

# „Wege zur verstärkten Sommerauslastung von Fernwärmenetzen“

## Teil: Einbindung von Wärmepumpen in Fernwärmenetze

R. Rieberer, H. Schranzhofer  
IWT – TU Graz

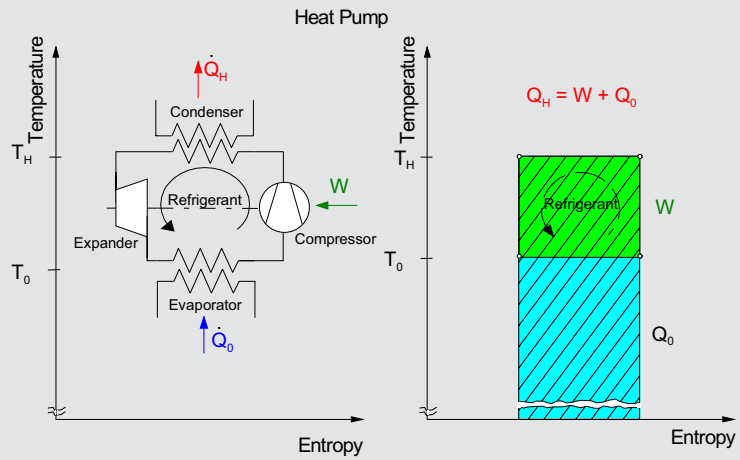
12. Februar 2007

**IWT** TU Graz  
Institut für Wärmetechnik

- Grundlagen
- Kältemittel
- Anwendungen / Einbindungsmöglichkeiten
- Referenzprojekte
- Ökonomische und Ökologische Bewertung
- Zusammenfassung

# Funktionsweise einer Wärmepumpe

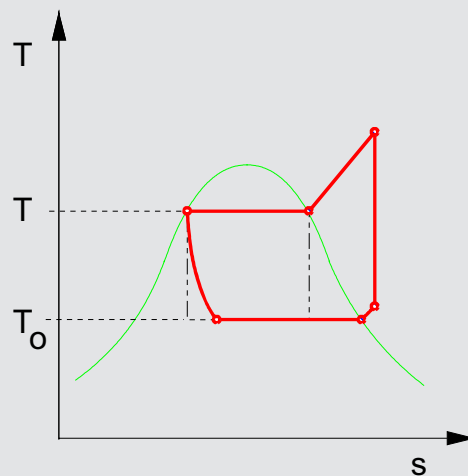
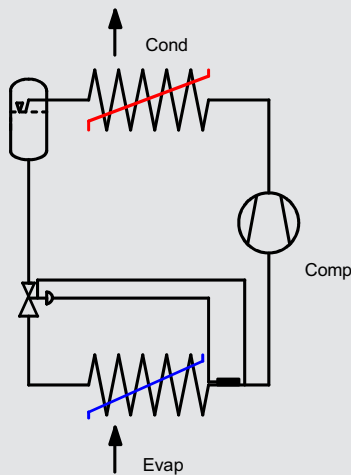
Eine Wärmepumpe ist eine Anlage die unter Einsatz von hochwertiger Energie (Exergie: Strom oder Wärme auf hohem T-Niveau) den natürlichen Wärmefluss von hoher zu niedriger Temperatur umkehrt.



Idealer Prozess für eine Kompressions-Wärmepumpe (Carnot):

$$COP_C = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_0} = \frac{T_H}{T_H - T_0}$$

# „Reale“ Prozesse



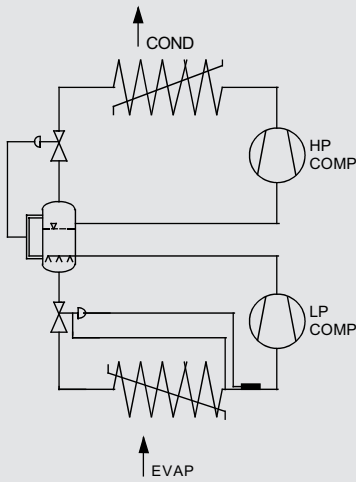
Realer Prozess:

$$COP = v \cdot COP_C$$

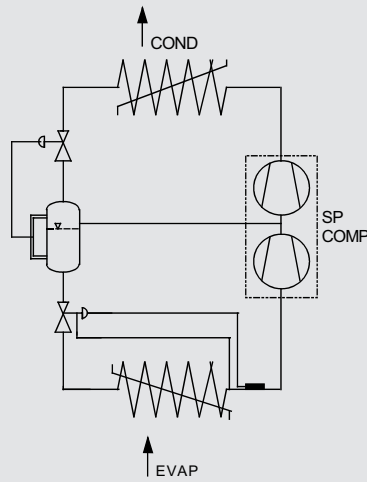
Gütegrad  $v = 0.3 \dots 0.7 = f(\text{Kältemittel, Prozess, Komponenten, ...})$

