

# **Betriebstemperaturen von Wärmepumpen – Was ist möglich und wie ist der Einfluss auf die Effizienz?**

**Beat Wellig**

Institut für Maschinen- und Energietechnik IME

CC Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik

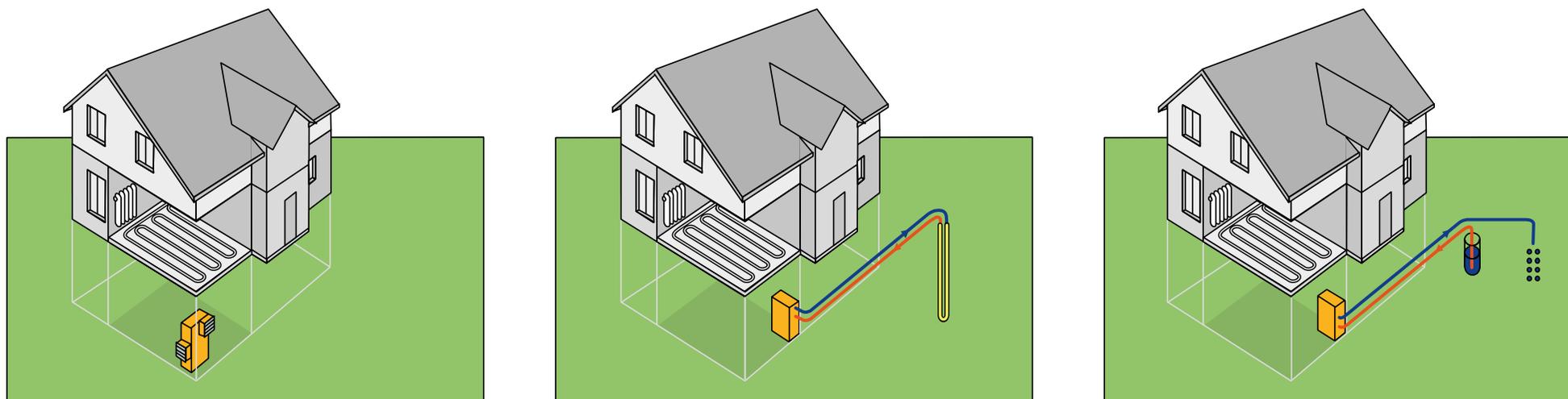
ERFA-Tagung

«Grosswärmepumpen für thermische Netze – Lösungen und Erfahrungen aus der Praxis»

Zürich, 9. April 2024

## Bedeutung von Wärmepumpen

- Das Heizen von Gebäuden hat einen beträchtlichen Anteil an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Ohne Wärmepumpen ist das Ziel eines emissionsfreien Betriebs des Gebäudeparks nicht erreichbar.
- **Effizient und nachhaltig geheizt wird heute mit Wärmepumpen.**



[Quelle: FWS]

- **Auch bei thermischen Netzen spielen Wärmepumpen eine überragende Rolle.**

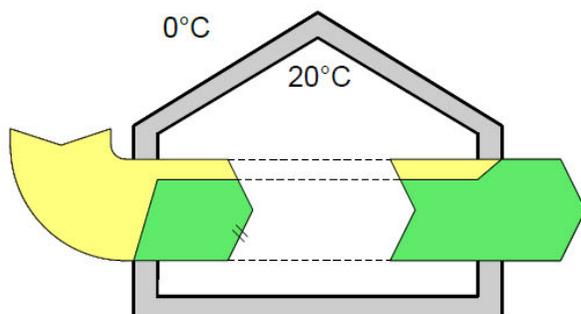
## Was sagt uns die Thermodynamik?

Thermodynamik des Heizens:

### Heizkessel (Öl, Gas)

Wirkungsgrad:

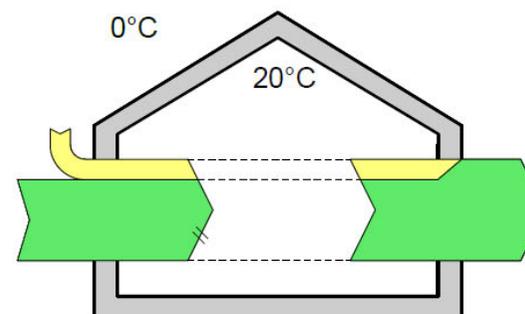
- energetisch 100 %
- exergetisch 7 %



### Ideale WP

Wirkungsgrad:

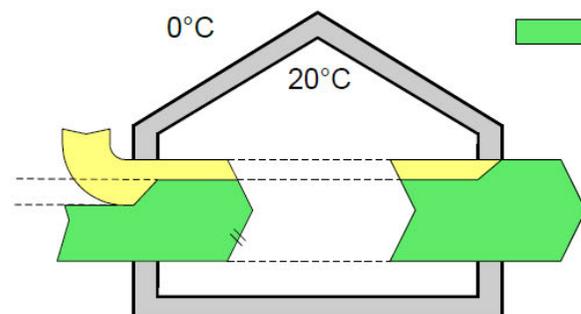
- energetisch 1500 %
- exergetisch 100 %



### Luft/Wasser-WP

Wirkungsgrad:

- energetisch 450 %
- exergetisch 40 %

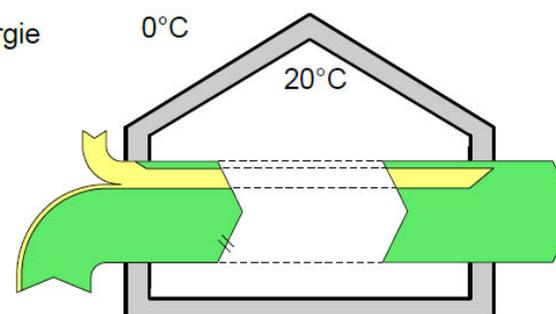


 Exergie  
 Anergie

### Erdsonden-WP

Wirkungsgrad:

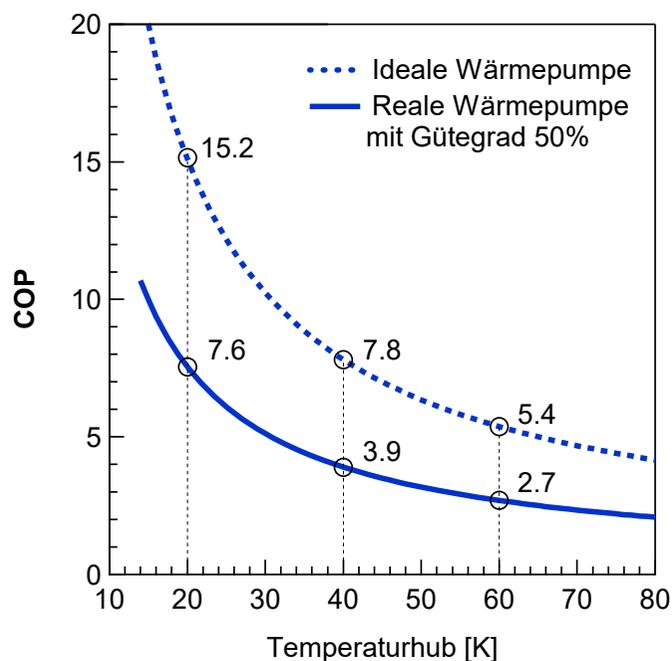
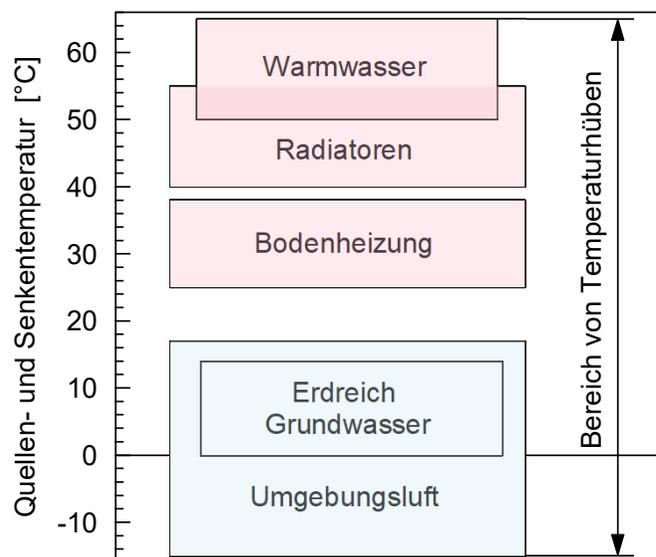
- energetisch 920 %
- exergetisch 80 %



**In zukunftsfähigen Gebäuden brennt keine Flamme.**

## Temperaturhub und Effizienz

Je nach Wärmequelle und -senke ergibt sich ein weiter Bereich von Temperaturhuben:



### Coefficient of Performance

Carnot-Wärmepumpe:

$$COP_C = \frac{\text{Kondensationstemp.}}{\text{Temperaturhub}} = \frac{T_K}{\Delta T_H}$$

Reale Wärmepumpe:

$$COP = \frac{\text{Heizleistung}}{\text{Kompressorleistung}}$$

Innerer Gütegrad (Wirkungsgrad):

$$\eta = \frac{COP}{COP_C} \quad \text{oder} \quad COP = \eta \cdot \frac{T_K}{\Delta T_H}$$

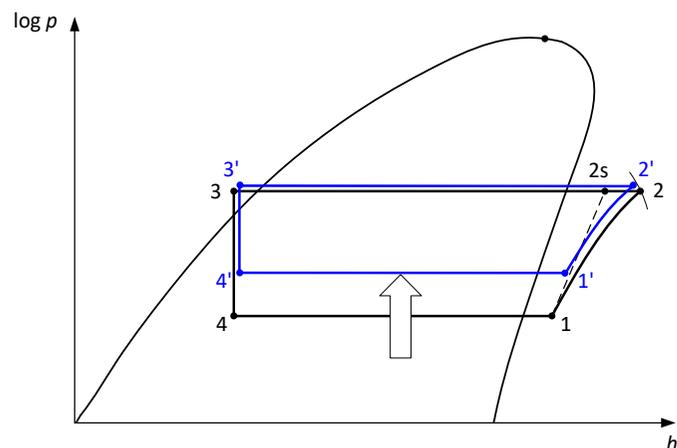
**Der Temperaturhub ist entscheidend für die Effizienz!**

## Temperaturhub und Effizienz

Die Reduktion des Temperaturhubs steht im Zentrum vieler Optimierungsmassnahmen:

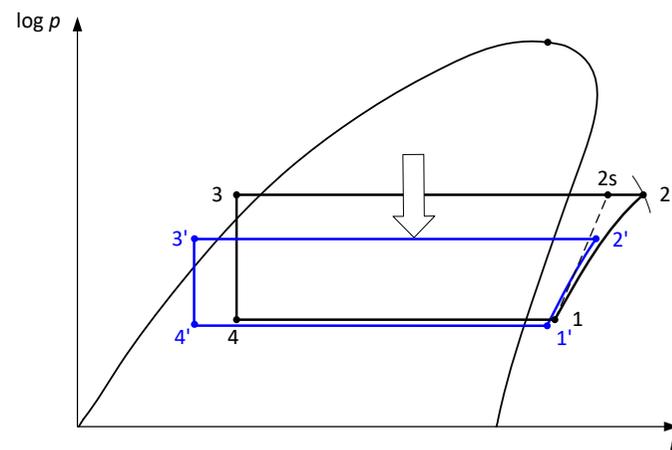
**Bei konstantem Gütegrad ergibt halber Hub doppelte Effizienz.**

