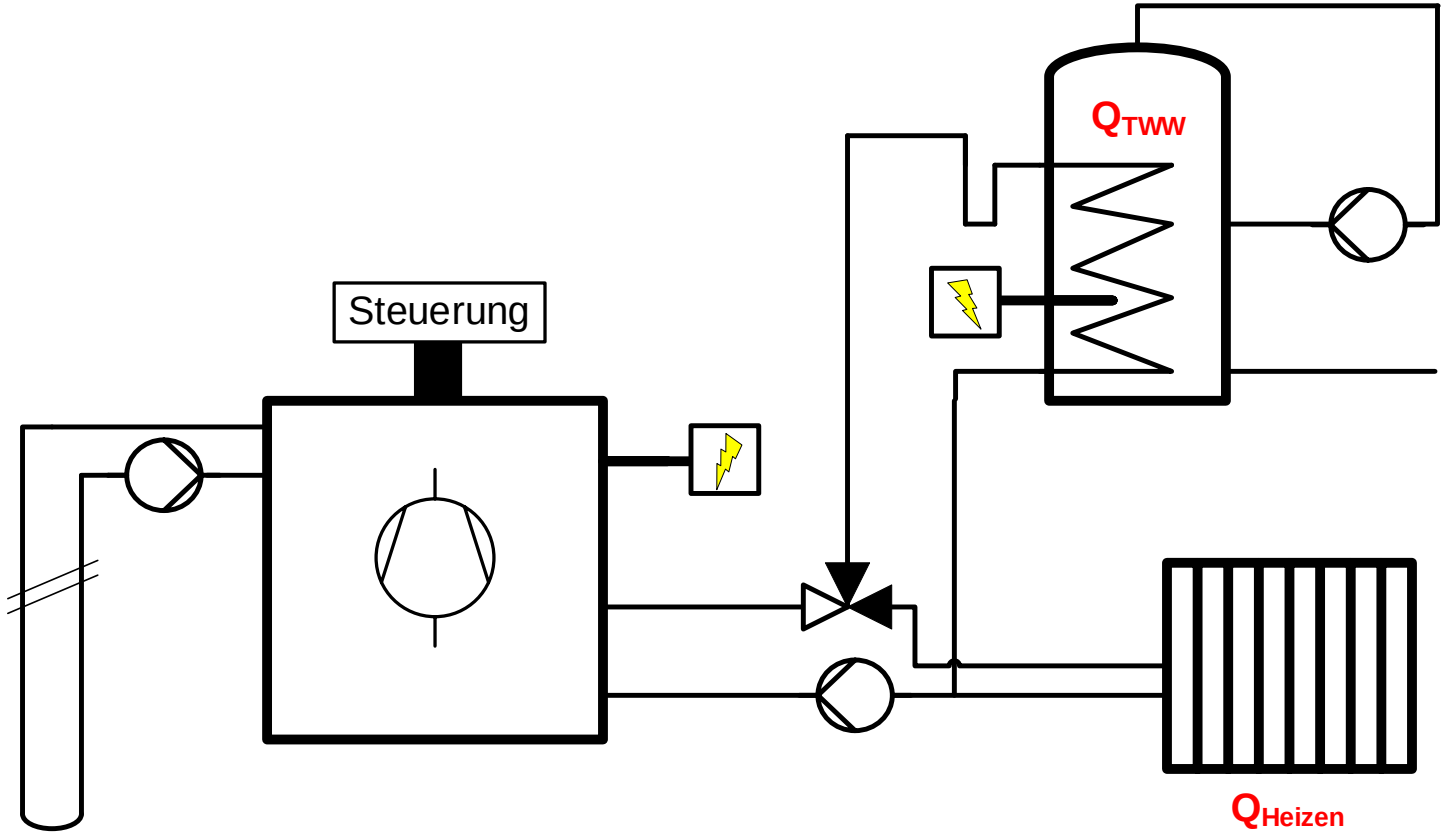
Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE

OST

Standorte der 25 Wärmepumpenanlagen im Feld



Betrachtungsgrenzen / Systemgrenzen



vereinfacht dargestellte Systemgrenzen einer **Sole/Wasser-Wärmepumpe** mit Direktheizkreis und Wassererwärmer

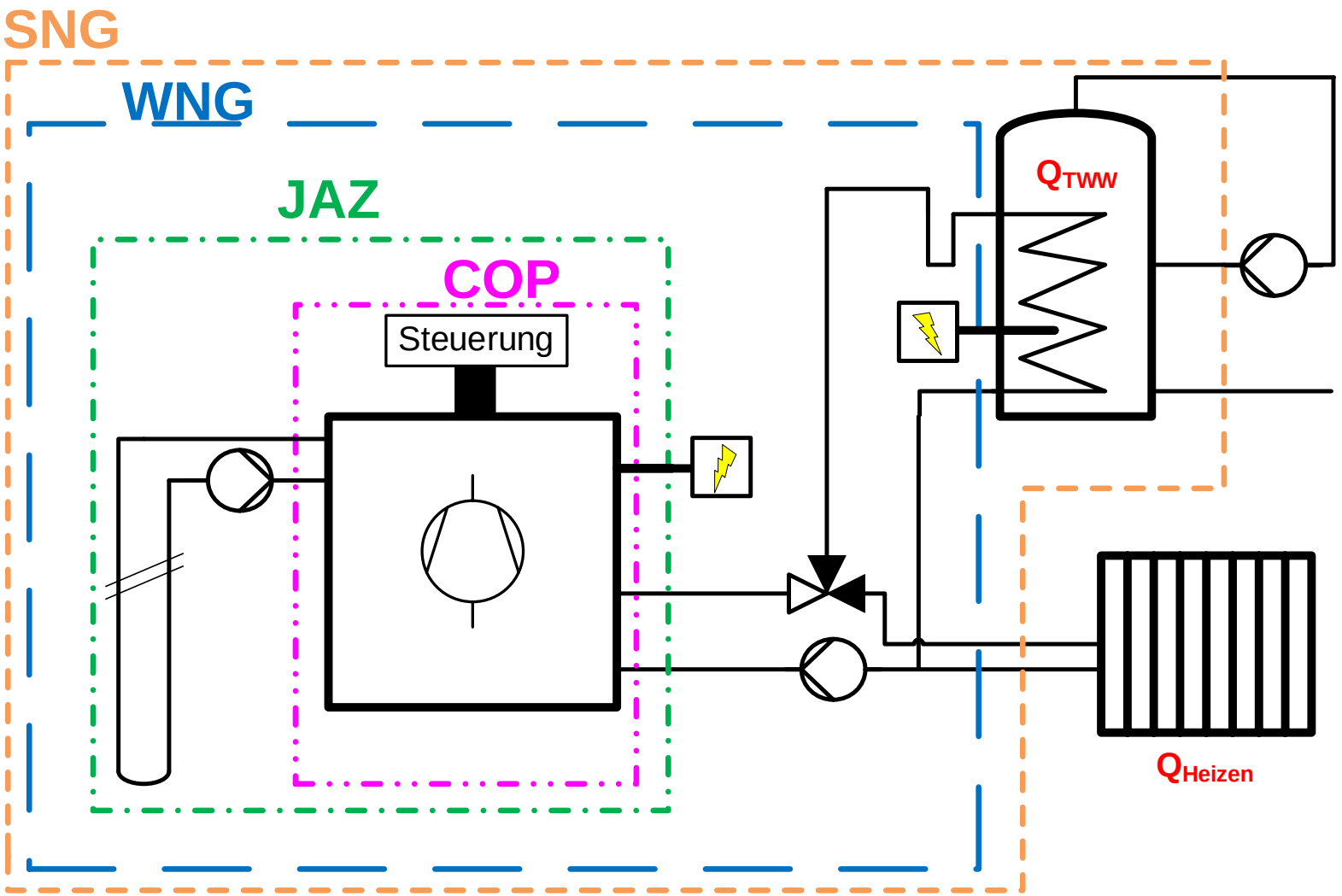
Betrachtungsgrenzen / Systemgrenzen

COP = Coefficient of Performance

JAZ = Jahresarbeitszahl

WNG = Wärmenutzungsgrad

SNG = Systemnutzungsgrad

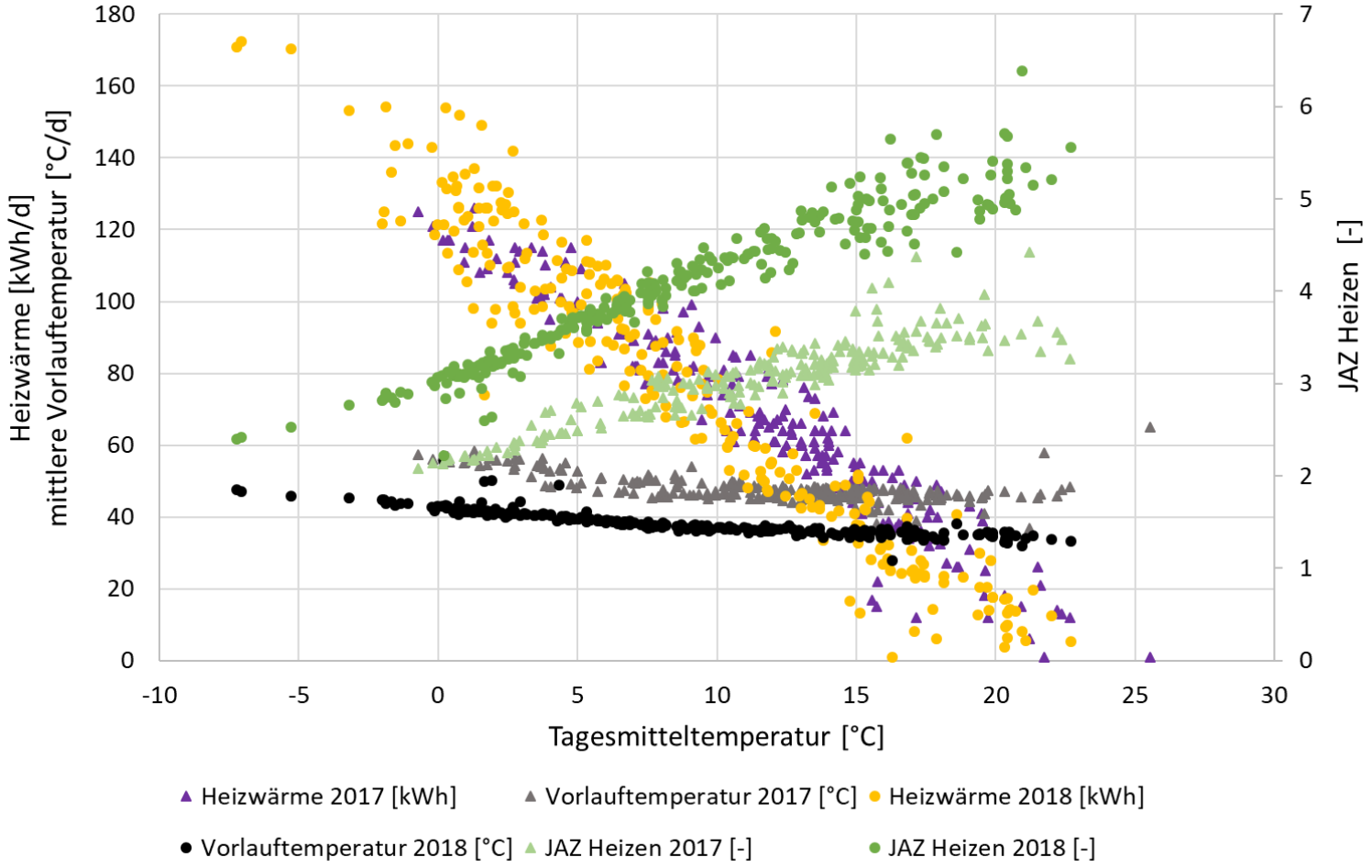


vereinfacht dargestellte Systemgrenzen einer **Sole/Wasser-Wärmepumpe** mit Direktheizkreis und Wassererwärmer