# „Reale“ Prozesse

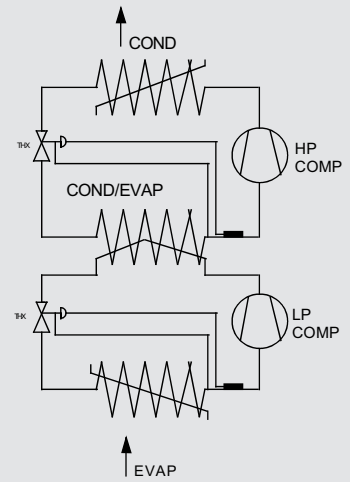
zweistufige Verdichtung



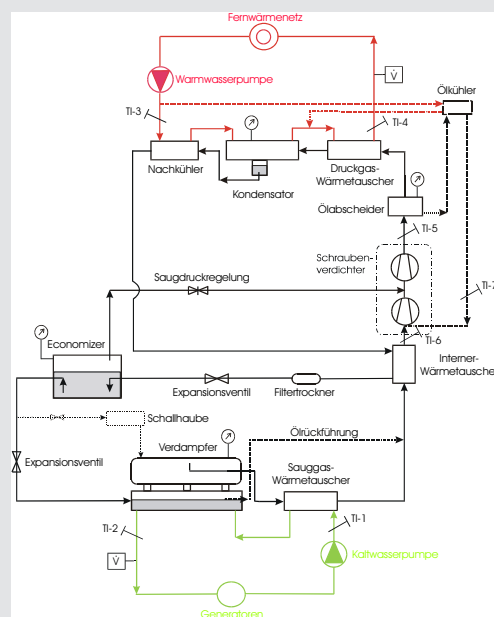
Economizer



Kaskade



# Reale Prozesse



## Kältemittel für Wärmepumpen

### → Synthetische KM (HFKW)

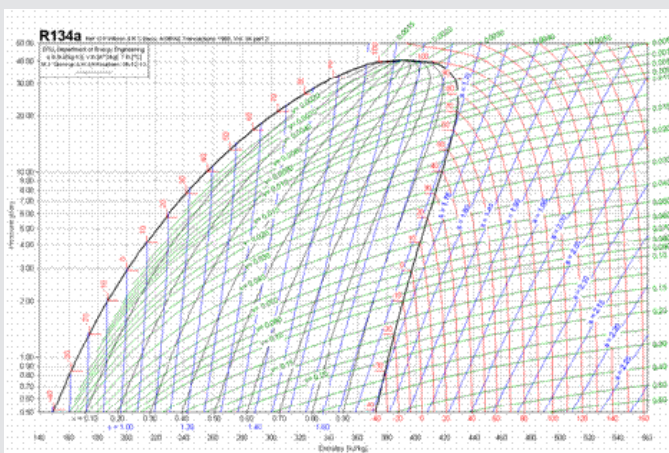
- R134a, R407C, R410A, R507A, R365mfc/R227ea, R236fa, HFE-245mc ...

### → „Natürliche KM“

- R718 (H<sub>2</sub>O), R717 (NH<sub>3</sub>), R290 (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), R744 (CO<sub>2</sub>), ...

Auswahl: thermodynamische Eigenschaften (WP-Effizienz, Drücke, ...),  
Komponentenverfügbarkeit, gesetzliche Rahmenbedingungen ...

## R134a



→ Vorteil: gängiges Kältemittel; Technologie vorhanden (zB. Firma Friotherm und York); Temperatur- und Druckbereich geeignet

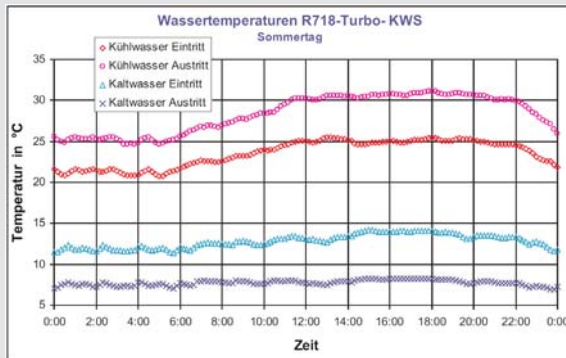
→ Nachteil: derzeit wird ein Verbot dieses HFKW-Kältemittels diskutiert

## R718 (H<sub>2</sub>O)

Kältemittelvergleich Wasser - Ammoniak

Temperatur	0 °C		10 °C		20 °C	
	Wasser (MCR 718)	Ammoniak (R717)	Wasser (R718)	Ammoniak (R717)	Wasser (R718)	Ammoniak (R717)
Dampfdruck [bar]	0,006	4,3	0,012	6,2	0,023	8,6
Dampfdichte [g/m <sup>3</sup> ]	4,8	3463	9,4	4876	17,3	6710
volumenbezogene Kälteleistung [kJ/m <sup>3</sup> ]	12	4364	23	5966	42	7946
Volumenstrom für 700 kW Kälte [m <sup>3</sup> /h]	208.000	664	108.000	466	59.000	352
Druckverhältnis für 25 K Temperaturhub	5,2	2,3	4,6	2,2	4,1	2,1