### Erhöhung Verdampfungstemperatur



etwa gleichbleibende Kondensationswärme und sinkende Kompressorarbeit

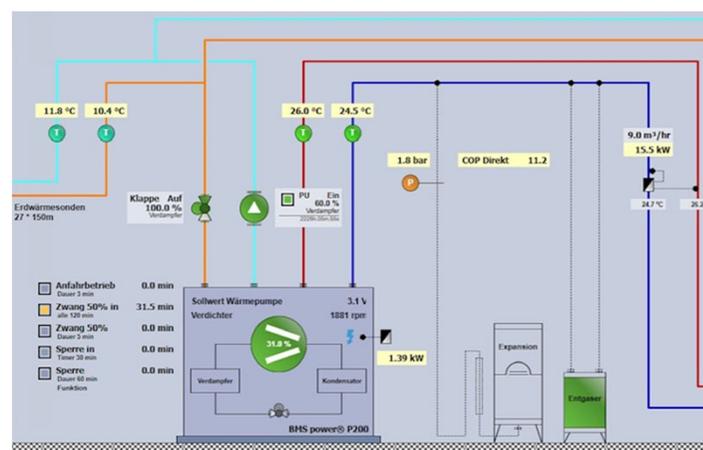
### Reduktion Kondensationstemperatur



etwa gleichbleibende Kondensationswärme (grob), steigende Verdampfungswärme (und damit kleinerer Massenstrom) und sinkende Kompressorarbeit

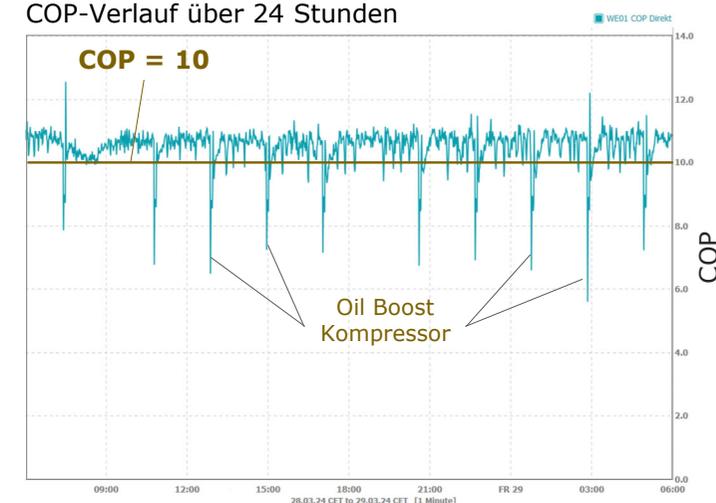
## Temperaturhub und Effizienz

Potenzial von **Niederhub-Wärmepumpen**:



[BMS Energietechnik AG]

COP-Verlauf über 24 Stunden

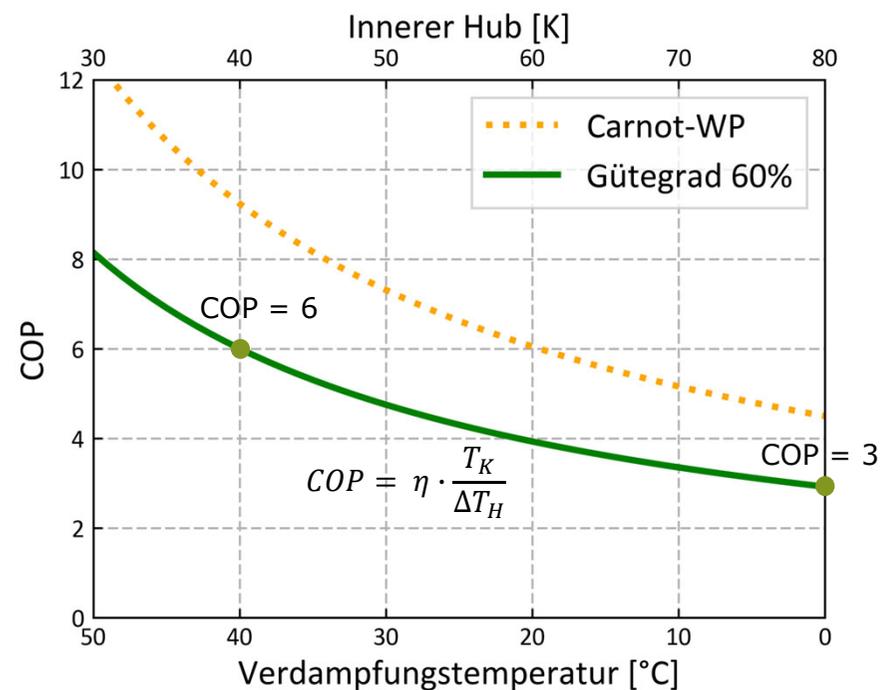
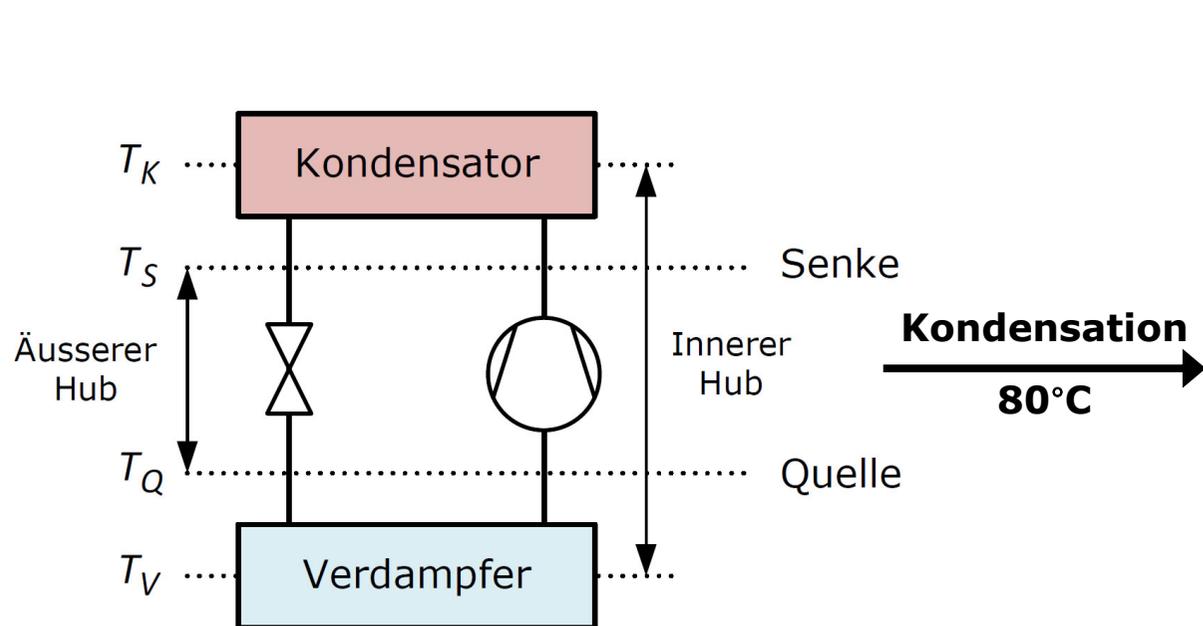


