

# Innovative Wärmepumpen und Kältenutzung

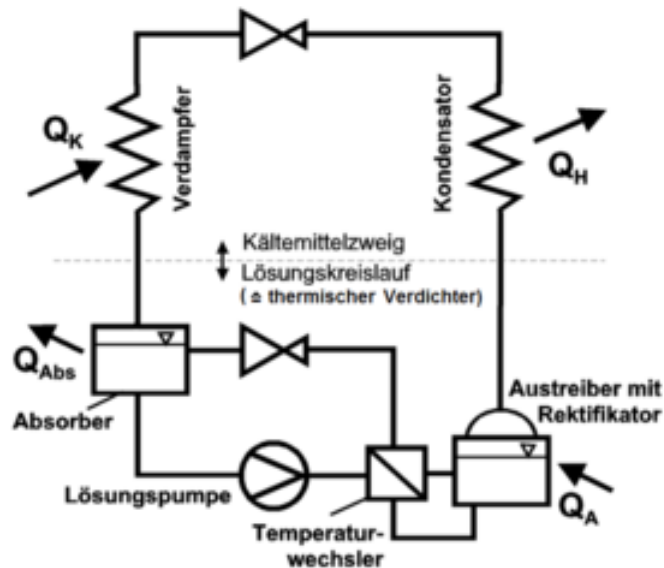


1. Norddeutscher Geothermietag, Hannover, 30.10.2008

Kai Schiefelbein

- » Wärmepumpenkreisläufe: Absorptionswärmepumpe und Kompressionswärmepumpe
- » Ökologische Bewertung der Wärmepumpe
- » Leistungsregelung – Vor- und Nachteile
- » Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen
- » Zusammenfassung

## Absorptionswärmepumpe

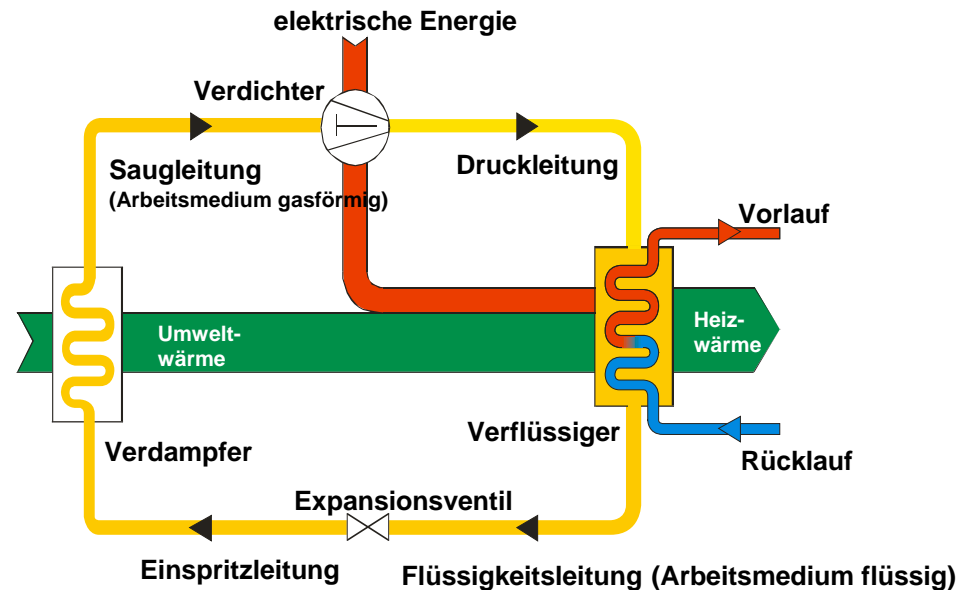


$$\zeta = \frac{\dot{Q}_H + \dot{Q}_{Abs}}{\dot{Q}_A}$$

Für unendlichen Lösungsmittelumlauf und verlustfreie Pumpen gilt vereinfacht:

$$T_{Abs} = T_H, \quad \zeta = 1 + \frac{\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_H}}{\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_0}}$$