- **Vorteil:** verfügbar, einfache Handhabung, billig, ungiftig
- **Nachteil:** Technologie in Entwicklung, geringe volumetrische Kälteleistung, hohe Druckverhältnisse für erforderliche Temperaturhübe, große Fördervolumenströme, Vakuum



[Quelle: ILK Dresden]

## Hochtemperaturwärmepumpe mit HFKW R365mfc/R227ea – in Entwicklung



Die technischen Daten der Anlage lauten wie folgt:

- Heizleistung: 16,86 kW
- Kälteleistung: 11,57 kW
- Vorlauftemp.: 90 °C
- Antriebsleistung: 6,11 kW
- COPH: 2,76
- Quellentemp.: 35 °C
- Kältemittel: R365mfc/R227ea

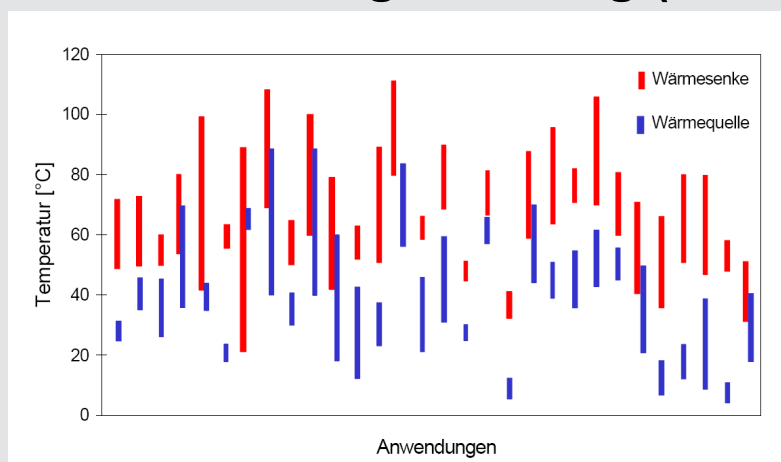
[Quelle: Uni Hamburg / Solvay Fluor GmbH Hannover / FKW GmbH Hannover]

### Vielfältige Anwendungsbereiche von industriellen und gewerblichen Wärmepumpen

- chem. Industrie
- Molkereien
- Fischfarmen
- Treibhäuser
- Schlachthäuser
- Salzproduktion
- Müllereien
- Schlamm Trocknung
- Brennereien
- Lagerhäuser
- Brauereien
- Papierherstellung
- Holz Trocknung
- Textilindustrie
- ...

[Quelle: R. Heidelck, H. Kruse, H.-J. Laue, 2000]

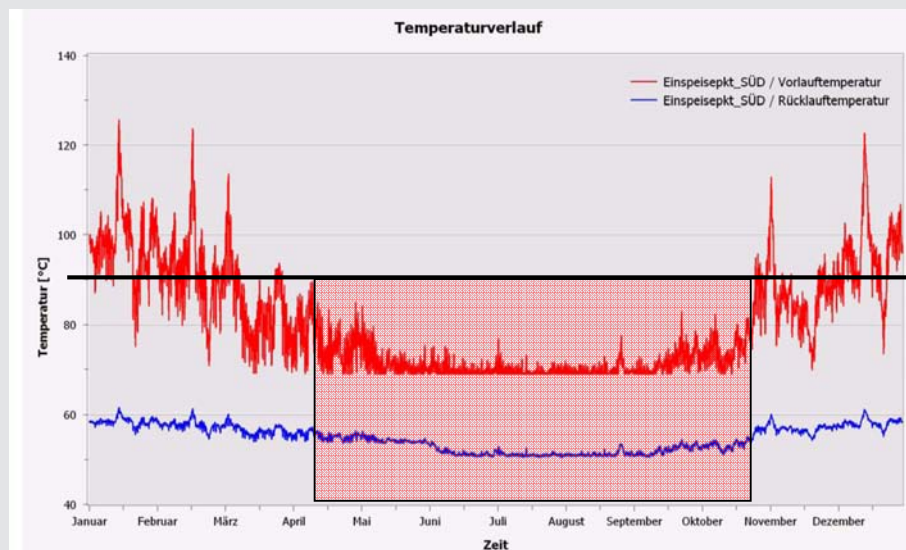
### Industriewärmepumpen zur Wärmerückgewinnung (1985)



[Quelle: Schnitzer, H., Industrielle Wärmepumpen in der chemischen Verfahrenstechnik, 7. Frigen-Forum Hoechst, Großwärmepumpen zur Wärmerückgewinnung in Industriebetrieben, April 1985; aus R. Heidelck, H. Kruse, H.-J. Laue, 2000]