- Büro- und Gewerbehaus in St. Gallen, ca. 4'000 m<sup>2</sup>, Sanierung
- Klimakonvektoren: Heizen 26°C VL, Kühlen 20°C VL (Regeneration Erdreich)
- Wärmepumpe mit drehzahlgeregeltem Scrollverdichter
- Temperaturhub kleiner als 20 K
- **COP > 10 über weiten Leistungsbereich und Zeitraum**

# Temperaturhub und thermische Netze

Wärmequellen

Einfluss der **Quellen-Temperatur** auf die Effizienz:



**Wärmequellen mit hohen Temperaturen nutzen!**

## Temperaturhub und thermische Netze

Wärmequellen

### Wärmequellen für Gross-Wärmepumpen

für thermische Netze (Vortrag K.H. Schädle):

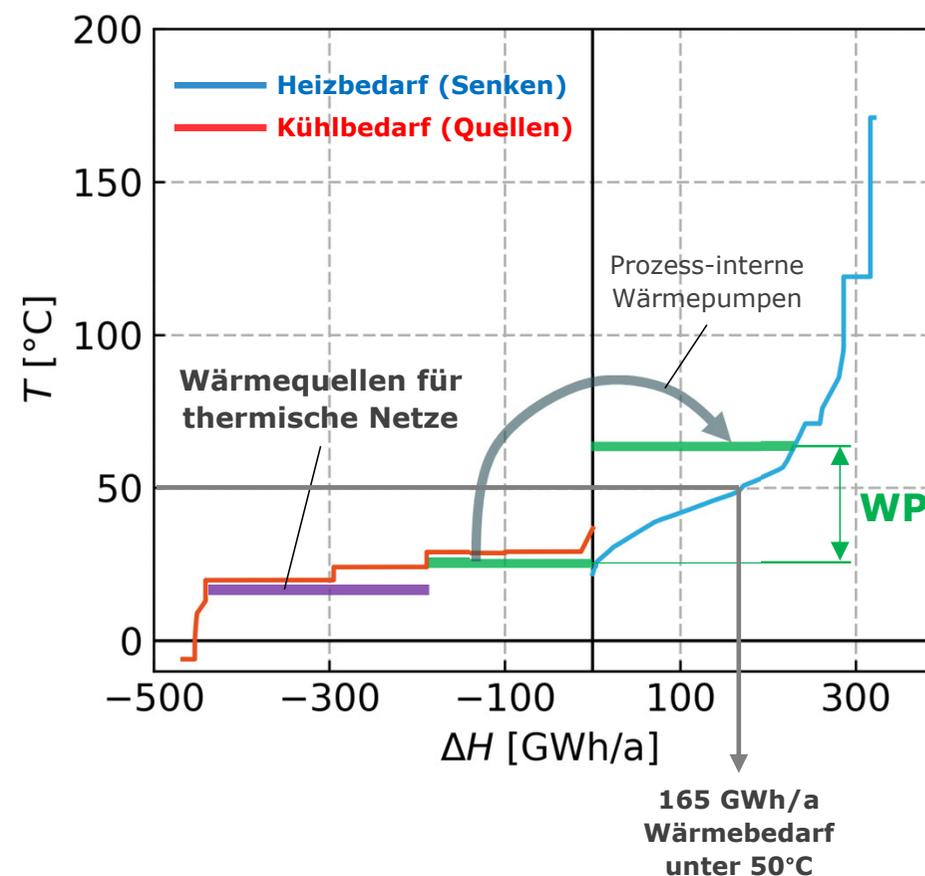
- Seewasser, Flusswasser
- Grundwasser
- Abwasser
- Abwärme: Industrieprozesse, Rechenzentren
- Erdwärme
- und weitere

### Beispiel Abwärme Industrieprozesse:

Abwärmepotenzial gross, aber Temperaturniveau wird oft massiv überschätzt.