## Kompressionswärmepumpe



$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}}$$

Carnotleistungszahl:

$$\varepsilon_C = \frac{T_H}{T_H - T_U}$$

# LEISTUNGSZAHLEN VON WÄRMEPUMPENKREISLÄUFEN

- » Leistungszahl bei B0/W35, d. h.  $-5^{\circ}\text{C}$  Verdampfungstemperatur und  $35^{\circ}\text{C}$  Verflüssigungstemperatur, Austreibertemperatur  $150^{\circ}\text{C}$

Absorptionswärmepumpe,  
Ammoniak / Wasser

$$\zeta = 1,6 \quad \eta_c = \frac{T_A - T_c}{T_c} = 0,37$$

Primärenergiefaktor Gas: 1,1

Primärenergieaufwand für 1  
kWh Heizwärme:  $1,1/1,6 = 0,69$   
kWh

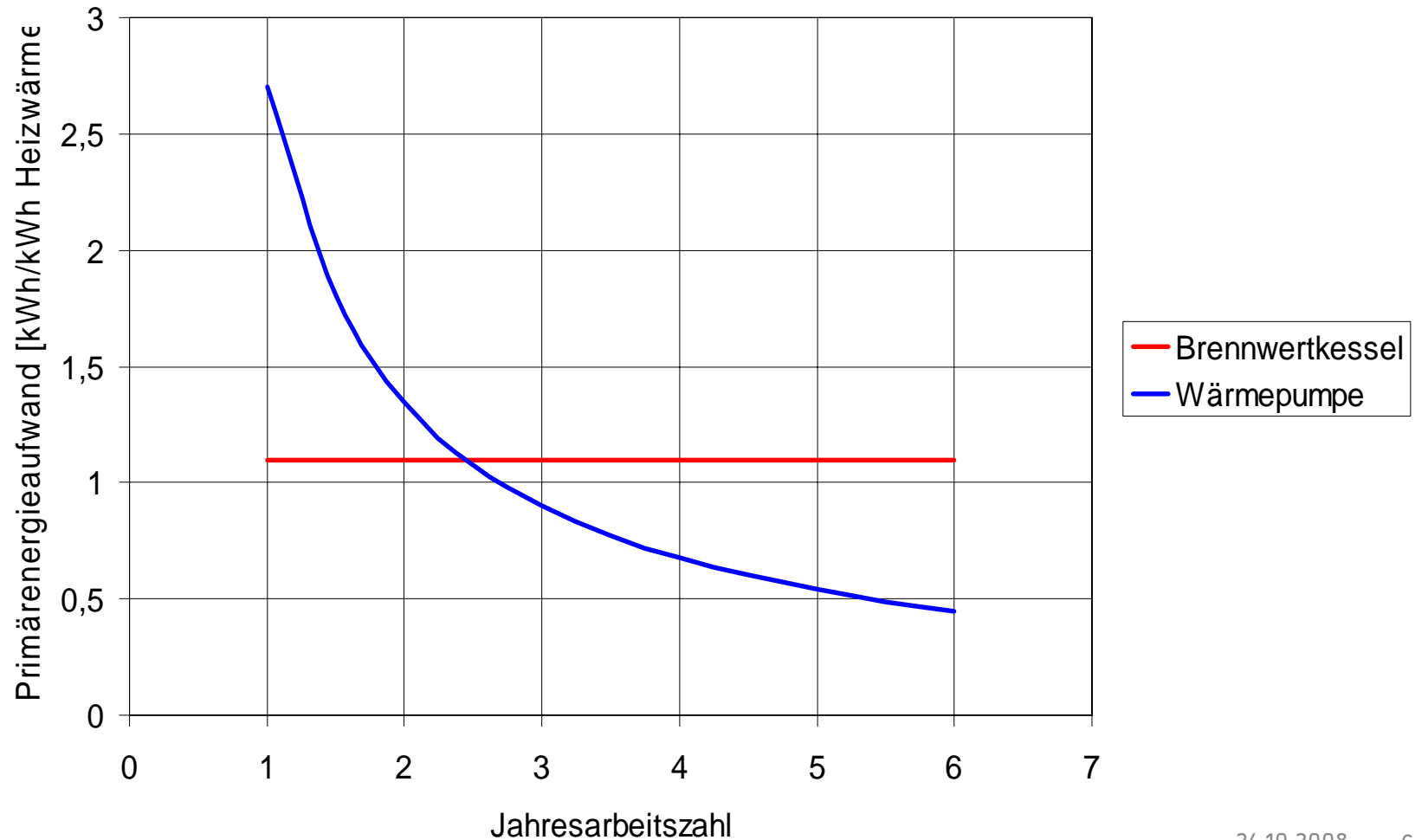
Kompressionswärmepumpe,  
R407C

$$\varepsilon = 4,5 \quad \epsilon_c = \frac{T_c}{T_c - T_D} = 7,7$$

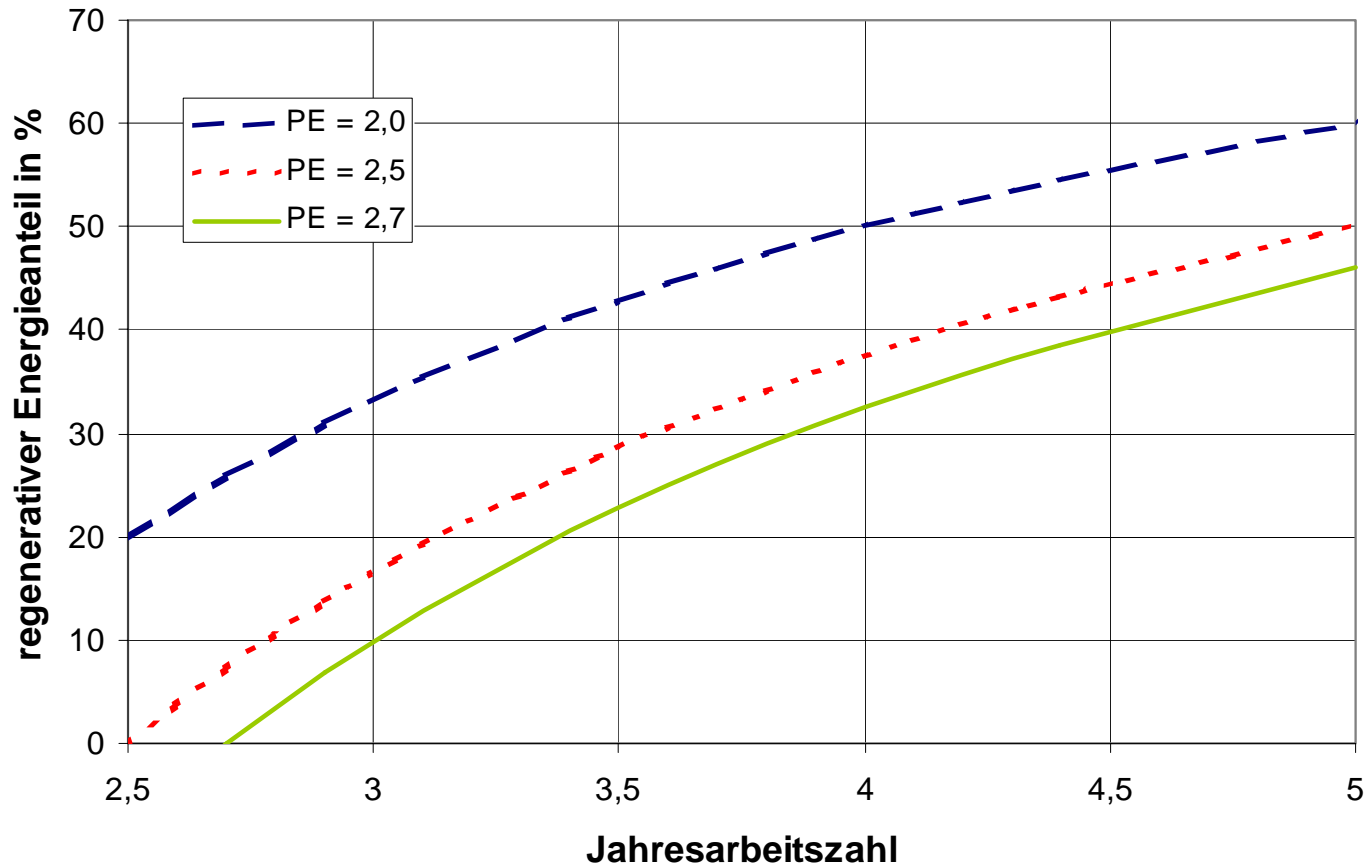