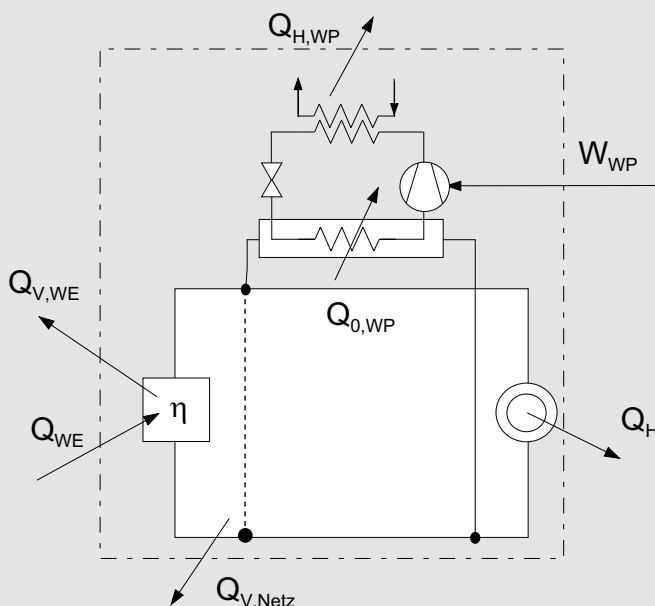


## Jahresverlauf der Vor- und Rücklauftemperaturen im FW-Netz Graz



[Quelle: Bucar et al., Dezentrale erneuerbare Energie für bestehende Fernwärmenetze, 2006]

## Wärmeentzug aus FW-Netz



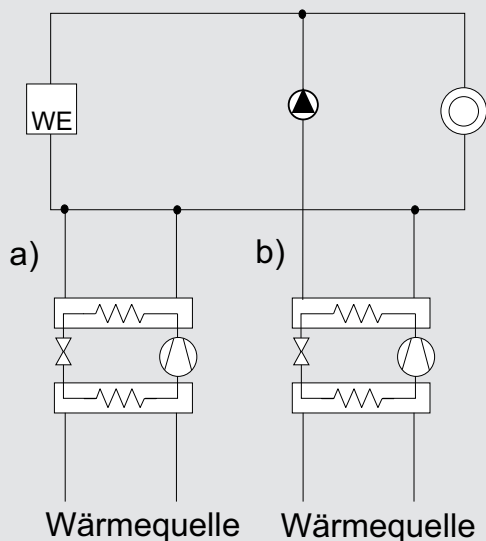
### Problematik:

Die Anwendung von Wärmepumpen „lebt“ i.d.R. davon, dass freie (kostenlose) Wärme (Luft, Erde, Wasser) genutzt und auf ein höheres (brauchbares) Temperaturniveau gehoben wird.

Im Fall einer Vorlauftemperaturerhöhung oder eines Wärmeentzugs aus dem Rücklauf ist dies jedoch nicht der Fall. Die Wärmequelle ( $Q_{0,WP}$ ) ist nicht „frei“ und diese muss mit hochwertiger Energie (Strom,  $W_{WP}$ ) auf das benötigte Temperaturniveau gehoben werden.

(Anm.: Ist das Netz verlustlos und hat der Wärmeerzeuger einen Wirkungsgrad von 100%, dann gilt:  $Q_{H,WP} = Q_{0,WP} + W_{WP}$  bzw. ist im WE der Mehraufwand  $\Delta Q_{WE} = \text{ca. } Q_{0,WP}$  notwendig)

## Einspeisung ‚regenerativer‘ Energie ins FW-Netz



a) Einspeisung in den Rücklauf:

Vorteil: ideal für Wärmepumpe (geringe Kondensationstemperatur)

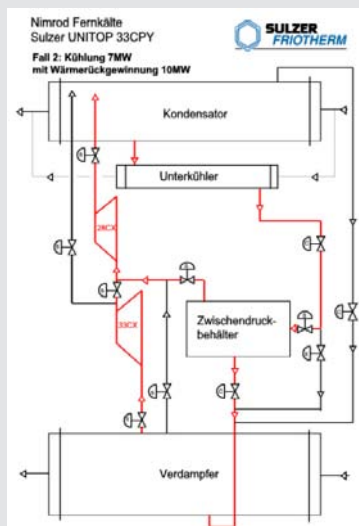
Nachteil: Drossel in der Hauptleitung; Erhöhung der Rücklauftemperatur → Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers sinkt

b) Einspeisung in den Vorlauf:

Vorteil: keine Erhöhung der Rücklauftemperatur

Nachteil: Wärmepumpenbetreiber muss Druckunterschied aufbringen; Kondensationstemperatur hoch → geringe Leistungszahl

## Kombinierte Fernkälte- und FW Versorgung mit Großwärmepumpen in Stockholm



**SULZER UNITOP® 33CY**

als komplette Einheit im Werk zusammengebaut und geliefert  
Anzahl Einheiten 3

Zwei einstufige Turboverdichter UNITURBO® 33CX und 28CX

wahlweise parallel oder in Serie geschaltet

**Kältemittel R134a**

Gesamte Leistungsdaten:

Betriebsweise	Sommer	Winter
Kälteleistung	36.000 kW	17.700 kW
Kaltwasser ein / aus	11 / 5°C	11 / 5°C
Kühl- / Heizleistung	43.300 kW	26.700 kW
Kühl- / Heizwasser ein / aus	22 / 37°C	<b>68 / 78°C</b>
Leistungsziffer bezogen auf	Kälte 4,9	Wärme 3,0

[Quelle: Friothers AG, Schweiz]



## Abwasser als Wärmequelle in Oslo (Viken Fjernvarme AS)



### 1 heat pump Unitop® 50FY

Heating capacity	18,400 kW
Heating water flow	527 m <sup>3</sup> /h
Inlet/outlet temperature	<b>60/90 °C</b>
Sewage inlet/outlet temp.	9.6/5.5 °C
Power absorbed	6,566 kW
Electrical motor	7,000 kW

[Quelle: Friothers AG, Schweiz]

## Värtan Rospten, Stockholm Größte Wärmepumpe mit Meerwasser als Wärmequelle (6 Unitop® 50FY / 180 MW)



### Technical Data

Heating capacity per unit	30 MW
Power absorbed per unit	8 MW
Evaporating temperature	-3 °C
Condensing temperature	+82 °C
Sea water temper. in/out	+2.5/+0.5 °C
Heating water temp. return	+57 °C
Heating water temp. supply	+80 °C
Capacity control	10-100 %

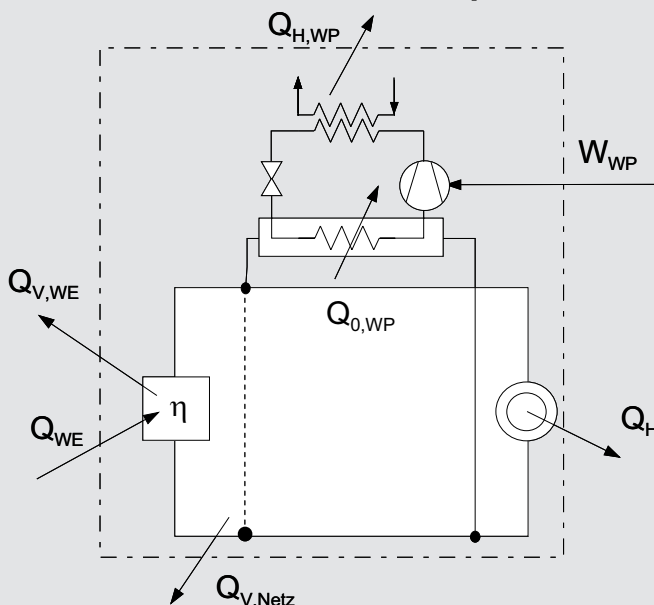
[Quelle: Friothers AG, Schweiz]

## Fernwärme Aschach – Hartkirchen (Oberösterreich)



Wärmequelle: Transformatorabwärme  
 Leistung: 1 MW  
 Verdampfungstemp.: 20 °C  
 Kondensationstemp.: 75 °C  
 Economizer-Schaltung mit Schraubenverdichter  
 (Firma: ABB Stal-Astra Refrigeration)  
 Kältemittel: R134a