### Beispiel Sektor "Fleischverarbeitung":

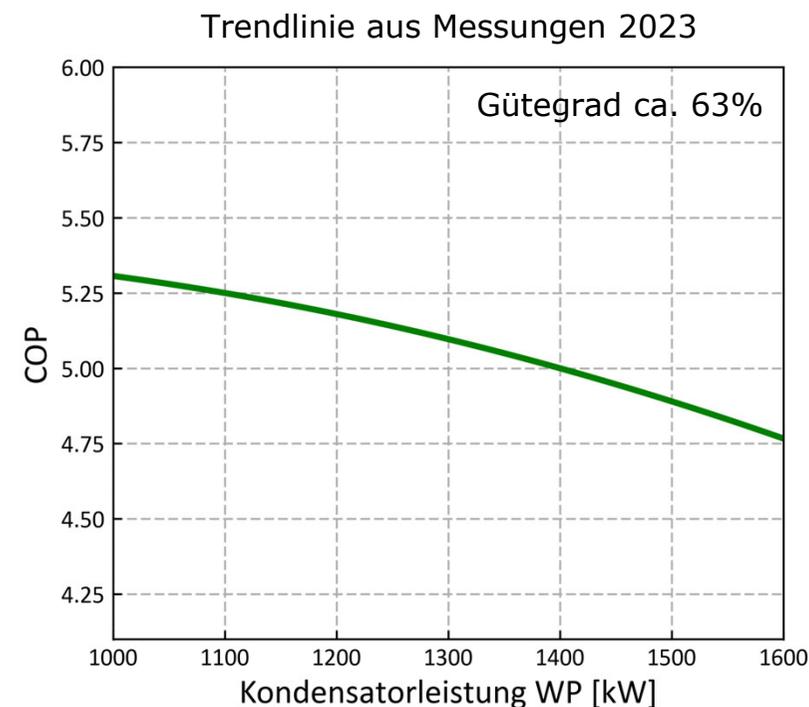
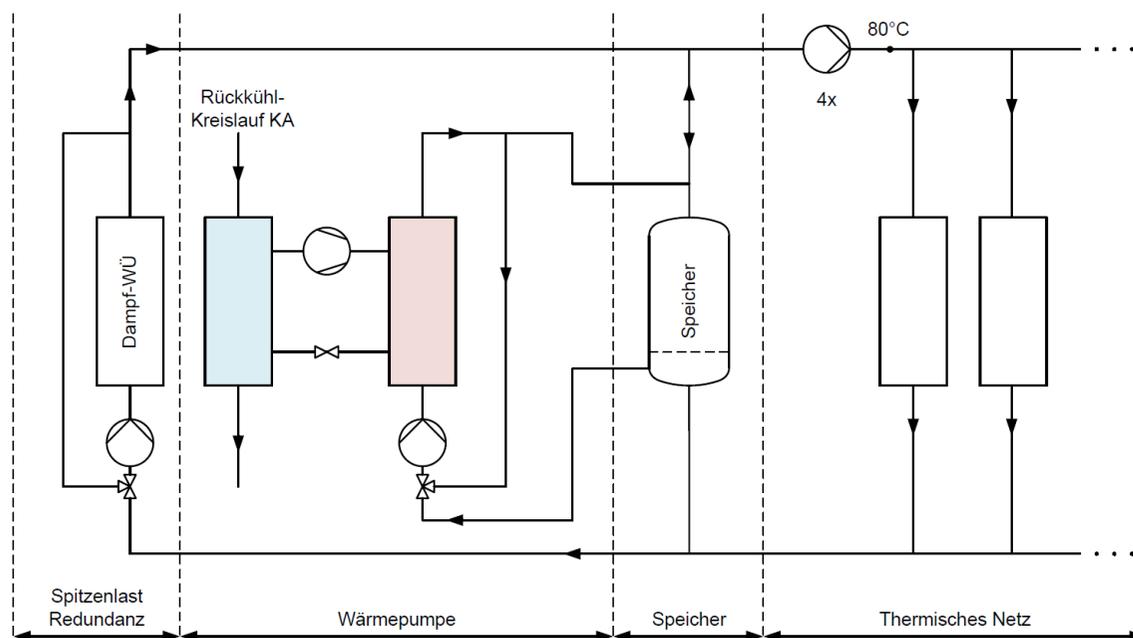
Heiz- und Kühlbedarf nach Ausschöpfung des WRG-Potenzials (Quellen-/Senken-Profil)



# Temperaturhub und thermische Netze

## Wärmequellen

Praxisbeispiel Nutzung von **Abwärme von Industriekälteanlagen**:

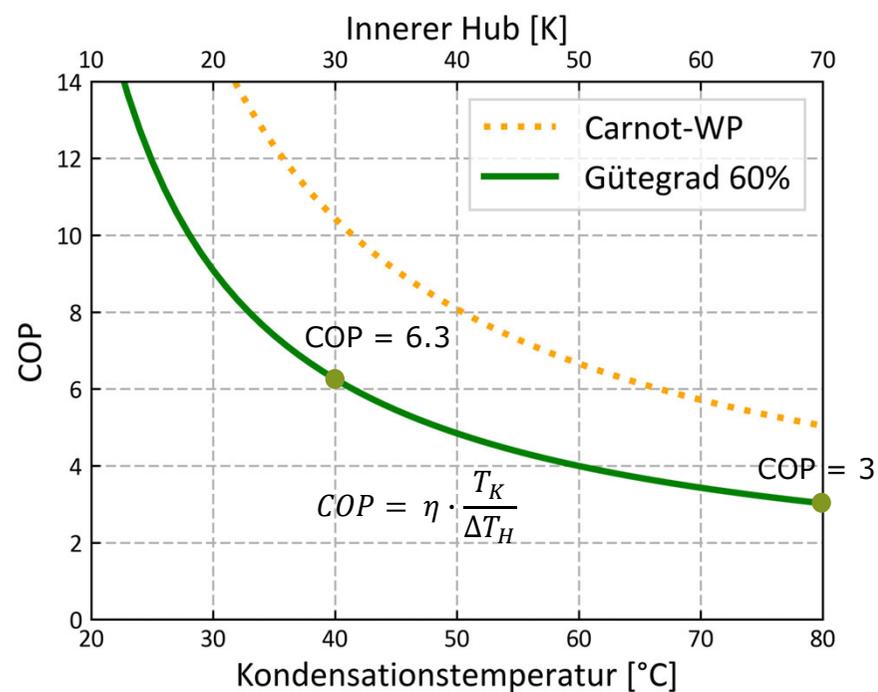
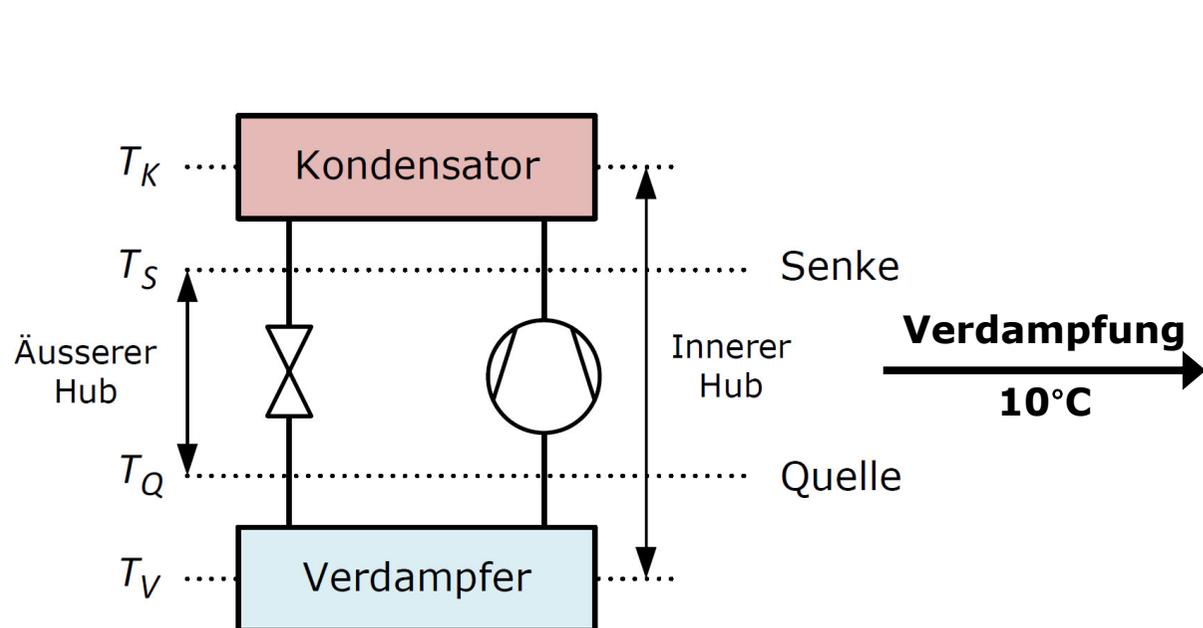


In Industrieunternehmen sind oft **grosse Abwärmemengen auf tiefen Temperaturniveaus** vorhanden (unter 40°C)  
 → interessante Wärmequellen für Gross-Wärmepumpen oder für die direkte Nutzung in Niedertemperatur-Netzen.

# Temperaturhub und thermische Netze

Wärmesenken

Einfluss der **Senken-Temperatur** auf die Effizienz:



Deckung der "wahren" Temperaturanforderungen im Netz:

→ **Reduktion der Netztemperaturen**

## Temperaturniveaus sind zentral

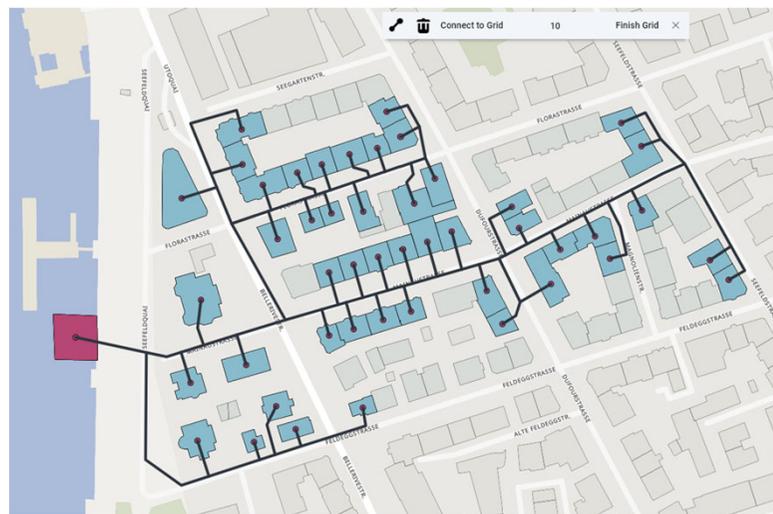
### Wärmesenken

Wärmepumpen bilden die „Verbindung“ zwischen den lokal verfügbaren Wärmequellen und den Wärmebedürfnissen (Wärmesenken) des betrachteten Gebiets.