Volumenstrommessung

zweifache Inline-Temperaturmessung

Effizienzpotential Vorlauftemperatur

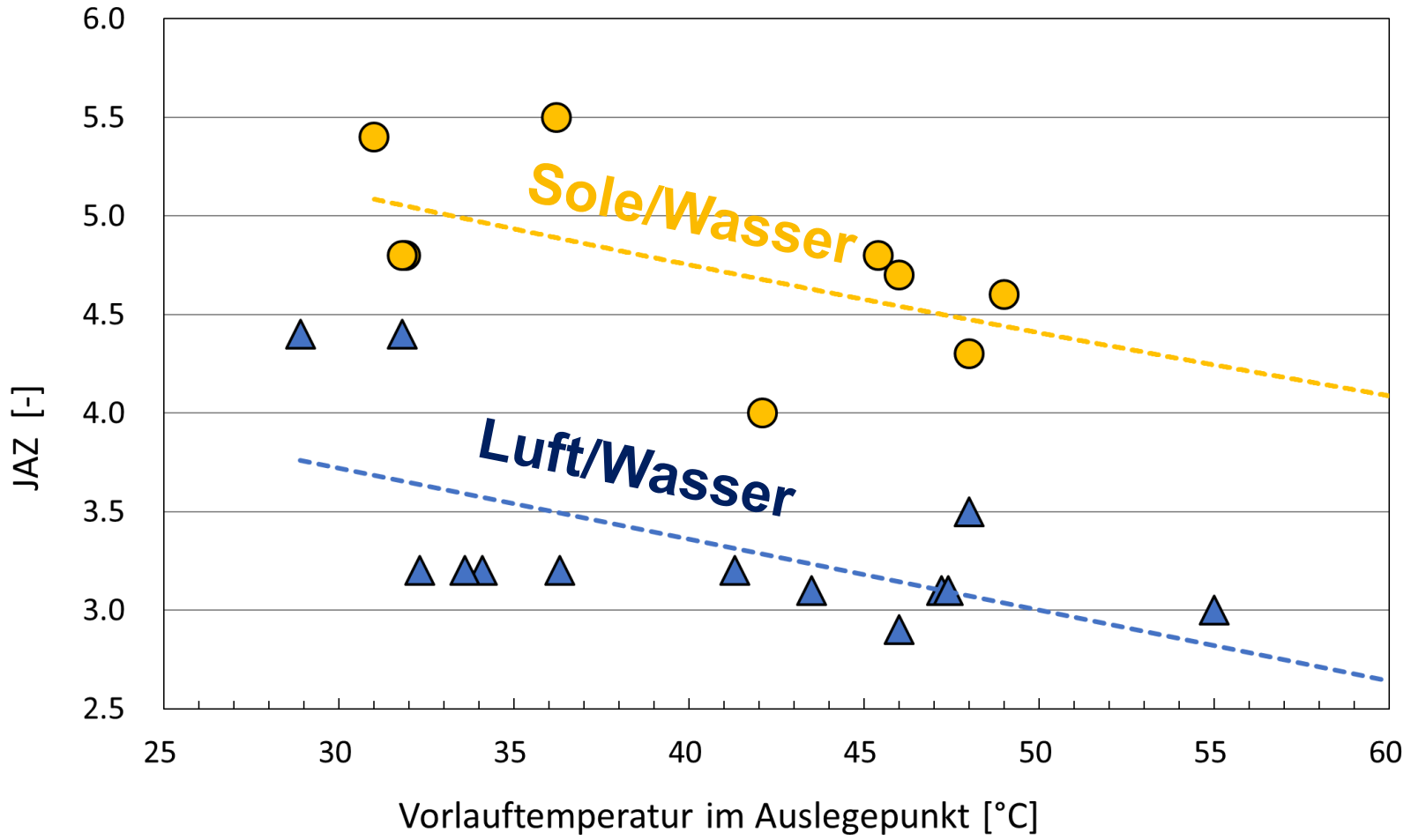


- Senkung der Vorlauftemperatur um 10 K
- Steigerung JAZ um 40 %
- Gleichbleibender Wärmebedarf = gleicher Komfort

- Hydraulischer Abgleich!
- Überhöhung Pufferspeicher

Keine Effizienzeinbusse für die Wohnraumtemperatur, nur Temperatur im Pufferspeicher gesenkt!

Effizienz-Vergleich aus den Feldmessungen



	Neubau	Sanierung	Altbau
Vorlauftemperatur im Auslegepunkt	35-30 °C	45-40 °C	55-50 °C
	Heizen & TWW	Heizen & TWW	Heizen & TWW
LWWP	3.5	3.1	2.8
SWWP	4.9	4.6	4.3

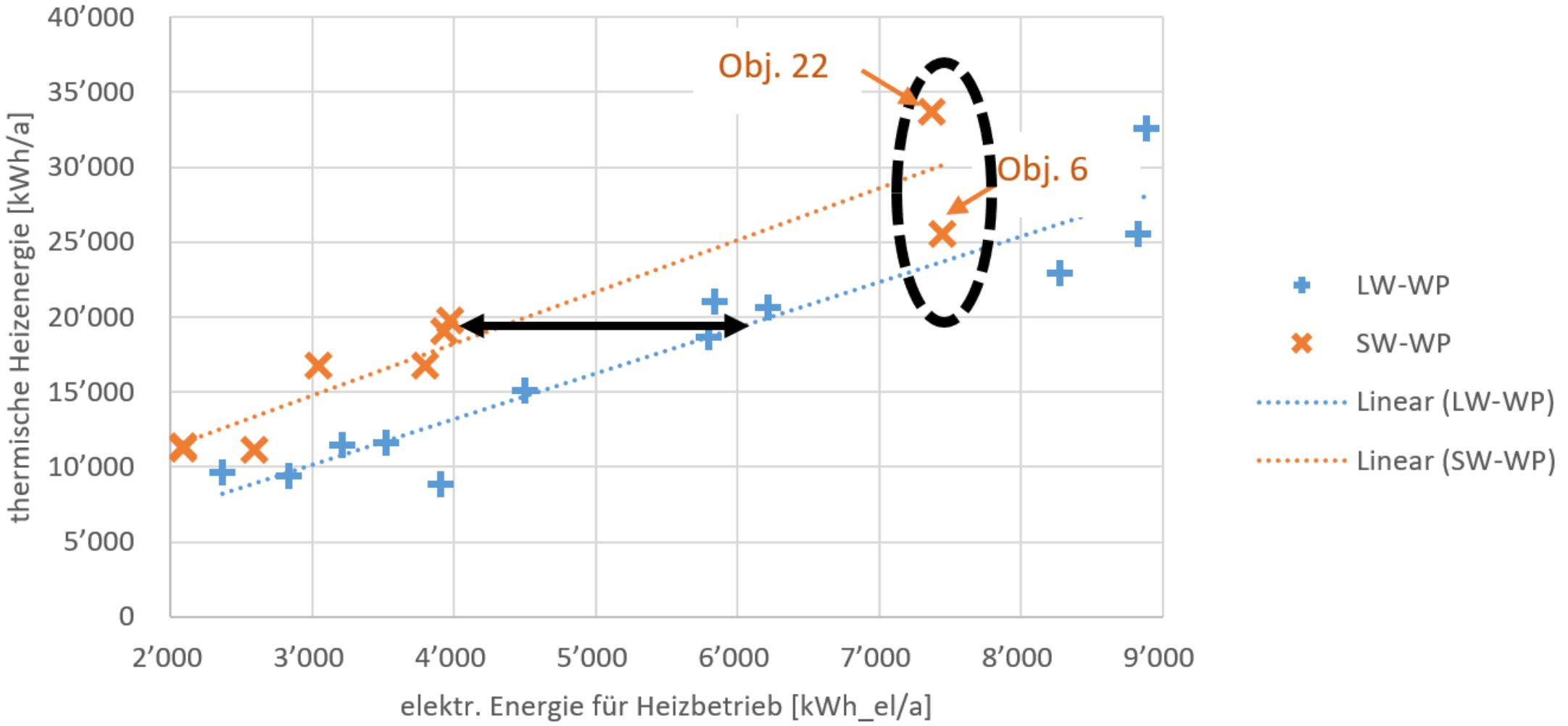
- Achtung: Effizienzangaben Luft/Wasser für Mittelland

  → Bergland deutlich tiefer

Jahresarbeitszahlen JAZ von Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit der eingestellten Heizkurve für Heizbetrieb inkl. Trinkwarmwasser (TWW)