## Anhebung des T-Niveaus (Wärmeentzug)



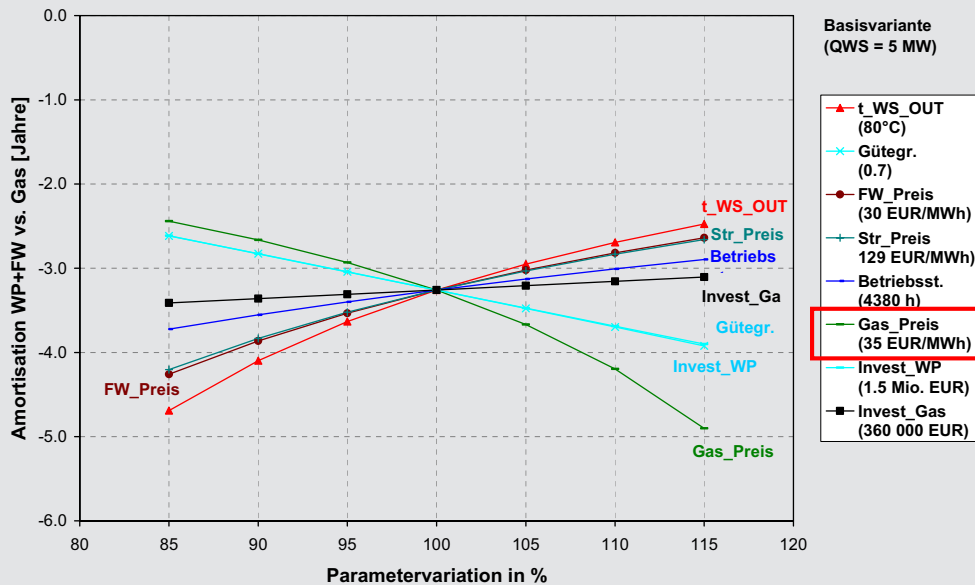
→ Basisvariante

- $t_{WQ\_IN}$ : 55 °C
- $t_{WQ\_OUT}$ : 45 °C
- $M_{WQ}$ : 100 kg/s (Leistung: 5 MW)
- $t_{WS\_IN}$ : 65 °C
- $t_{WS\_OUT}$ : 80 °C
- Gütegrad: 0.7
- Stromkosten: 129 EUR/MWh
- FW Kosten: 30 EUR/MWh
- FW Anschlusskosten: 14.12 EUR/kW
- Betriebsstunden: 4380 h
- Invest. Kosten WP: 1.5 Mio. EUR
- Invest. Kosten Gas: 360 000 EUR
- CO<sub>2</sub> Äquiv. Strom: 350 kg/MWh
- CO<sub>2</sub> Äquiv. FW: 405 kg/MWh

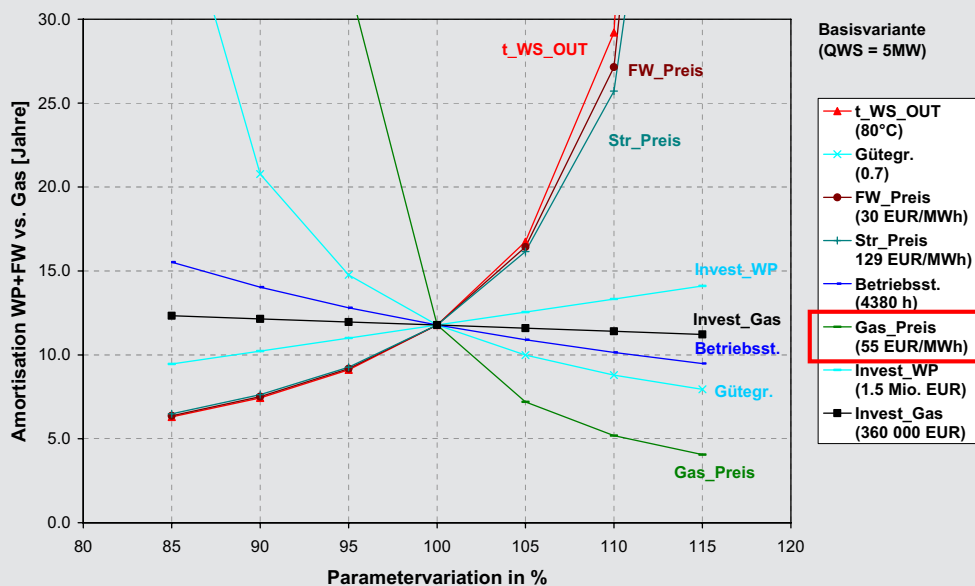
→ Weitere Annahmen

- Keine Wartungskosten
- Kein Pumpaufwand

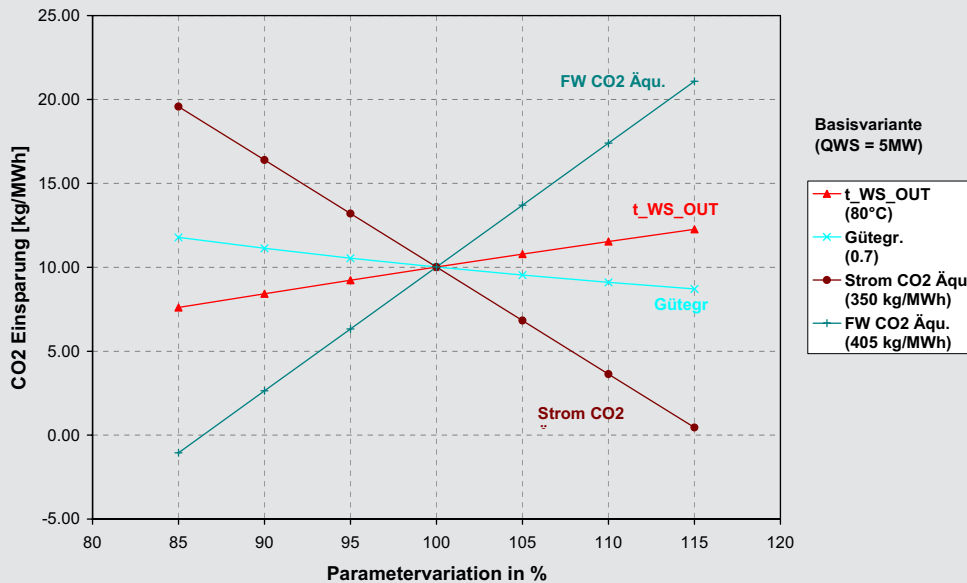
## Anhebung des T-Niveaus (Wärmeentzug mittels WP vs. Gaskessel)