Gebäudescharfe Analyse



Design des thermischen Netzes



Auslegung, Simulation und Evaluierung

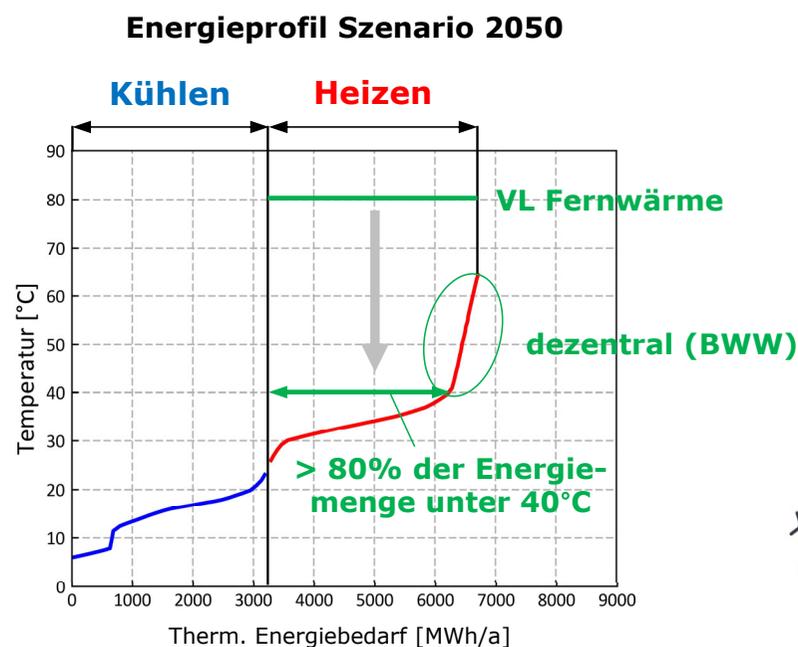
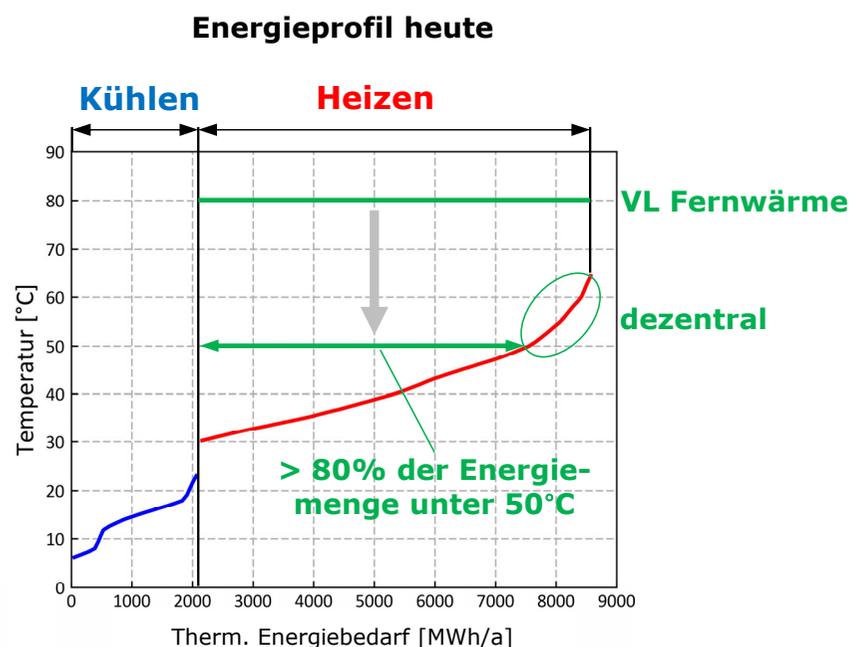


Für thermische Netze mit Wärmepumpen sind neben Leistungen und Energiemengen die **Temperaturniveaus** zentral.



## Temperaturniveaus sind zentral

**Energie-/Temperaturprofile Heizen und Kühlen:** „Auf welchem Temperaturniveau wird wie viel benötigt?“



Bei Quellentemperatur von 10°C wird Strombedarf halbiert.



- Netz auf die «schlechteste» Liegenschaft ausrichten bringt starke Effizienzeinbussen der Wärmepumpe.
- Herausforderung: **Optimalen Mix zwischen zentralem Hub und dezentralen Hüb** finden.
- Bedeutung der Kühlung wird markant zunehmen – sie muss in Zukunft „mitgedacht“ werden.

## Kältemittel

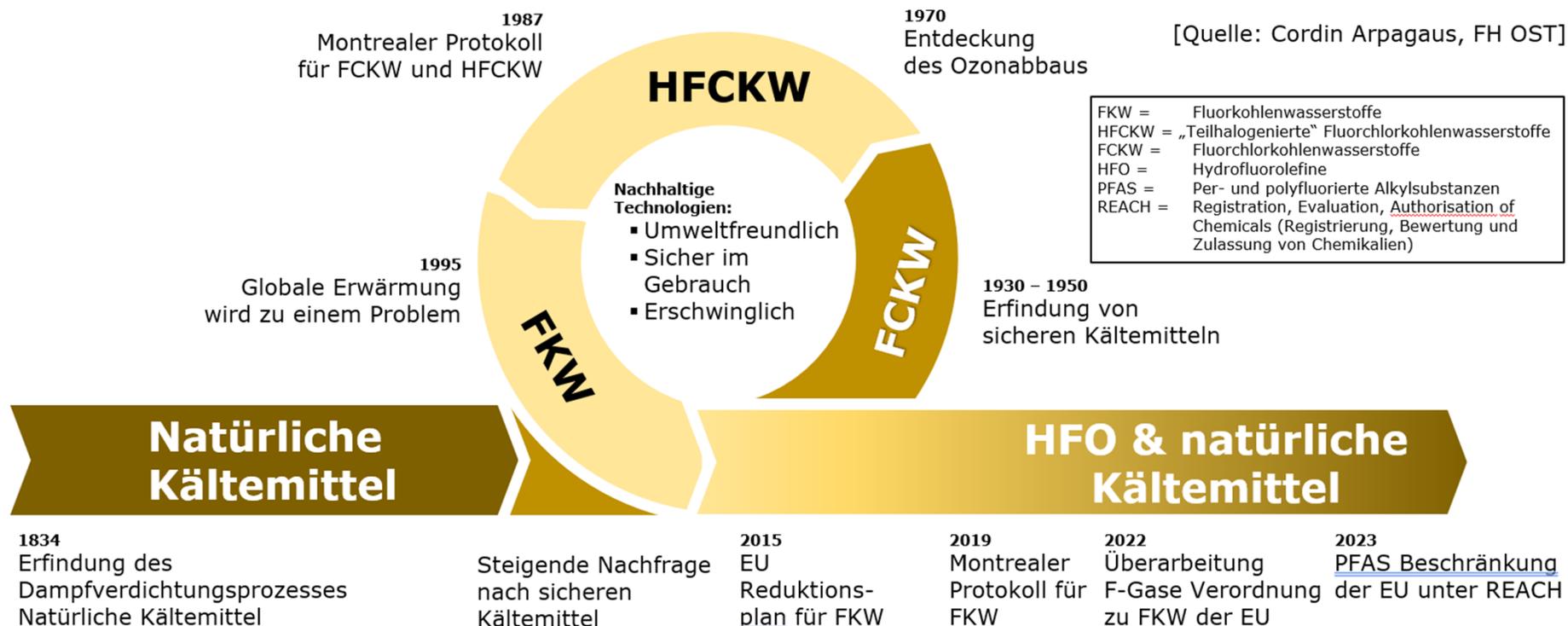
Klassifizierung nach Vollzugshilfe zu Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV).

- **Umweltrelevanz:** Treibhausgaspotenzial (GWP), Ozonabbaupotenzial (ODP) und immer stärker die **PFAS**-Problematik (per- und polyfluorierte Chemikalien → neue Auflagen erwartet)
- **Sicherheitsrelevanz:** Brand-, Explosions- und Gesundheitsgefährdungspotenzial

	Kältemittel						
	Ozonschichtabbauend			In der Luft stabil		Nicht ozonschichtabbauend und in der Luft nicht stabil	
	FCKW	HFCKW	HCFO	FKW / HFKW		Natürlich	HFO
ChemRRV / F-Gase Verordnung	(nahezu) verboten			stark reguliert		zulässig	
SN EN 378 / Suva Merkblatt 66139	R12, R22, ...			wenig Anforderungen		Anforderungen, v.a. für brennbare und giftige Kältemittel	
				R134a, R407C, R410A, ...		R290, R717, R744, ... R1234yf, R1234ze, ...	

# Kältemittel

Der Kreis schliesst sich:



FKW =	Fluorkohlenwasserstoffe
HFCKW =	„Teilhalogenierte“ Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FCKW =	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
HFO =	Hydrofluorolefine
PFAS =	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
REACH =	Registration, Evaluation, <u>Authorisation of</u> Chemicals (Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien)

- **Gross-WP für Fernwärmenetze: Die Zukunft liegt ausschliesslich bei natürlichen Kältemitteln.**
- Für andere Anwendungen wie Hochtemperatur-WP werden in der Übergangsphase andere Kältemittel weiterhin benötigt (z.B. HFO).

## Fazit

- Ein hoher Anteil der thermischen Netze wird zukünftig mit Wärmepumpen elektrifiziert.
- **Auf Temperaturhub kommt es an:**
  - Nutzung von Wärmequellen mit hohen Temperaturniveaus
  - Reduktion der Netztemperaturen
- Der Kühlbedarf wird massiv zunehmen und muss in der zukünftigen Planung von thermischen Netzen adressiert werden.
- Den natürlichen Kältemitteln gehört die Zukunft.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

# SWEET DeCarbCH – Decarbonisation of Cooling and Heating

Energieforschung Bundesamt für Energie BFE

**Facilitate, speed up and de-risk** implementation of renewables for heating and cooling in

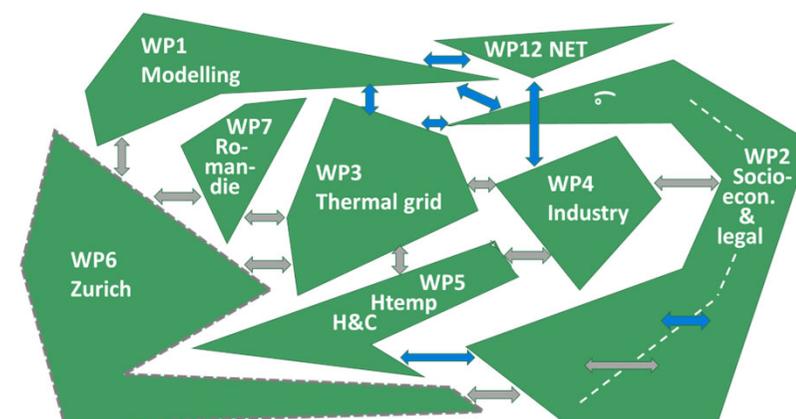
- i) **residential sector** and
- ii) **service and the industry sector**

Interdisziplinär (u.a. rechtlich und sozioökonomisch)

Modellgestützt und anwendungsbezogen (Fallstudien, P&D)

Finanziert im Rahmen des BFE-Programms «SWEET»  
(8 Mio. CHF, 2022-2030; 10 + 6 Gruppen, ~40 Industriepartner)

[www.sweet-decarb.ch](http://www.sweet-decarb.ch) (Newsletter, Lunch Talks, usw.)



## Beat Wellig

- Professor für Thermodynamik, Verfahrens-, Umwelttechnik und Pinch-Analyse an der Hochschule Luzern
- Leiter Forschungsgruppe Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik
- Leiter BFE-Stützpunkt für Pinch-Analysen
- Forschungsschwerpunkte:
  - Wärmepumpen- und Kältesysteme
  - Prozessintegration und Pinch-Analysen
  - Thermische Trennverfahren und Umwelttechnik



Hochschule Luzern - Technik & Architektur  
CC Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik  
Prof. Dr. Beat Wellig  
Technikumstrasse 21  
CH-6048 Horw  
T +41 41 349 32 57  
beat.wellig@hslu.ch