OST

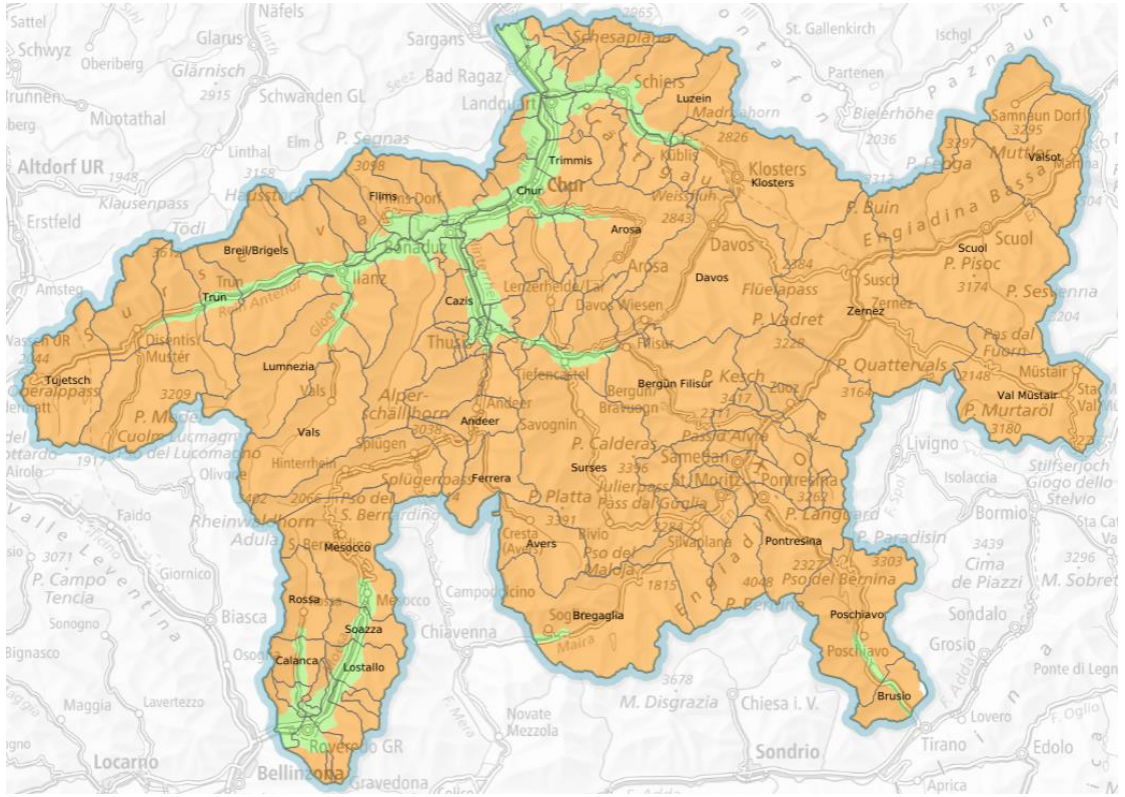
Strom-Input vs. Heizwärme-Output



Förderungsbegrenzung Luft/Wasser

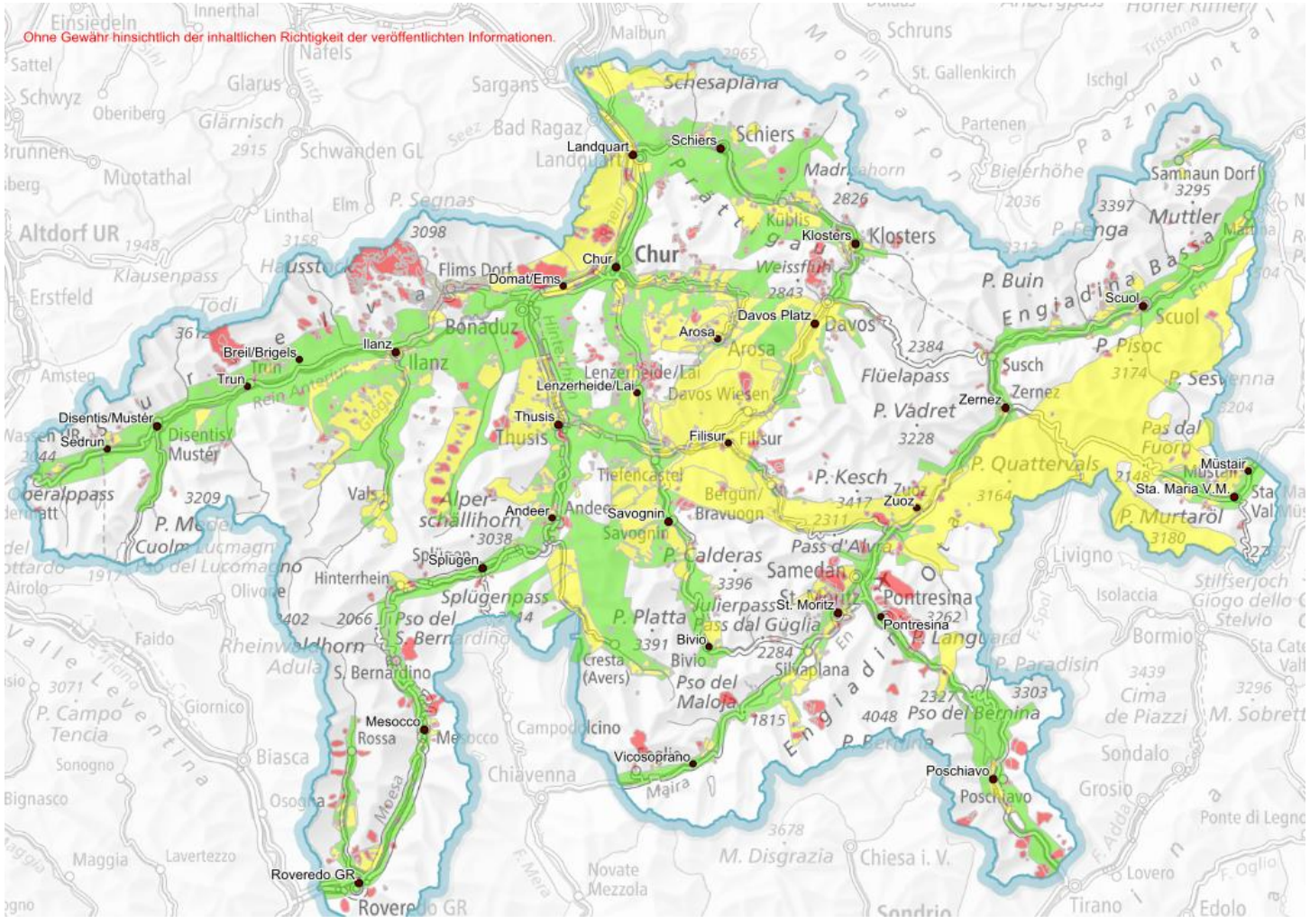
Anforderungen für Luft/Wasser- Wärmepumpenheizungen

Für Luft/Wasser-Wärmepumpen können finanzielle Beiträge ausgerichtet werden, wenn die Anlagen an einem Standort mit einer Jahresmitteltemperatur von mehr als 7.3°C realisiert werden. (Art. 47 BEV). Für die Jahresmitteltemperatur sind die Meteodaten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Tnorm8110, massgeblich. Die Daten sind grafisch aufbereitet und unter www.energie.gr.ch abrufbar.



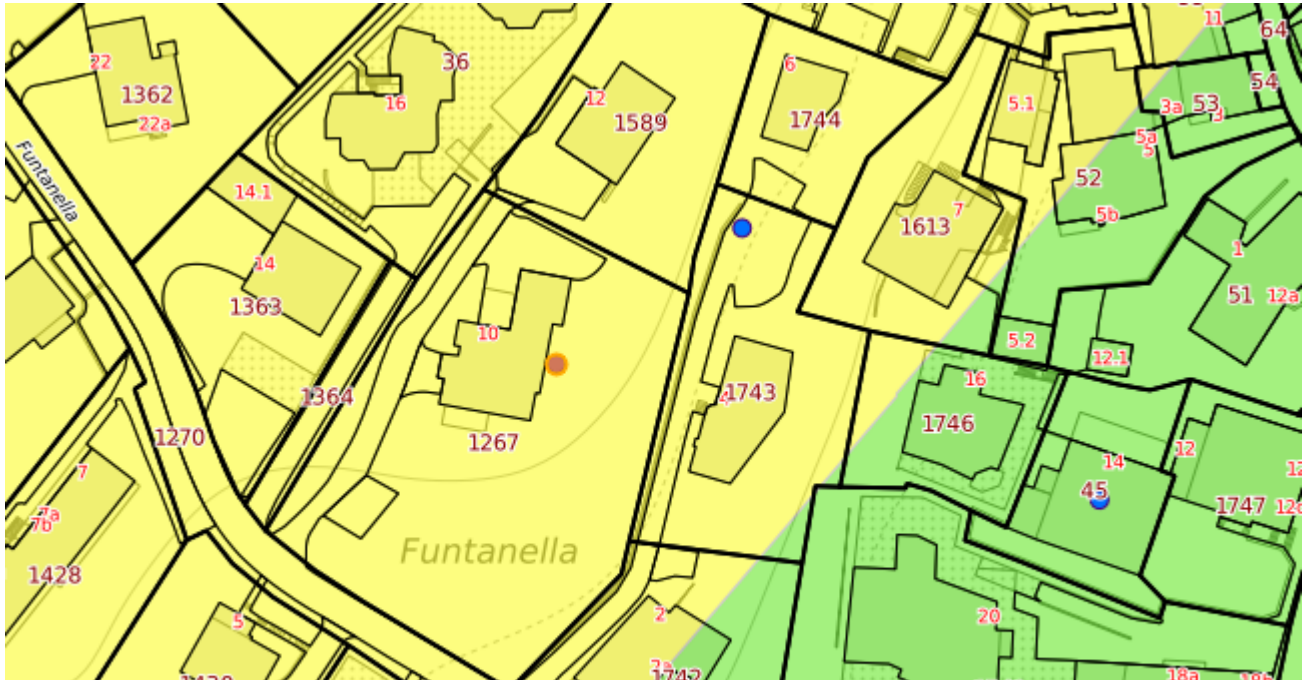
Erdwärmenutzungs-Anlagen

Link: [Geopartal GR: Erdwärmenutzung]



Erdwärmenutzungs-Anlagen

Was hat mein Nachbar?



Liegenschaften (1) **Anlagen (Wärmepumpen) (1)** Zulässigkeit (1)

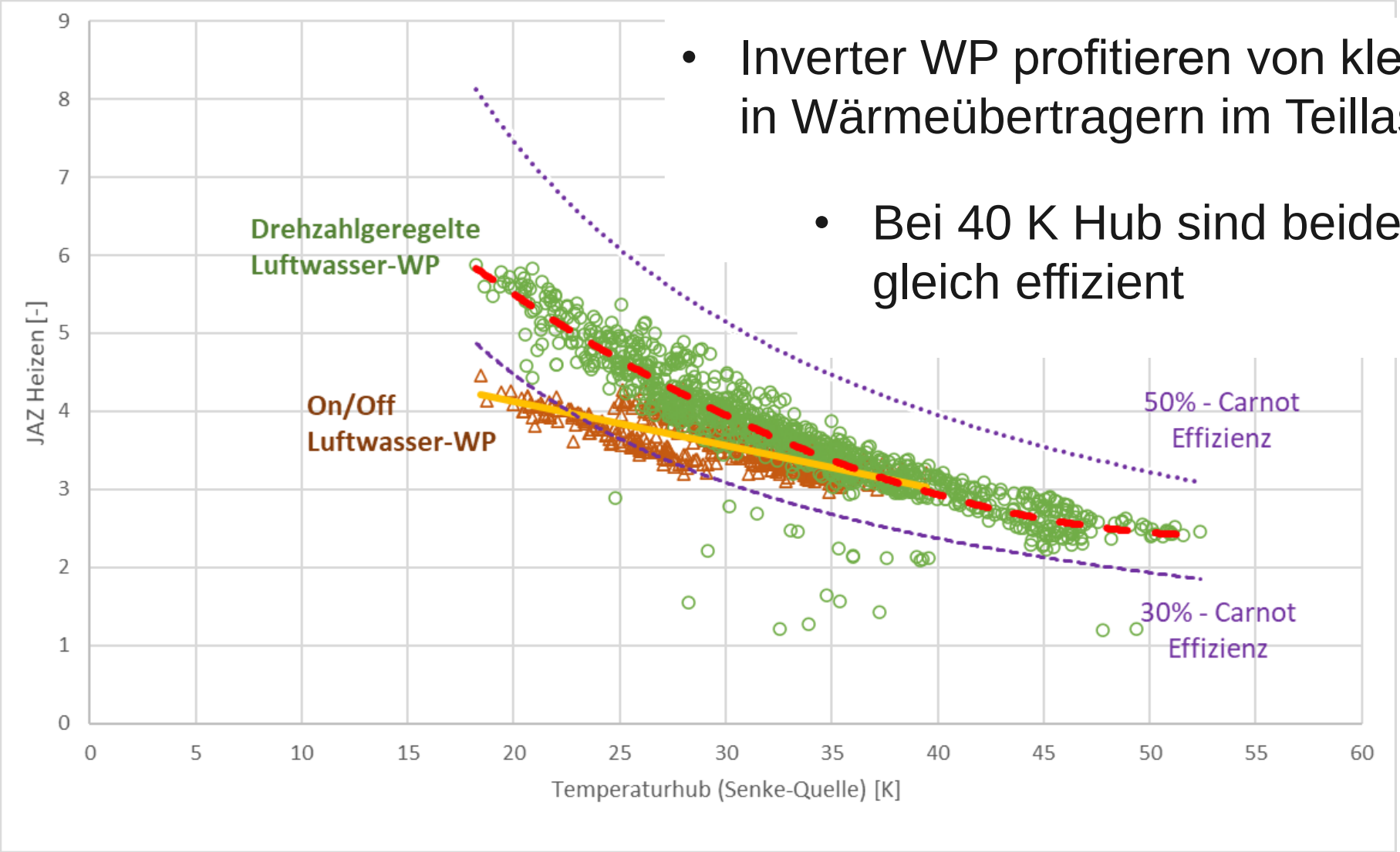
Anlage Nummer	Wärmepumpentyp	Wärmequelle	Sonde Bohrtiefe min	Sonde Bohrtiefe max	Anzahl Sonden	Bewilligung Datum	Bohrprotokoll
221012	Sonde	Boden	86	86	4	2019-08-13	Ja

Liegenschaften (1) Anlagen (Wärmepumpen) (1) **Zulässigkeit (1)**

Zulässigkeit	Begründung	Bemerkung	Spezielle Auflagen	Link
bedingt zulässig	geogene Gefährdung	Hauptdolomit	7d	http://www.anu.gr.ch/pdf_mapservices/Spezielle_Auflagen.pdf

Ergebnisse aus den Feldmessungen:

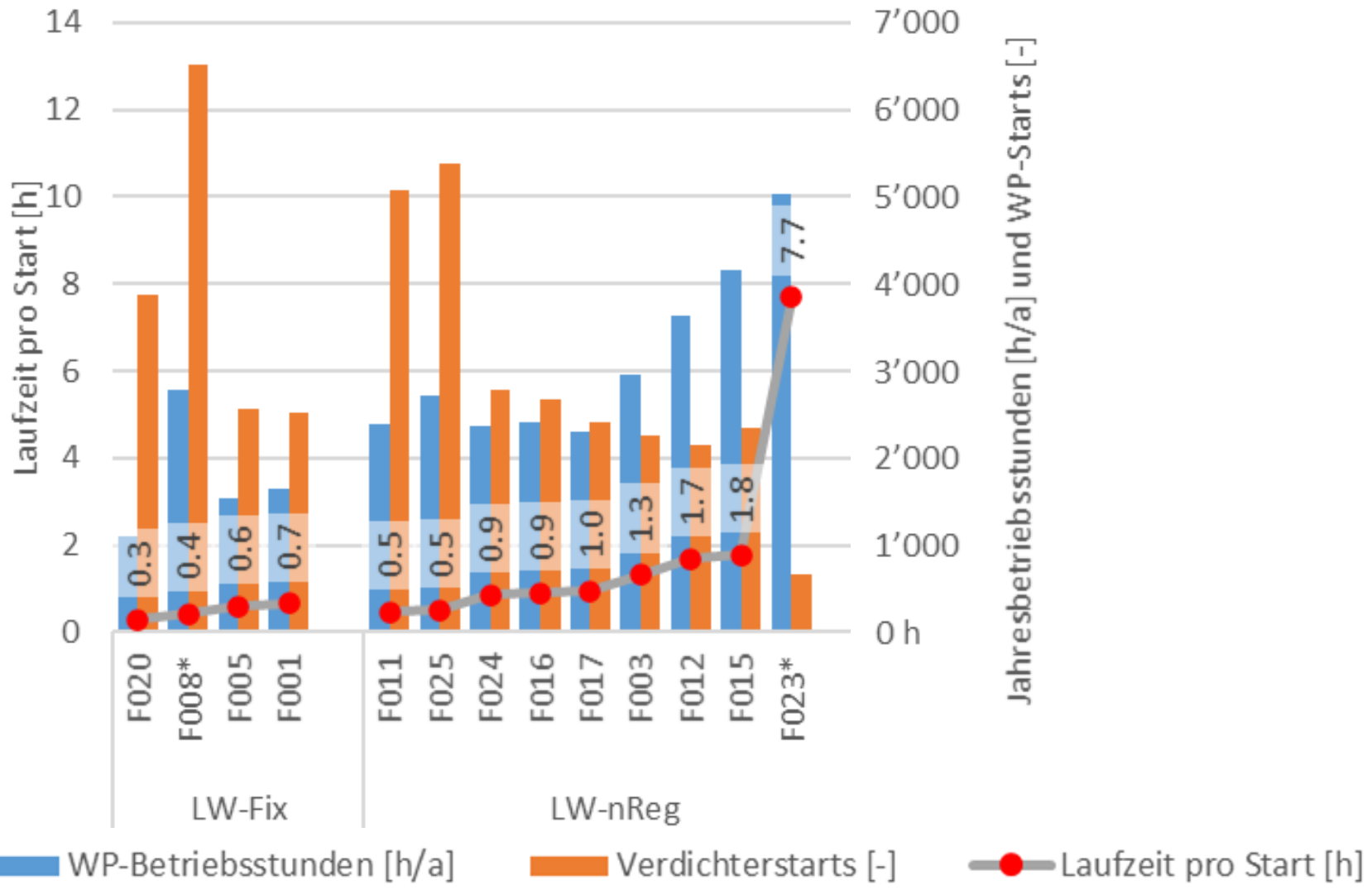
Effizienzvorteil von Inverter- zu On/Off Wärmepumpen



- Inverter WP profitieren von kleineren ΔT in Wärmeübertragern im Teillastbetrieb
  - Bei 40 K Hub sind beide Typen etwa gleich effizient

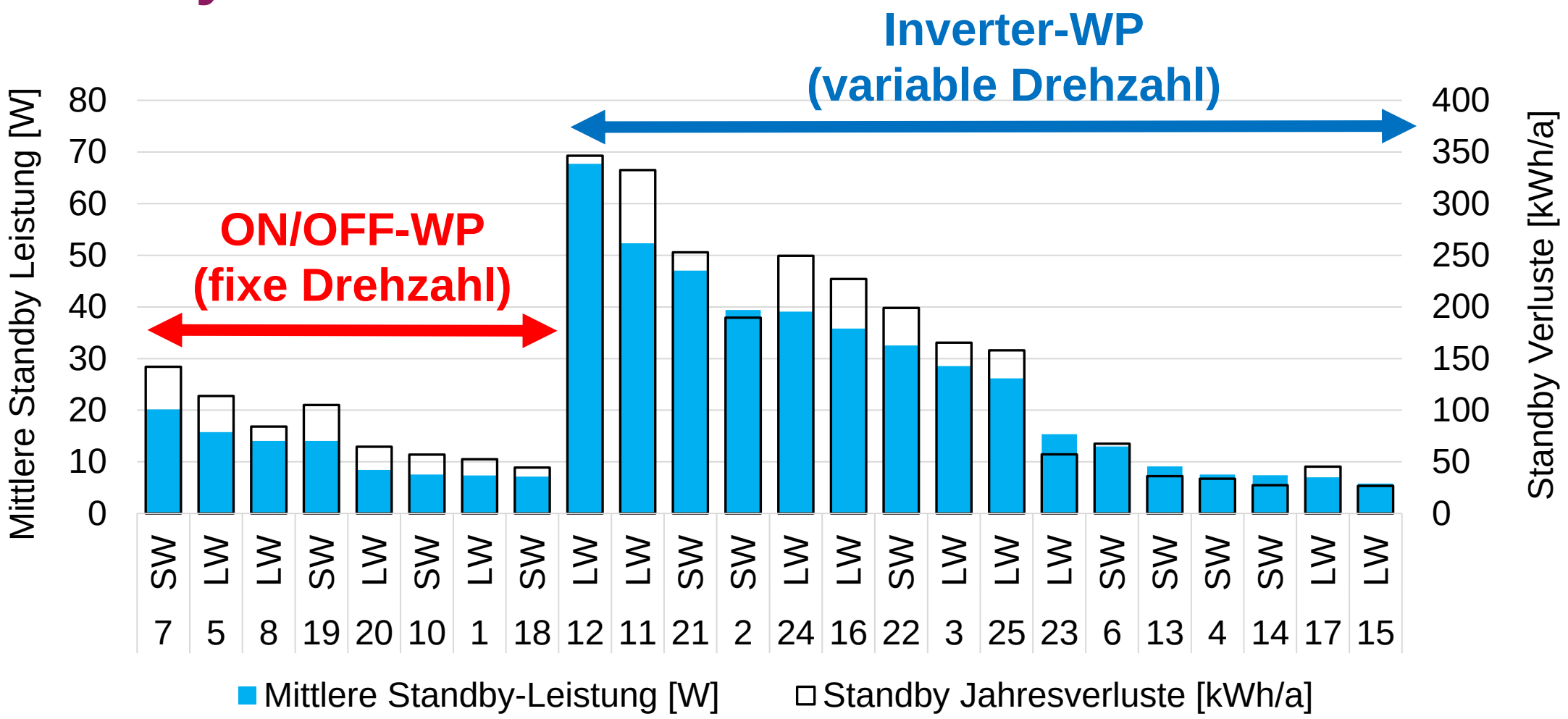
Ergebnisse aus den Feldmessungen:

on/off (fix) vs. drehzahlgeregelte Inverter Luft/Wasser-WP



Ergebnisse aus den Feldmessungen:

Standby Verluste



Nutzen des Monitoring: Verkalkung Heizstab

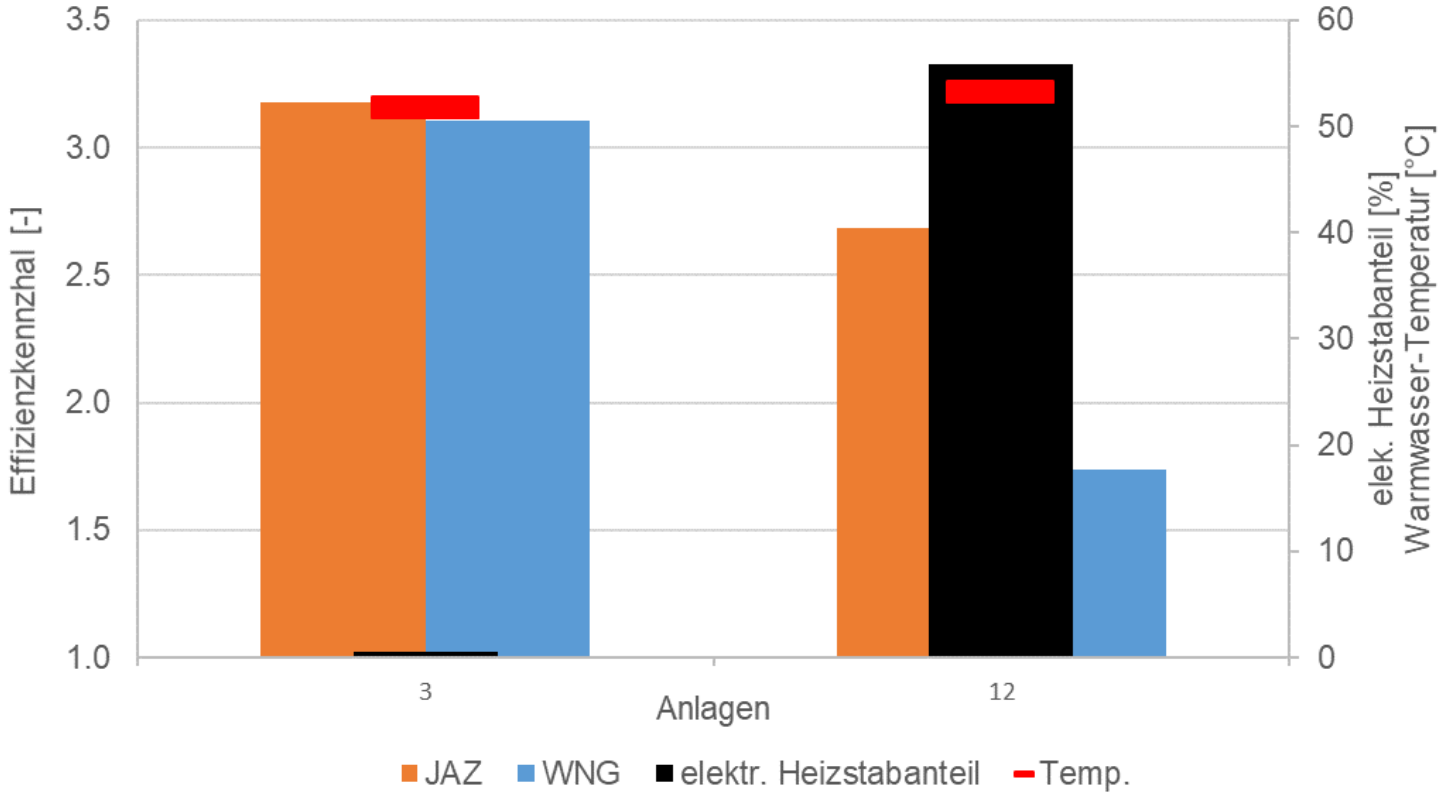
Obj. 22 Datum	featId_101 T_Aussen [°C]	featId_162 Start_Heizstab_TWW [-]	featId_159 tBh_Heizstab_TWW [h]	featId_113 T_TWW [°C]	featId_131 T_TWW (max) [°C]	featId_204 WNG_Aufladung [-]
2019-09	15.3	31	31.9	52.3	60.5	1.8
2019-10	11.3	52	51.4	54.8	60.6	1.5
2019-11	5.9	57	41.4	54	60.5	1.8
2019-12	3.1	243	47.9	53.5	59.4	1.9
2020-01	1.9	822	52.9	53.8	59.1	1.8
2020-02	5.5	775	51.9	53.8	59.1	1.8
2020-03	5.7	595	51.7	54	59.4	1.9
2020-04	12	1200	66.6	54.3	59.1	1.5
2020-05	14.5	99	6.8	49.2	59	3.1
2020-06	18.1	57	1.9	48.7	52.4	3.3
2020-07	21.5	87	4.1	48.1	54.3	3.2
2020-08	20.8	5	3.3	48	54.4	3.3

- Wie wird die Sicherstellung der Funktion/Temperatur ohne Monitoring gewährleistet?
- Bei Servicearbeiten hat jede Fachkraft seine eigene Einstellungen beim TWW
- 70% Effizienzsteigerung ohne Heizstab, Temperatur 5K kälter

Heizstabanteil

- 0 kWh Strombedarf Heizstab
- 0% elektrische Aufladung
- **51.8 °C** Warmwasser-Temperatur
- **WNG: 3.11**

- 612 kWh Strombedarf Heizstab
- 56% elektrische Aufladung, tägliches Legionellenprogramm
- **53.1 °C** Warmwasser-Temperatur
- **WNG: 1.74**

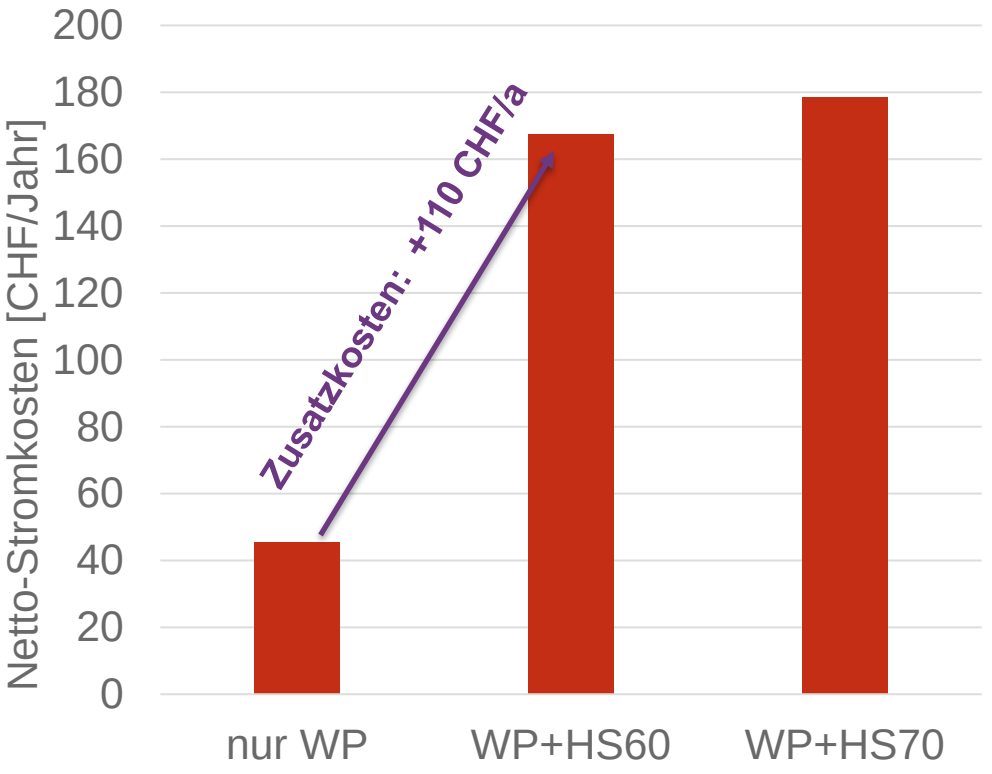


- Beides moderne invertergeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpen

PV-Eigenverbrauch mit WP + Elektroheizstab

- **Netto-Stromkosten STEIGEN** durch Einsatz von Heizstab!
  - Netto-Stromkosten
    = Netzbezug – Einspeisevergütung

- Es werden zwar bei einem PV-Betrieb des Heizstabs bis 60 °C **185 kWh weniger Strom vom Netz** bezogen, dafür aber **1766 kWh weniger kWh zurückgeliefert**
  - Das Verhältnis Reduktion Rücklieferung zu Reduktion Einspeisung beträgt damit 1 : 9.6
  - Finanziell nur attraktiv bei Stromkosten die 9.6 x höher sind als Rückliefertarif (z. Bsp. Bezugstarif 19.2 Rp und Einspeisetarif 2 Rp)



HS60 = Heizstab bis 60 °C

HS70 = Heizstab bis 70 °C

SPF INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK

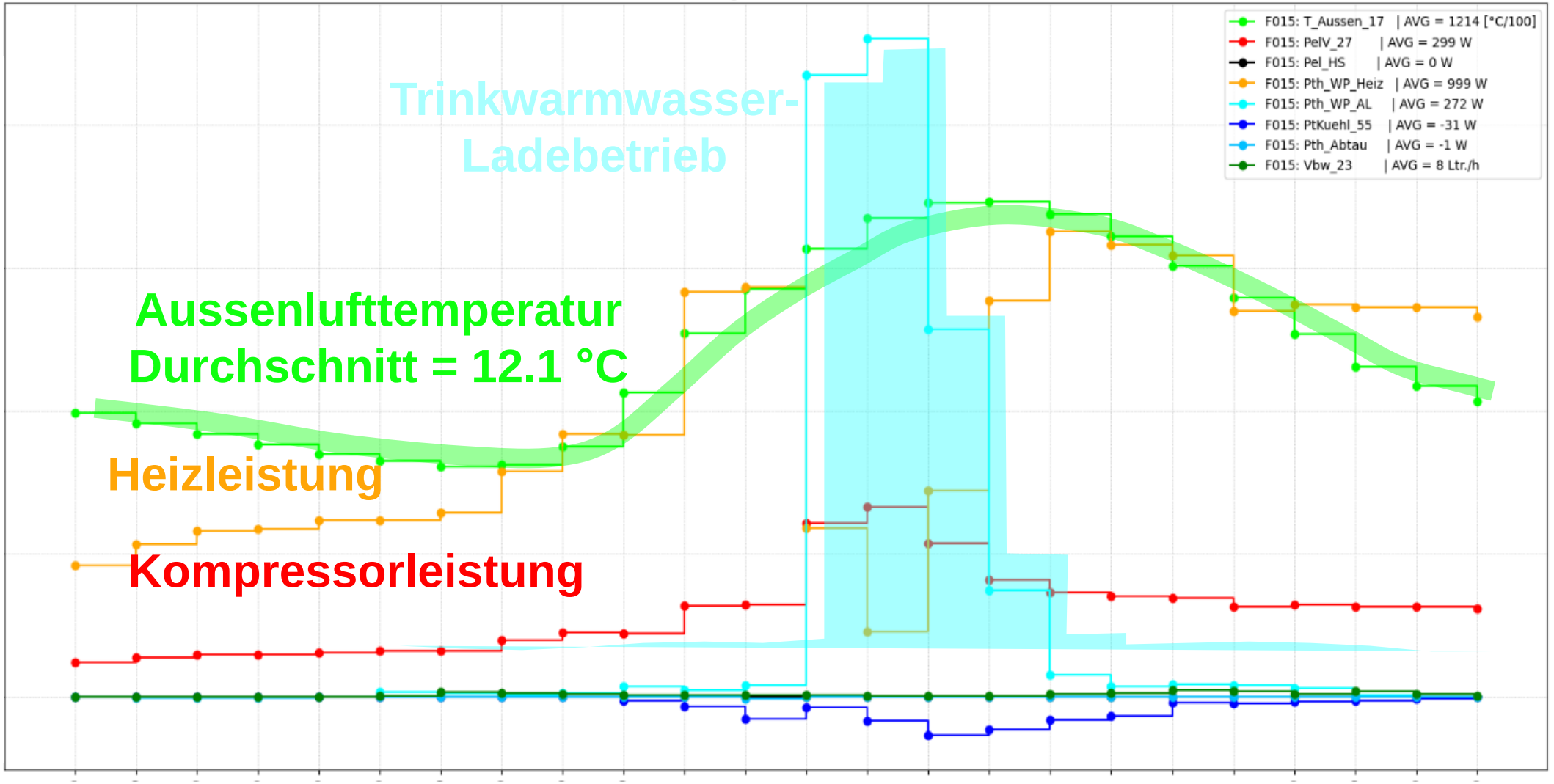
OST

Faktenblatt von EnergieSchweiz – Nov. 2022

- Zielgrössen der Eigenverbrauchs-Optimierung sollten die Reduktion des Netzstrombezugs sowie die Minimierung der jährlichen Netto-Stromkosten sein. Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad zu maximieren führt zu ineffizienten Systemen und zu energetischen und finanziellen Verlusten.

Quelle: Merkblatt PV-Eigenverbrauch von EnergieSchweiz vom Nov. 2022

Optimal eingestellte WP Anlage (WW-Ladebetrieb um 12:00-15:00)



Wärmepumpen in MHFs

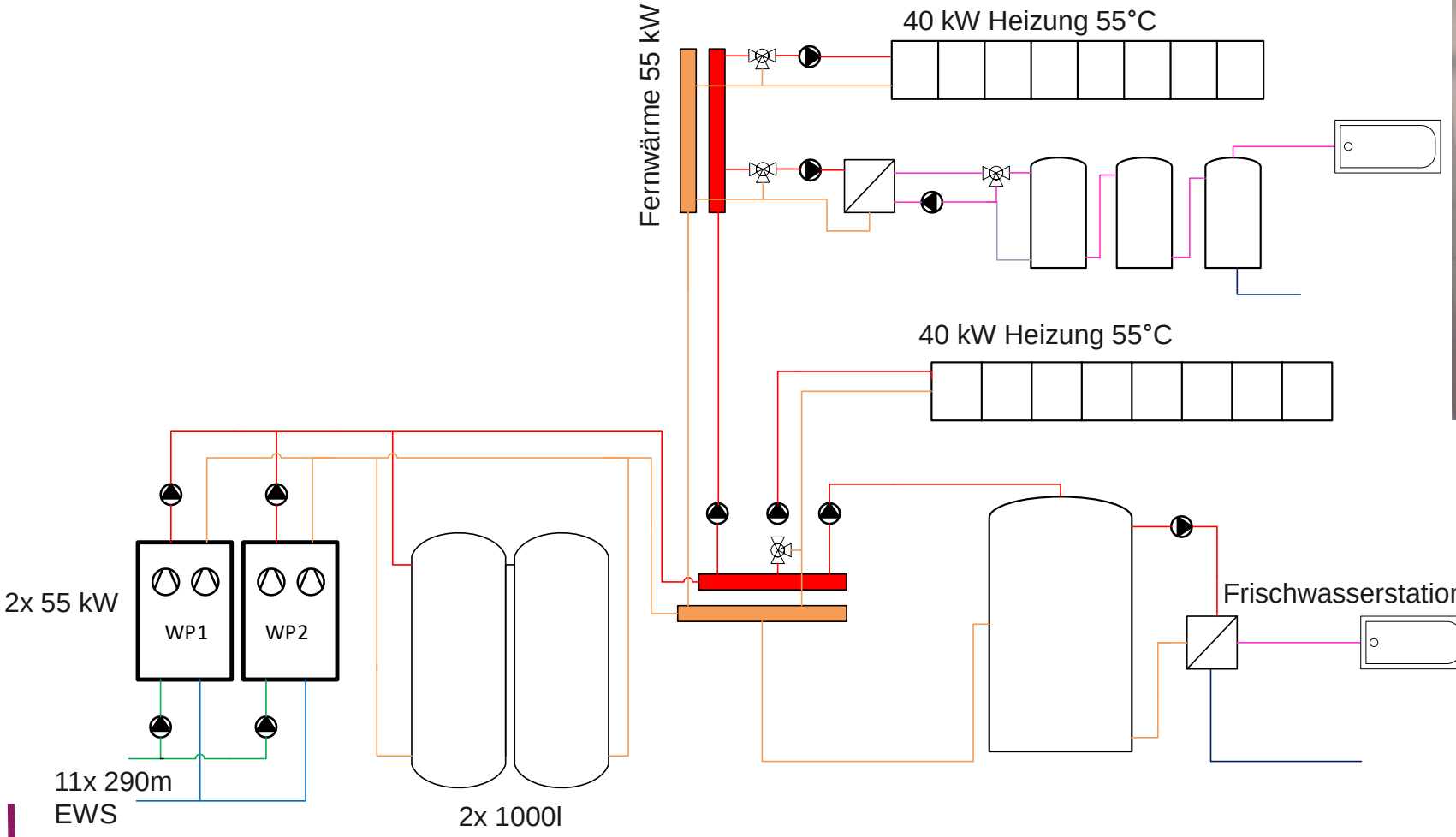
2x MFH à 18 Wohnungen, 4270m² in St. Gallen

IES
Institut für Energiesysteme

OST

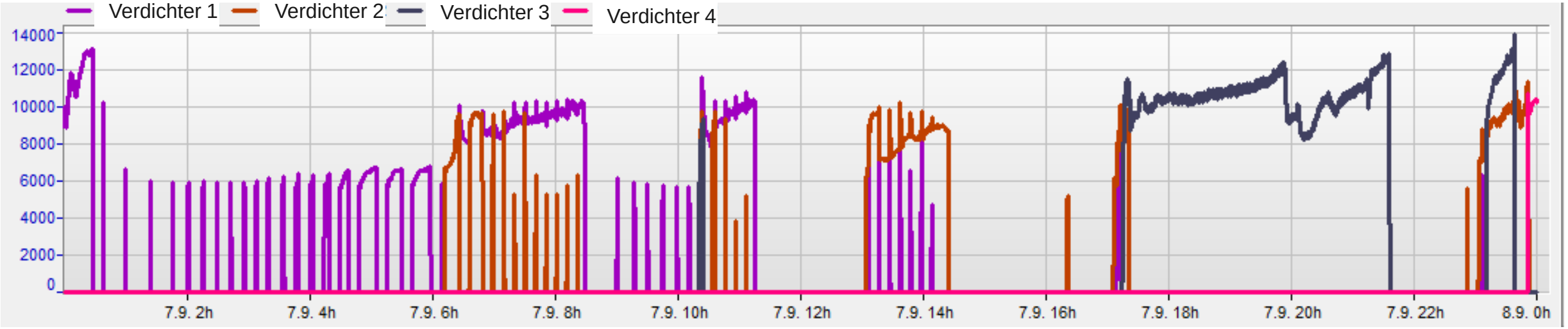
Herausforderung bestehende Hydraulik und Anpassungen

2 Sole/Wasser-Wärmepumpen à 55 kW, Fernleitung ins 2. Gebäude
Trinkwassererwärmer in jedem Gebäude



Herausforderung übergeordnete Steuerung - Leitzentrale (SPS)

Taktungen der 4 Verdichter



Elektrische Leistung der vier Verdichter [W]

- Häufige Einschaltungen
- Sehr kurze Laufzeiten
- Teilweise drei Verdichter für wenige Minuten in Betrieb

Zwischenfazit Feldmessung von Wärmepumpen

- Insgesamt arbeiten Kleinwärmepumpen in der Feldmessung gut
- Wärmepumpen können bei ordentlicher Planung, Installation und Inbetriebnahme fossile Heizungsanlagen auch im Gebäudebestand effizient ersetzen
- Sole/Wasser-Wärmepumpen sind bei mittleren Heizungs-Vorlauftemperaturen ca. 40 % effizienter als Luft/Wasser-Wärmepumpen
- Der Heizungsregler sollte sorgfältig eingestellt und ggf. nachjustiert werden (Heizgrenze, Heizkurve, Legionellenprogramm mit Vorwärmung durch den Verdichter der Wärmepumpe, etc.)
- Eine (Fern-) Überwachung der Anlage kann Fehlfunktionen und Defekte rechtzeitig erkennen.
- Achtung bei Heizstäben! Betrieb kontrollieren

→ Richtige
- Dimensionierung (Leistung)
- Integration (Hydraulik)
- Parametrierung (Inbetriebnahme, Einstellungen)

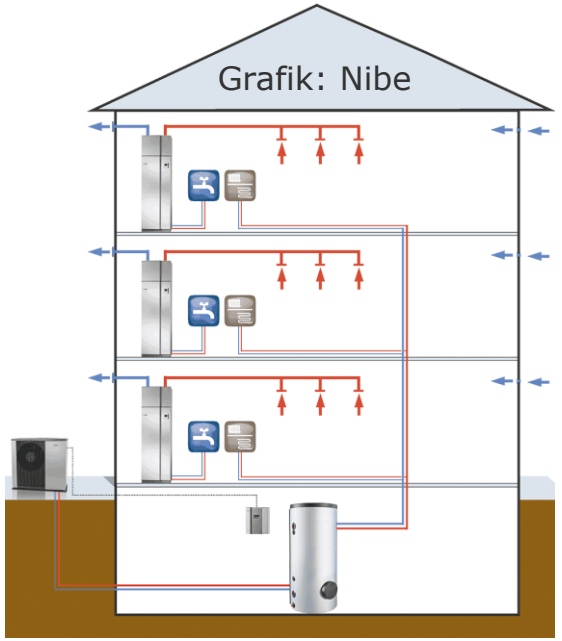
sind der Schlüssel !!!

OST

Dezentrale Anlagen verstärkt in Diskussion

- Meist in der Sanierung
- Vor allem für Trinkwarmwasser
- Wärmequellen
  - Rücklauf Fussbodenheizung
  - Abluft WC
  - Anergienetz im Gebäude
- Einfachere Abrechnung
- Keine Verteilverluste

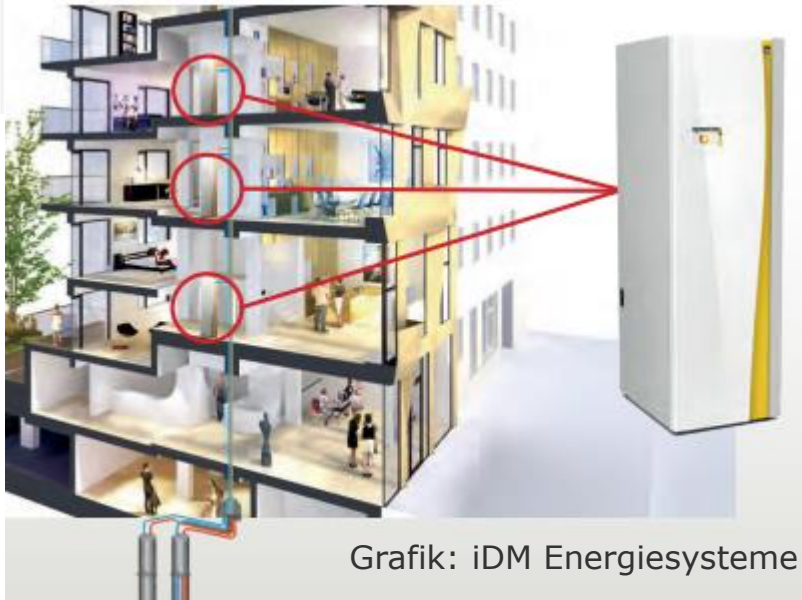
Grafik: Swissframe



Grafik: Nibe

Wassererwärmer im Wohnzimmer

→ Direkte Leitung
→ Nutzen Wärmeverluste

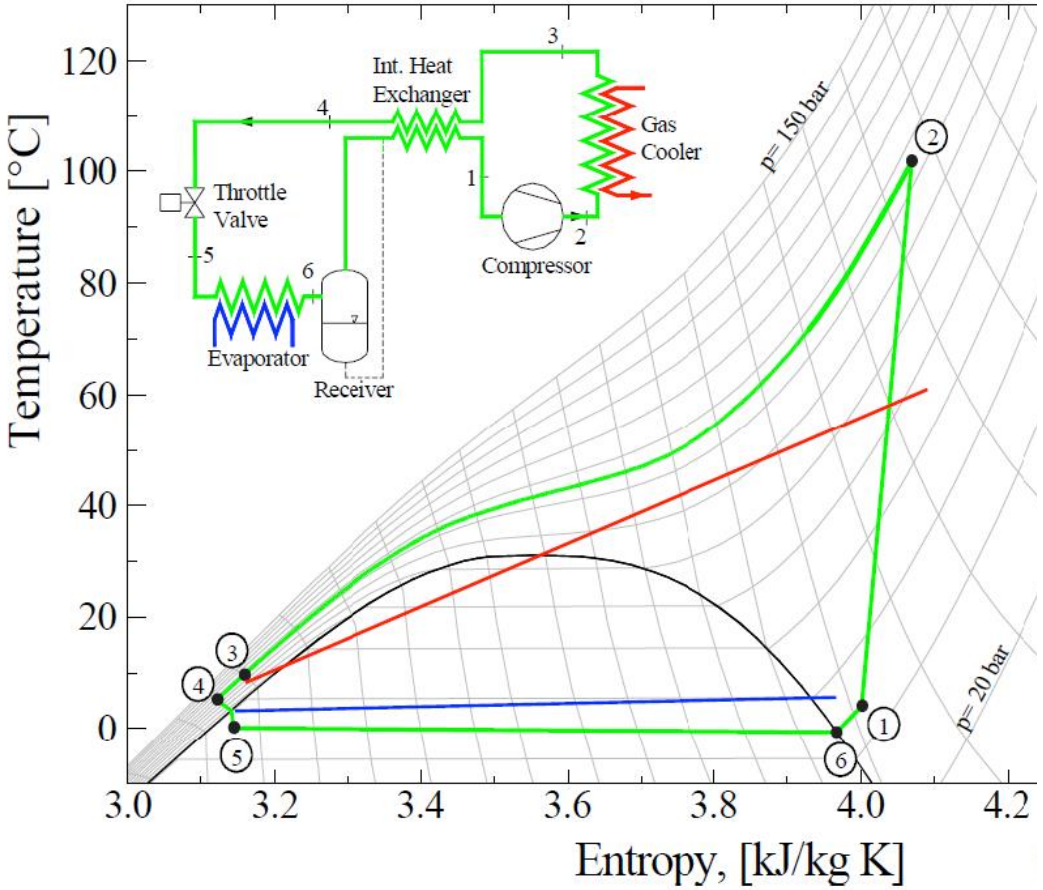


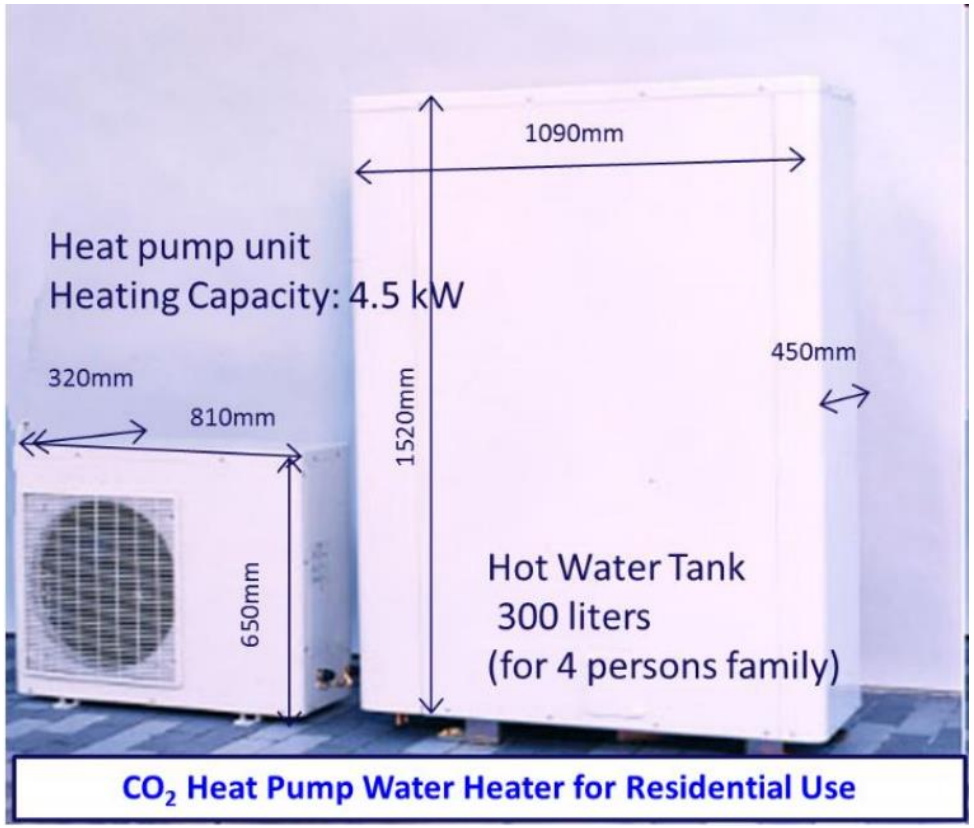
Grafik: iDM Energiesysteme

Ausblick Entwicklung von Wärmepumpen für Ein- und Mehrfamilienhäuser

- Schallthematik und städtische Einbausituation bei LW-Wärmepumpen
- Kleine Luft-Luft-Wärmepumpen mit Wohnraumlüftung
- Verbesserte Regelung (Software) und insbesondere PV-Schnittstelle
- selbstlernende Regelalgorithmen: fernüberwachter störungsfreier Betrieb
- Natürliche Kältemittel:
  - Propan (R290) v.a. für Luft/Wasser-Monoblock-WP
  - CO_2 (R744) v.a bei Anwendungen mit grosser Spreizung oder Warmwasser

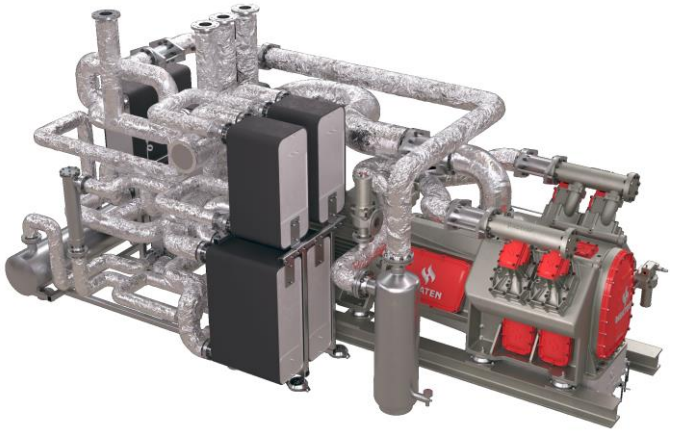
CO_2 Anlagen für hohe Warmwassertemperaturen





hpt-an46-02-04-task-1-counry-report-japan.pdf

Perspektiven für den sehr grossen Leistungsbereich



HBL4 W/W

V4 1.5 MW_{th}

Scale up

V16 6 MW_{th}

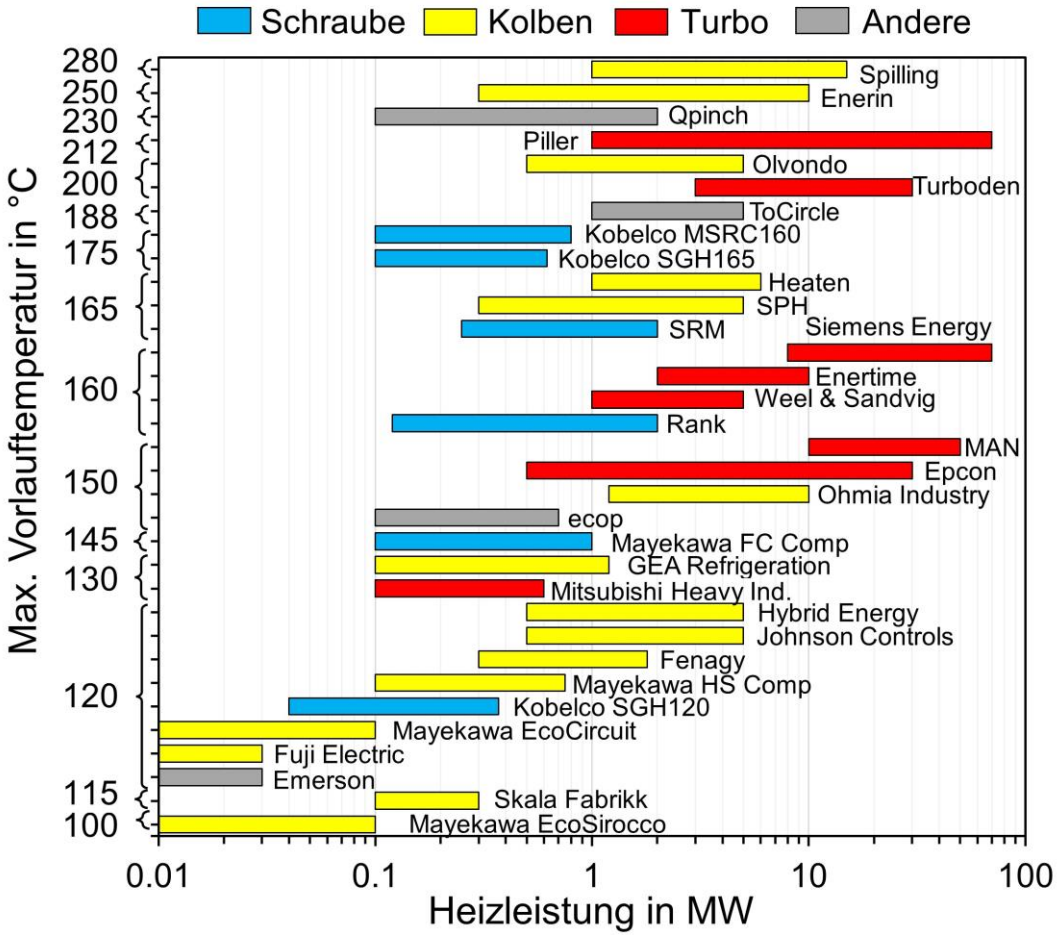
- Pilotversuche Ende 05.2023
- Temperatur bis 165 °C
- Niederdruck-Dampf
- Kältemittel:
  R1233zd(E) oder
  R1336mzz(Z)
- 50-60 % Carnot Effizienz

Image courtesy by Heaten AS

cordin.arpagaus@ost.ch

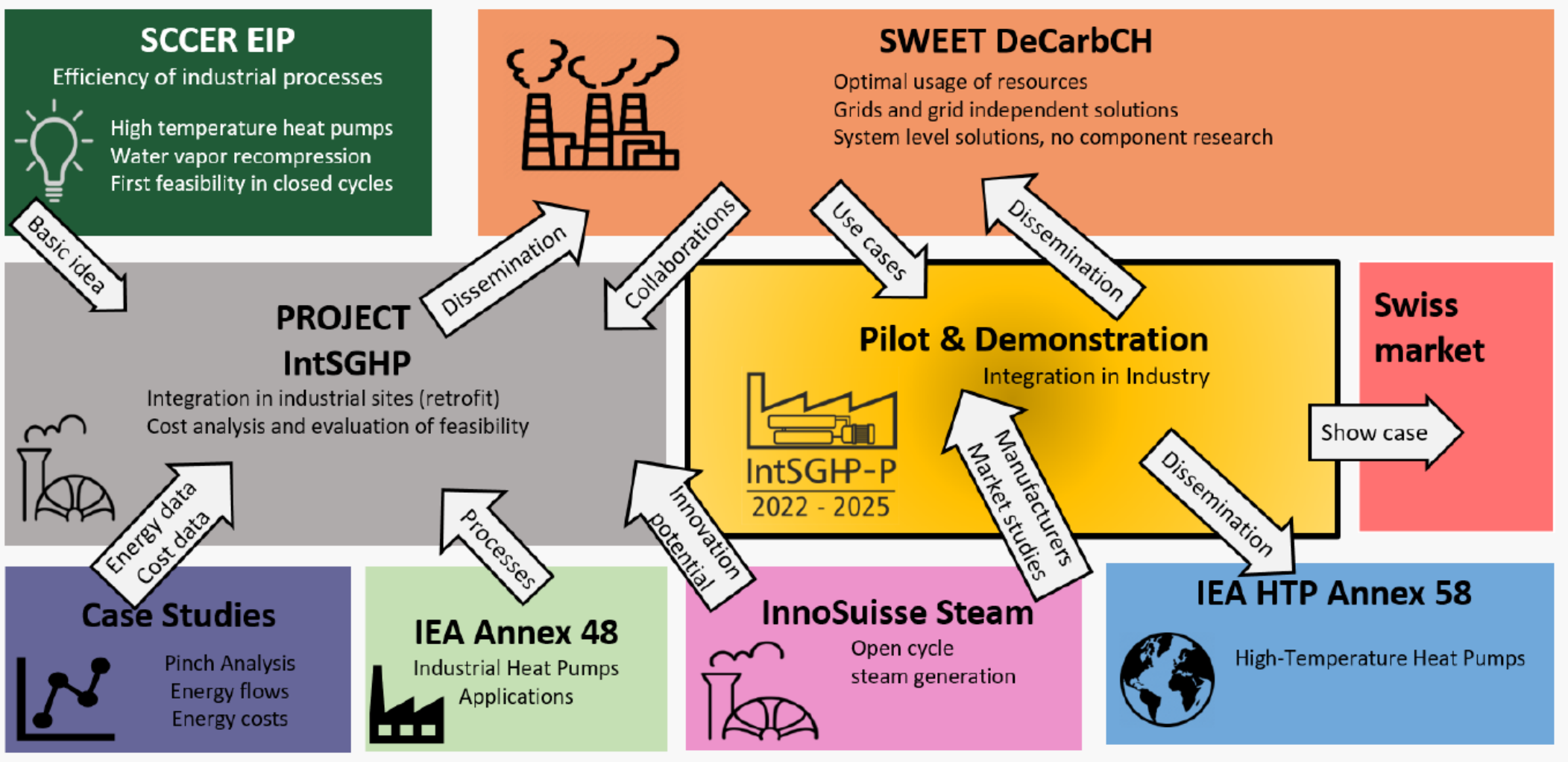
Entwicklungen und Wärmepumpen für Systemtemperaturen von über 100 °C

Maximale Heiztemperatur [°C] vs. Heizleistung [MW]



Arpagaus, C.; Brendel, L.; Paranjape, S.; Bless, F.; Uhlmann, M.; Bertsch, S.:
High-Temperature Heat Pumps for Industrial Applications - New Developments and Products for Supply Temperatures above 100 °C,
China Heat Pump Conference (CHPC2022), Hangzhou, 24.-27. Oktober, 2022.

Forschungsprojekte am Institut für Energiesysteme



Nützliche Links

www.wpz.ch

- Daten (Effizienz, Schall,…) von unterschiedlichen Wärmepumpen
- **Jahresberichte Feldmessungen, weitere Publikationen**

https://wpz.energiewerkbank.ch/

- Vergleichstool für Wärmepumpen

https://www.fws.ch/

- Kontakte zu Herstellern, Bohrfirmen, Beschreibung der Funktion von Wärmepumpen

https://www.energieschweiz.ch/heizungssysteme/waermepumpen/

- Heizkostenrechner
- Grundlegende Information zu Wärmepumpen

https://www.energieschweiz.ch/beratung/impulsberatung/

- Gratis / vergünstige Erstberatung

https://edit.geo.gr.ch → Suche: Erdwärmenutzung

https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html

- Publikationsseite Bundesamt für Energie

https://energeiaplus.com

- Magazin des Bundesamtes für Energie

Merkblatt PV-Eigenverbrauch von EnergieSchweiz

Interesse an einer Teilnahme in den Feldmessungen?

Hochpräzise Messtechnik vor Ort
Kostenloses Monitoring der Betriebsweise und Optimierungsvorschläge
Komplett anonymisierte Datenerhebung

Voraussetzung:
noch nicht installierte Wärmepumpe mit ca. **20-30 kW Heizleistung in einem MFH**
Keine Bivalentanlage (keine Solarthermie und sonstige zusätzliche Wärmeerzeuger)

Publikationen der Feldmessungen
www.wpz.ch

energieschweiz

WPZ Wärmepumpen-Testzentrum

Kontakt für interessierte Eigentümer, Verwaltungen, Installateure
Mick Eschmann
Tel: 058 257 34 02
Email: mick.eschmann@ost.ch

OST

WPZ Wärmepumpen-Testzentrum

energieschweiz

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE

Vielen Dank für Ihr Interesse

Fragen?

Sole/Wasser-Wärmepumpe in einem MFH

- 72 kWh/m² Heizwärmebedarf
- 466 m², Fussbodenheizung
- 42 °C Vorlauftemperatur im Auslegepunkt
- **WNG 4.2** (Heizen+Warmwasser)

OST