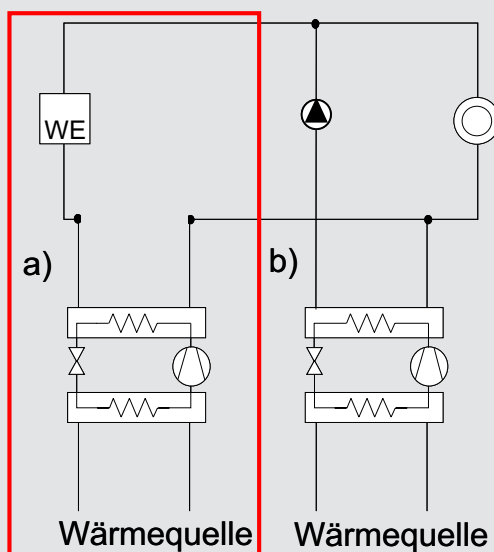
## Anhebung des T-Niveaus (Wärmeentzug mittels WP vs. Gaskessel)



## CO<sub>2</sub> Einsparung bei FW als Wärmequelle (CO<sub>2</sub> Mix FW + WP vs. FW)

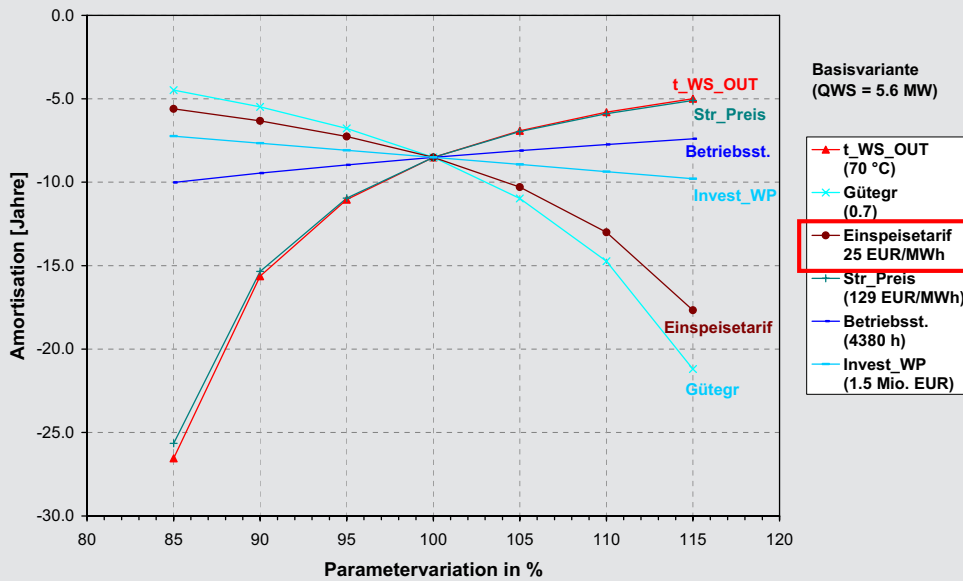


## Einspeisung von Abwärme ins FW-Netz

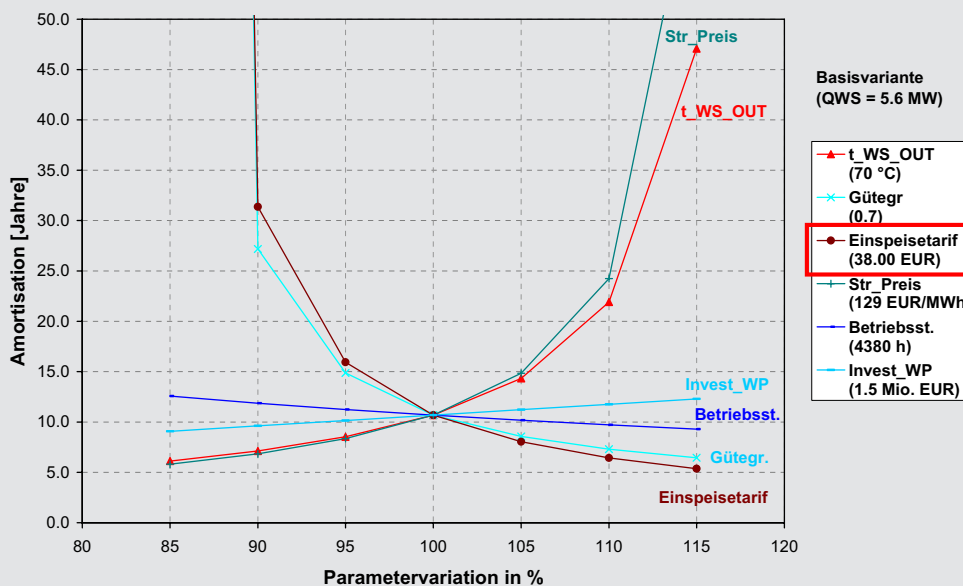


- ➔ **Basisvariante**
  - t<sub>WQ\_IN</sub>: 40 °C
  - t<sub>WQ\_OUT</sub>: 20 °C
  - M<sub>WQ</sub>: 50 kg/s (Leistung: 5.6 MW)
  - t<sub>WS\_IN</sub>: 55 °C
  - t<sub>WS\_OUT</sub>: 70 °C
  - Gütegrad: 0.7
  - Stromkosten: 129 EUR/MWh
  - Betriebsstunden: 4380 h
  - Invest. Kosten WP: 1.5 Mio. EUR
  - CO<sub>2</sub> Äquiv. Strom: 350 kg/MWh
  - CO<sub>2</sub> Äquiv. FW: 405 kg/MWh
  - Vorlauf FW: 90 °C
- ➔ **Annahmen**
  - Keine Wartungskosten
  - Kein Pumpaufwand
  - Keine Kosten für Wärmequelle (Abwärme)

# Einspeisung von Abwärme ins FW-Netz

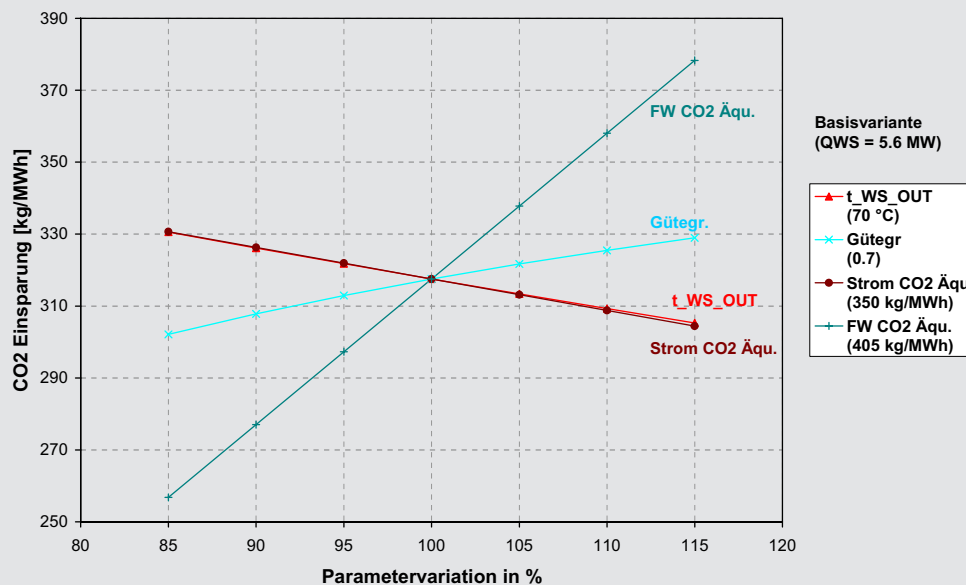


# Einspeisung von Abwärme ins FW-Netz





## CO<sub>2</sub> Einsparung bei FW als Wärmesenke (CO<sub>2</sub> Mix FW + WP vs. FW)



Bislang konnte keine sinnvolle Anwendung von WP zum Wärmeentzug aus Fernwärmenetzen gefunden werden.