Primärenergiefaktor Strom: 2,7

Primärenergieaufwand für 1 kWh  
Heizwärme:  $2,7/4,5 = 0,60$  kWh

# PRIMÄRENERGIEAUFWAND IM VERGLEICH



# REGENERATIVER ENERGIEANTEIL VON WÄRMEPUMPEN IN ABHÄNGIGKEIT DER JAHRESARBEITSAZHAL



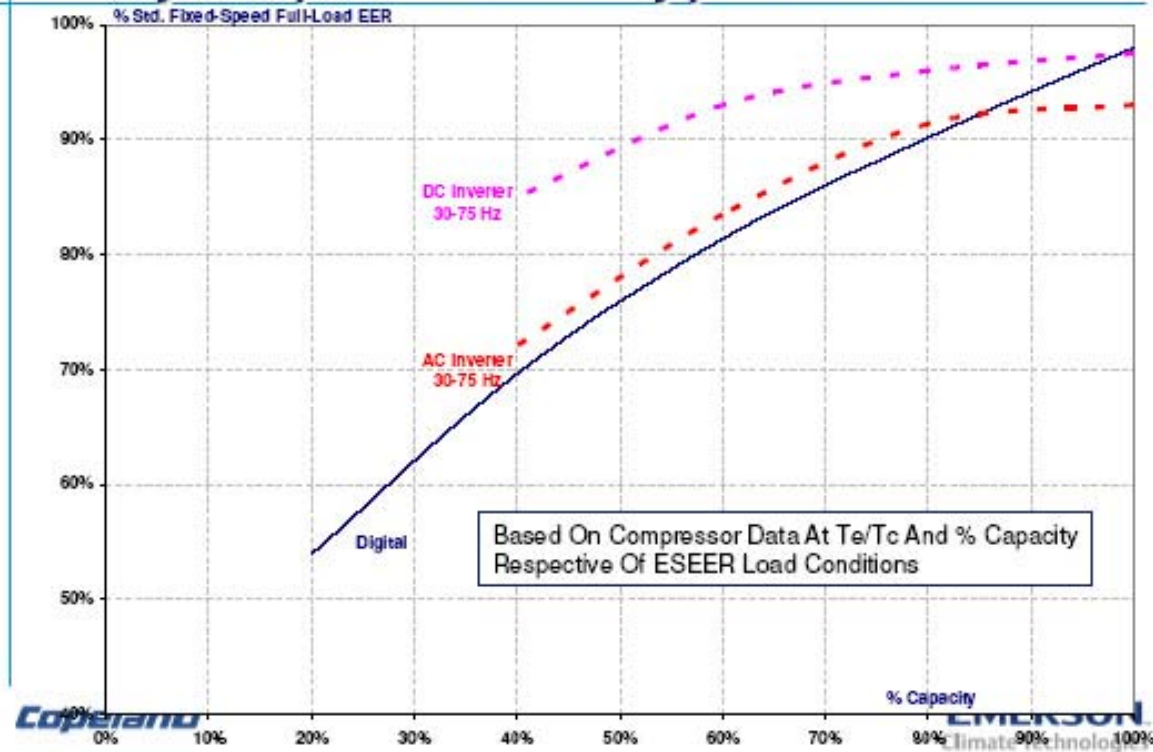
Bezogen auf Erdgas (PE=1,1) ist ein Vorteil ab einer Jahresarbeitszahl von 2,46 gegeben.

# WÄRMEPUMPEN MIT LEISTUNGSREGELUNG

- » Sole/Wasser-WP: Kontinuierliche Anpassung der Heizleistung an die Heizlast des Gebäudes, um das Takten der WP zu vermeiden.
- » Reduzierung der Takthäufigkeit, dadurch Betrieb von wasserarmen Radiatorensystemen ohne Pufferspeicher möglich, sofern keine Sperrzeiten des Energieversorgers überbrückt werden müssen
- » Reduzierung der Heizleistung gegen Ende einer Warmwasserladung ermöglicht kleinere Wärmeaustauscher für die Trink-Warmwasserbereitung oder bei unveränderten Wärmeaustauschern höhere Warmwassertemperaturen

# WÄRMEPUMPEN MIT LEISTUNGSREGELUNG

## Digital versus 'inverter' solutions Strictly from part load efficiency point of view





# PASSIVE UND AKTIVE KÜHLUNG MIT WÄRMEPUMPEN

- **Passive Kühlung: Verdichter nicht in Betrieb**
  - **Voraussetzung: Wärmequelle mit niedrigerer Temperatur als die des zu kühlenden Gebäudes**
  - **Kühlung ohne Kältekreislauf, Wärmeübertrager des Kältekreislaufs werden nur durchströmt, übertragen keine Wärme**
  - **nur Soleumwälzpumpe, Heizungsumwälzpumpe und Regler sind in Betrieb**
  - **Wärmequellen: z.B.: Grundwasser, Erdwärmesondenanlagen**

# PASSIVE UND AKTIVE KÜHLUNG MIT WÄRMEPUMPEN

- **Aktive Kühlung: Verdichter in Betrieb, um Temperaturhub zu erzeugen**
  - **Arbeitsweise wie bei Klimaanlage**
  - **Höhere Kühlleistung**
  - **Wärme wird mit höherem Temperaturniveau auf die Erdwärmequelle übertragen, gleichzeitig wird Kälte mit niedrigem Temperaturniveau zur Verfügung gestellt**
  - **Wärmequellen: Außenluft, Erdwärmesonden- und Erdwärmekollektorenanlagen**

# WÄRMEPUMPEN ZUM HEIZEN UND KÜHLEN

Mittlerer Jahrestemperaturverlauf im Erdreich bei unterschiedlichen Tiefen

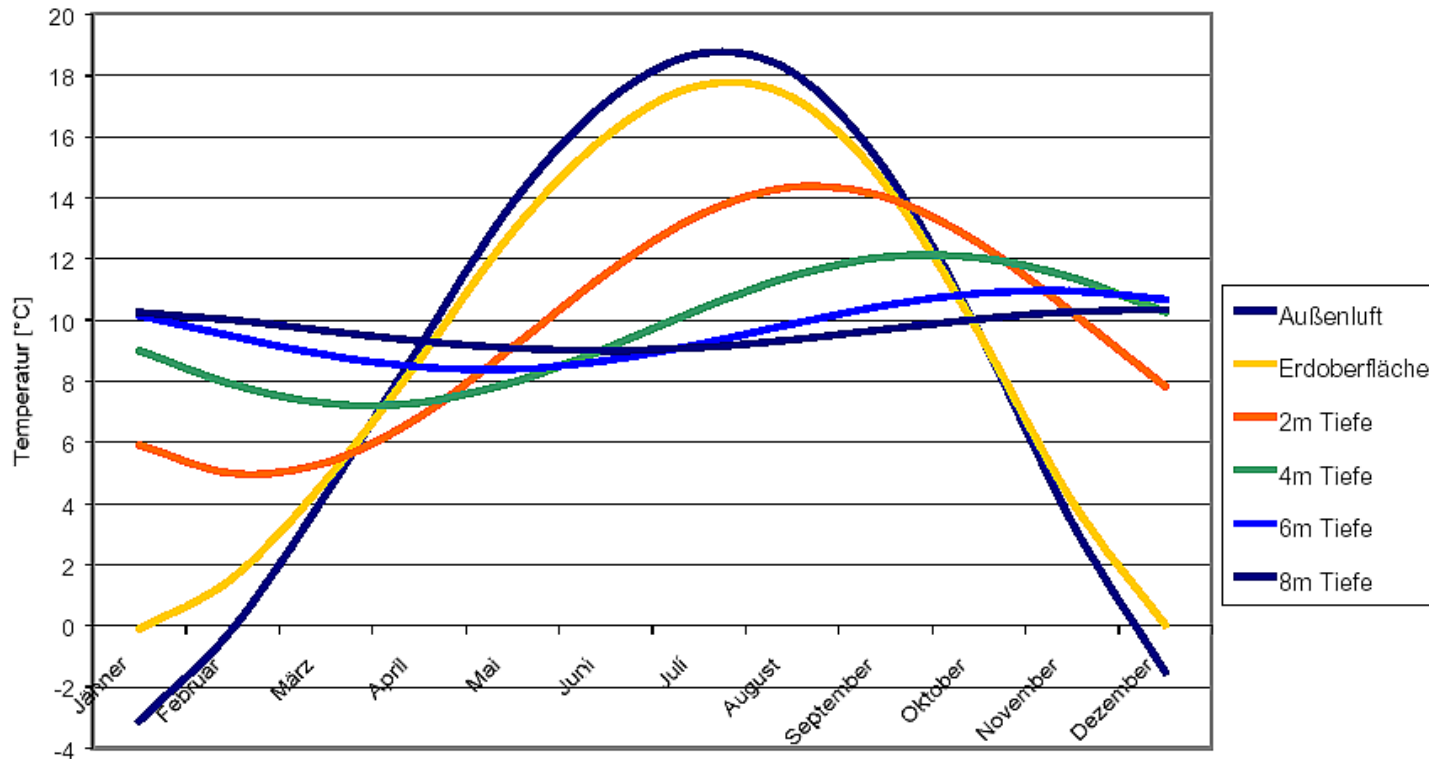
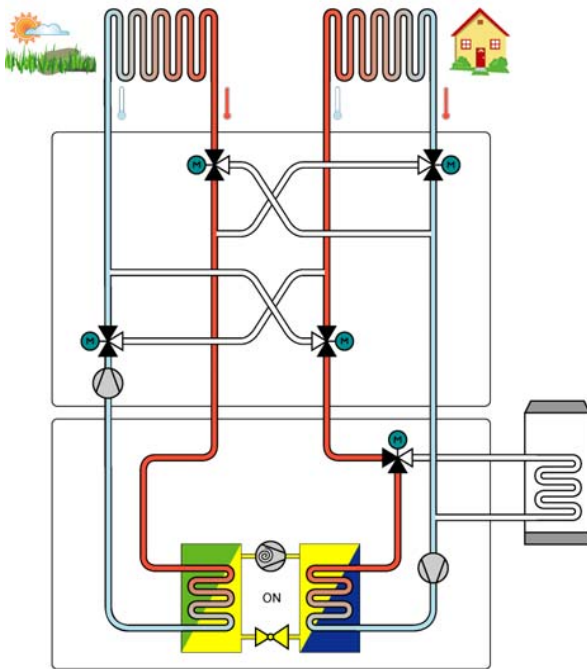


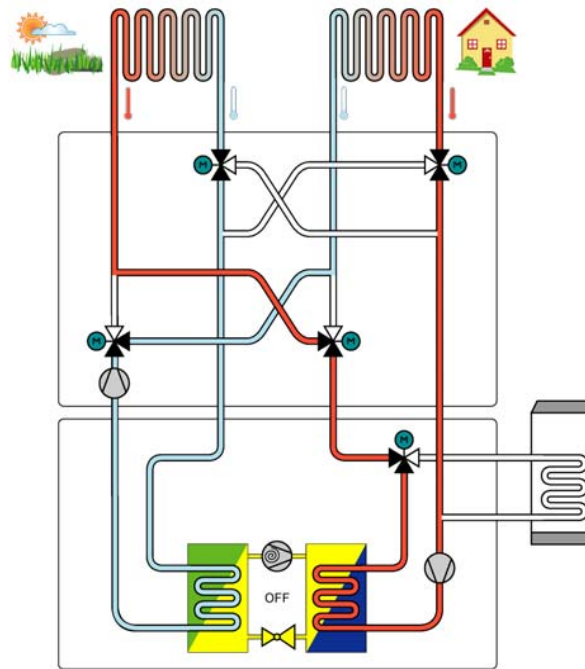
Abb.1; Jahrestemperaturverlauf der Außenluft, Erdoberfläche und dem Erdreich in verschiedenen Tiefen für den Bodentypen „Kies – trocken“, Standort Graz.

# BETRIEBSARTEN EINER SOLE/WASSER- WÄRMEPUMPE

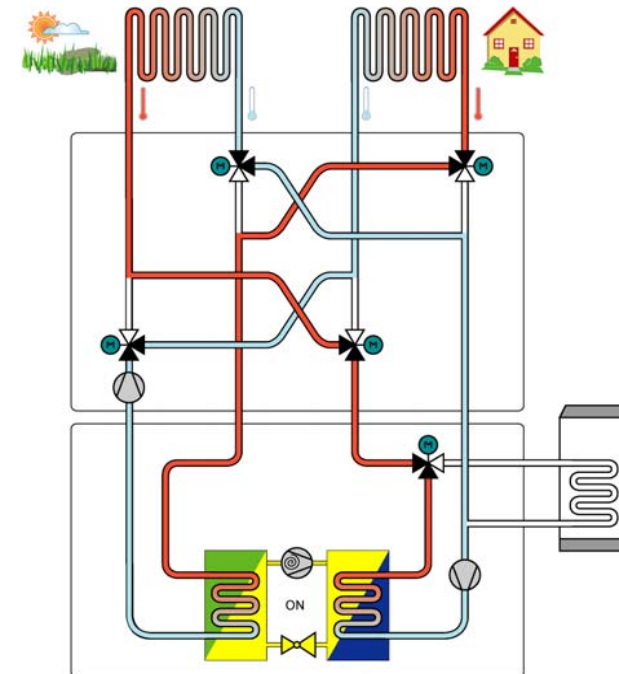
„heating“



„passive cooling“



„active cooling“



# WÄRMEQUELLEN FÜR DIE KÜHLUNG

| Passive Kühlung       | Aktive Kühlung         |
|-----------------------|------------------------|
| Erdsonden 8 – 12 °C   | Erdsonden 8 – 12 °C    |
| Grundwasser 8 – 12 °C | Erdkollektor 0 – 15 °C |
|                       | Außenluft -20 – 35 °C  |

# VOLLBENUTZUNGSSTUNDEN KÜHLUNG

| Gebäudeart    | Vollbenutzungsstunden [h/a]<br>für Kältebereitstellung |
|---------------|--|
| Bürogebäude   | 300 – 400  |
| Krankenhäuser | 800  |
| Kaufhäuser    | 600 – 800  |
| Messe         | 500 – 600  |
| Theater/Kino  | 200 – 300  |
| Hotels        | 400 – 500  |
| Wohnungen     | 100 – 200  |

# ANNAHMEN FÜR DIE KOSTENBETRACHTUNG

- » Die Investitionen für die Geräte sind Herstellerangaben mit marktüblichen Installationskosten.
- » Bei den Mehr-Investitionen für die Kühlung mit Wärmepumpen ist unterstellt, dass zur Beheizung bereits eine Heizungs-Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden installiert ist.
- » Der Strompreis für die aktive Kühlung mit Wärmepumpe beträgt 11 Ct/kWh.
- » Der Strompreis für die passive Kühlung mit Wärmepumpe sowie für die Kühlung mit Raumklimageräten und VRF-Systemen beträgt 15 Ct/kWh.
- » Die Annuität mit einem Annuitätenfaktor von 12,95 % basiert auf einer Abschreibungsdauer von 10 Jahren mit einem Zinssatz von 5 %.

# KOSTENBETRACHTUNG WÄRMEPUMPE, RAUMKLIMAGERÄTE UND VRF-REGELBARE KLIMASYSTEME

- ◆ **Wohnhaus mit 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche, Kühllast 6 kW, 4 Räume,  
150 Vollbenutzungsstunden zum Kühlen**

|   | Wärmepumpe         |                   | Raumklima-<br>geräte | VRF-regelbare<br>Klimasysteme |
|---|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|
|   | Passive<br>Kühlung | Aktive<br>Kühlung |                      |                               |
| <b>Arbeitszahlen im<br/>Kühlbetrieb</b> | 15,0               | 5,0               | 3,0                  | 3,8                           |
| <b>(Mehr-) Investition<br/>Kühlen</b>   | 2.000 €            | 7.000 €           | 9.000 €              | Nicht üblich                  |
| <b>Energiekosten</b>                    | 9,0 €/a            | 19,8 €/a          | 45,0 €/a             |                               |
| <b>Jahreskühlkosten</b>                 | 268,0 €/a          | 926,3 €/a         | 1210,5 €/a           |                               |



# KOSTENBETRACHTUNG WÄRMEPUMPE, RAUMKLIMAGERÄTE UND VRF-REGELBARE KLIMASYSTEME

- ◆ Bürogebäude mit 300 m<sup>2</sup> Fläche, Kühllast 25 kW, 15 Räume, 400 Vollbenutzungsstunden zum Kühlen

|   | Wärmepumpe         |                   | Raumklima-<br>geräte | VRF-regelbare<br>Klimasysteme |
|---|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|
|   | Passive<br>Kühlung | Aktive<br>Kühlung |                      |                               |
| <b>Arbeitszahlen im<br/>Kühlbetrieb</b> | 15,0               | 5,0               | 3,0                  | 3,8                           |
| <b>(Mehr-) Investition<br/>Kühlen</b>   | 4.000 €            | 25.000 €          | 30.000 €             | 45.000 €                      |
| <b>Energiekosten</b>                    | 100,0 €/a          | 220,0 €/a         | 500,0 €/a            | 395,0 €/a                     |
| <b>Jahreskühlkosten</b>                 | 618,0 €/a          | 3457,5 €/a        | 4385,0 €/a           | 6222,5 €/a                    |

# KOSTENBETRACHTUNG WÄRMEPUMPE, RAUMKLIMAGERÄTE UND VRF-REGELBARE KLIMASYSTEME

- ◆ Einkaufsmarkt mit 500 m<sup>2</sup> Fläche, Kühllast 45 kW,  
700 Vollbenutzungsstunden zum Kühlen

|   | Wärmepumpe         |                   | Raumklima-<br>geräte | VRF-regelbare<br>Klimasysteme |
|---|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|
|   | Passive<br>Kühlung | Aktive<br>Kühlung |                      |                               |
| <b>Arbeitszahlen im<br/>Kühlbetrieb</b> | 15,0               | 5,0               | 3,0                  | 3,8                           |
| <b>(Mehr-) Investition<br/>Kühlen</b>   | 5.000 €            | 27.000 €          | Nicht üblich         | 40.000 €                      |
| <b>Energiekosten</b>                    | 315,0 €/a          | 693,0 €/a         |                      | 1243,0 €/a                    |
| <b>Jahreskühlkosten</b>                 | 962,5 €/a          | 4189,5 €/a        |                      | 6423,0 €/a                    |

# ZUSAMMENFASSUNG

- » Wärmepumpen tragen durch die Einsparung von Primärenergie und die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen erheblich zur Umweltentlastung bei.
- » Die Energiekosten bei Wärmepumpensystemen sind aufgrund hoher Arbeitszahlen und günstiger Stromtarife niedrig.
- » Aufgrund geringer Mehr-Investitionen ist die passive Kühlung (=Temperierung) für Wohn- und Bürogebäude sehr interessant.
  - » Kleine Einschränkung: Es kann nicht auf jede Wunschtemperatur gekühlt werden
- » Der höhere Komfort mit Luftentfeuchtung ist aufgrund der notwendigen Kondensatabführung mit höheren Investitionen verbunden. Dennoch stellt dieses System eine kostenoptimale Lösung dar, weil die Investitionen für die Wärmepumpe und die Wärmequelle nicht berücksichtigt sind. Diese wurden bereits zum Heizen installiert.

# ZUSAMMENFASSUNG

- » Die Wärmepumpe ist als Heizsystem vergleichsweise kostengünstig bzw. wirtschaftlich.
- » Der Zusatznutzen Kühlen/Temperieren bedeutet nur geringe Mehrkosten.
- » Die Gleichzeitige Nutzung zum Kühlen/Heizen steigert die Effizienz der Wärmepumpe mit Erdwärmesonden, da die Erdwärmesonde im Sommer besser regeneriert.