Im Gegensatz dazu gibt es einige Anwendungen zur Einspeisung von Wärme (regenerativer Energie) mit Aussicht auf ökologische und ökonomische Vorteile.

Bzgl. möglicher Kältemittel für diese „Hochtemperaturanwendungen“, d.h. für Wasseraustrittstemperatur von ca. 80 bis 90°C, kann festgehalten werden, dass

- einige Anlagen mit dem HFKW-Kältemittel R134a für Kondensations-temperaturen bis ca. 85°C realisiert, aber bislang noch keine Detailinformationen von Firmen verfügbar sind.
- Entwicklungen mit neuen Kältemitteln, zB. HFKW-Gemisch R365mfc/R227ea für t-Niveau 35 / 90°C (Fa. Solvay bzw. FKW Hannover), im Gange sind.



Die natürlichen Kältemittel sind zwar prinzipiell denkbar, aber

- CO<sub>2</sub> ist ein Hochdruckkältemittel, für das bislang die notwendigen Komponenten nicht verfügbar sind (speziell die benötigte Expansionsmaschine)
- H<sub>2</sub>O ist aus Sicht der Umwelt ideal, aber bislang sind keine Anlagen im Hochtemperaturbereich realisiert (Problem: Druckverhältnis >>)
- NH<sub>3</sub> und die Kohlenwasserstoffe sind brennbar und somit sind besondere sicherheitstechnische Anforderungen zu erfüllen. Für den Hochtemperaturbereich konnten bislang noch keine Informationen über realisierte Anlagen gefunden werden.

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit**