

Beat Wellig, FEZ Event-6, 5.4.2005

Verdoppelung der Arbeitszahl von Wärmepumpen und Kälteanlagen mit kleinem Temperaturhub

Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesamtes für Energie
Energieforschungsprogramms Umgebungswärme, WKK, Kälte

Ernst Basler + Partner AG in Zusammenarbeit mit

- Hochschule für Technik und Informatik Burgdorf
- Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
- Amt für Umwelt und Energie Basel Stadt

Gliederung

1. Ausgangslage und Projektziele
2. Potenzial für COP-Erhöhung bei Klimakälteanlagen
3. Messungen an einer Standard-Klimakälteanlage
4. Planungsrichtlinien für Klimakälteanlagen
5. Wärmepumpe mit kleinem Temperaturhub (Beispiel)

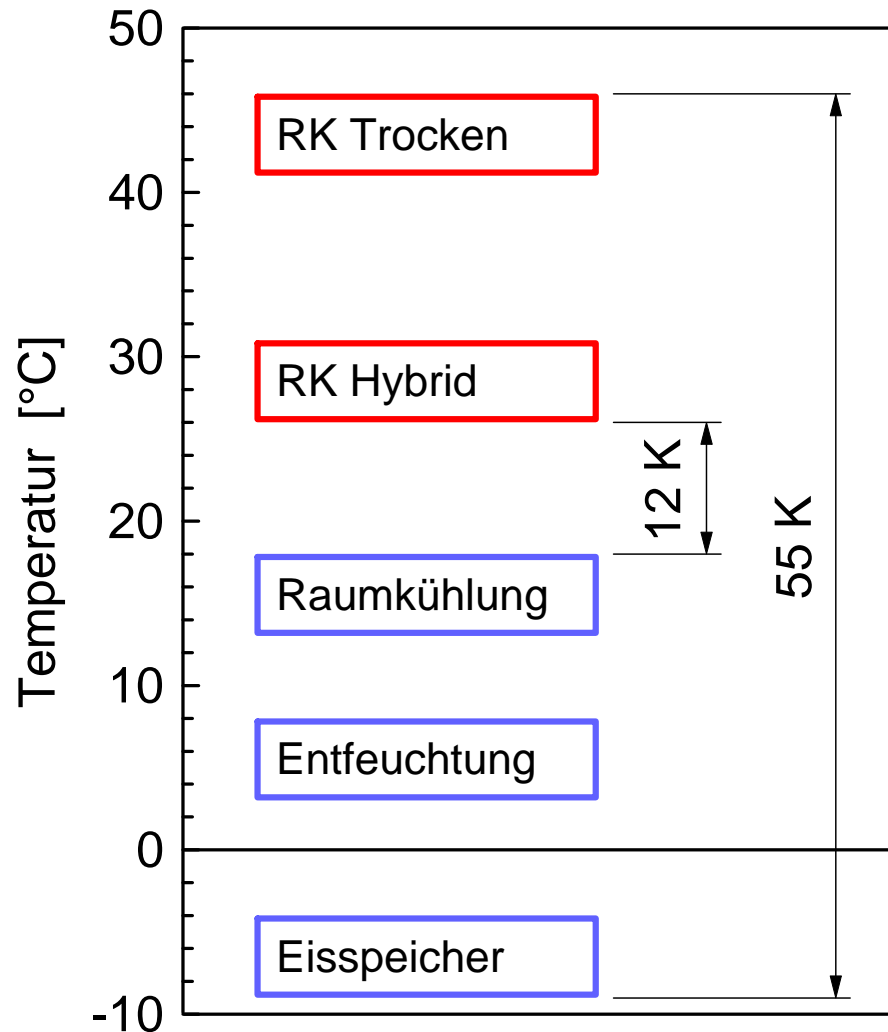
Ausgangslage

- Standard-Wärmepumpen und -Kälteanlagen sind für Temperaturhübe von 30 - 60°C ausgelegt, oft genügt aber ein Hub von 10 - 20°C.
- Anlagen arbeiten thermodynamisch und ökonomisch nicht optimal.
- Potenzial für Anlagen mit hohen Arbeitszahlen nur ungenügend genutzt.

Projektziele

- Aufzeigen von Anwendungen für Anlagen mit kleinem Temperaturhub.
- Aufzeigen von Optimierungspotenzial an bestehenden Anlagen.
- Bereitstellen von Planungsunterlagen für Gebäudetechnik-Planer, Architekten und Unternehmer.

Temperatur-Niveaus Klimakälte: Beispiele



Coefficient of Performance
(COP, Leistungszahl):

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

Beispiel: Erzeugung von Kaltwasser für Raumkühlung

Verdampfung $T_0 = 12 - 14^\circ\text{C}$

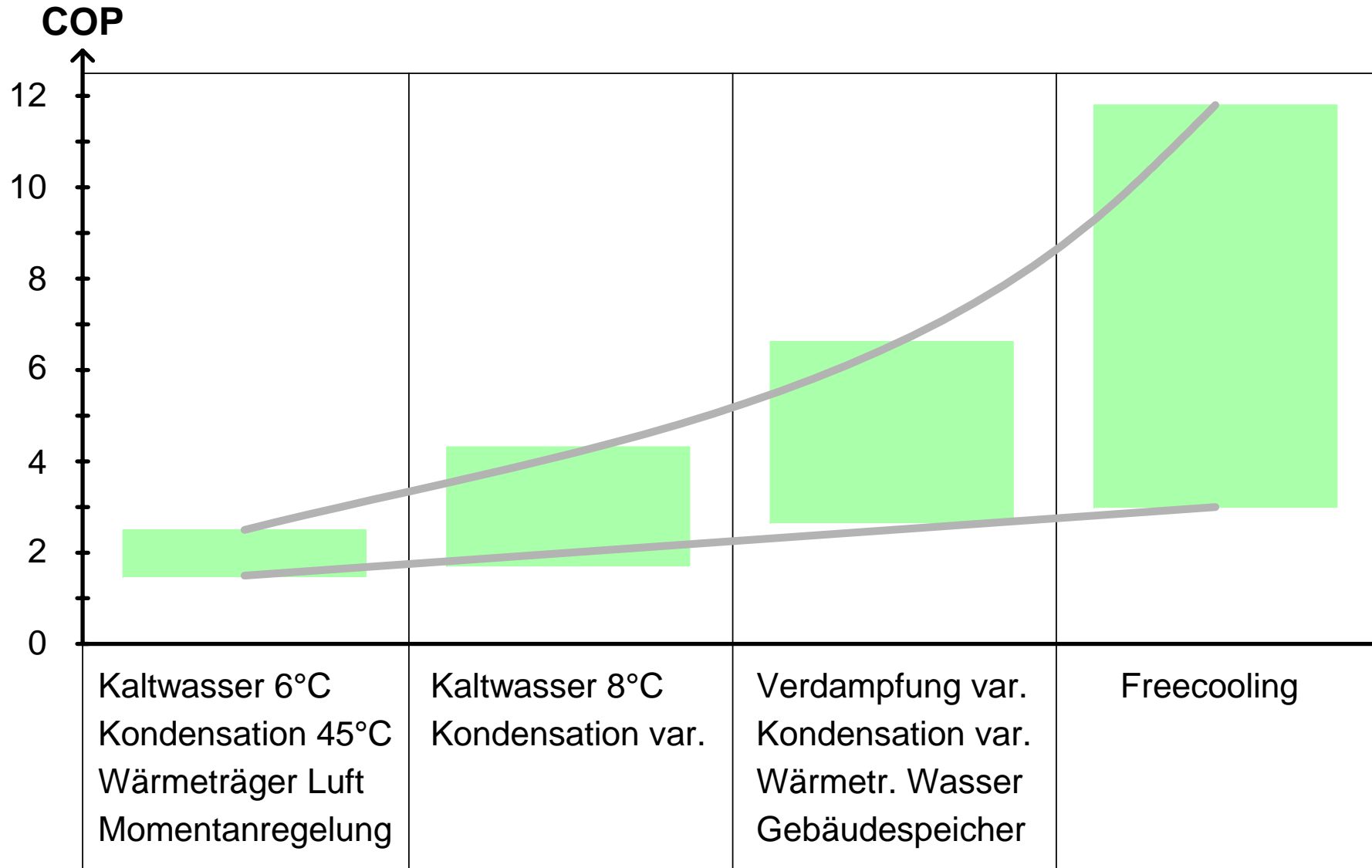
Kondensation $T_C = 30^\circ\text{C}$

Temperaturhub $\Delta T \approx 18 \text{ K}$

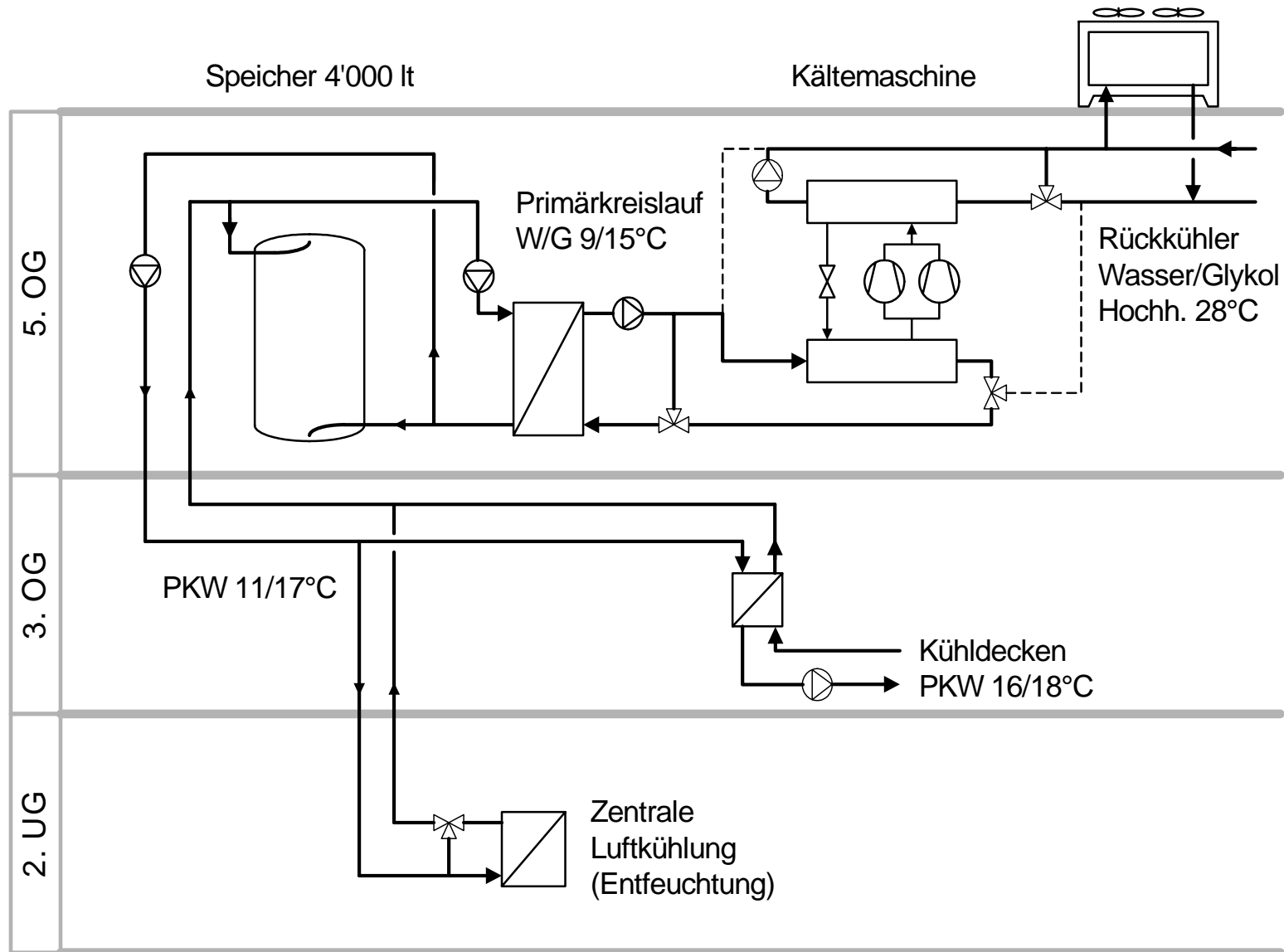
COP_{max} ≈ 16 (Carnot-Faktor)

COP $\approx 6 - 8$

COP verschiedener Klimakälte-Systeme



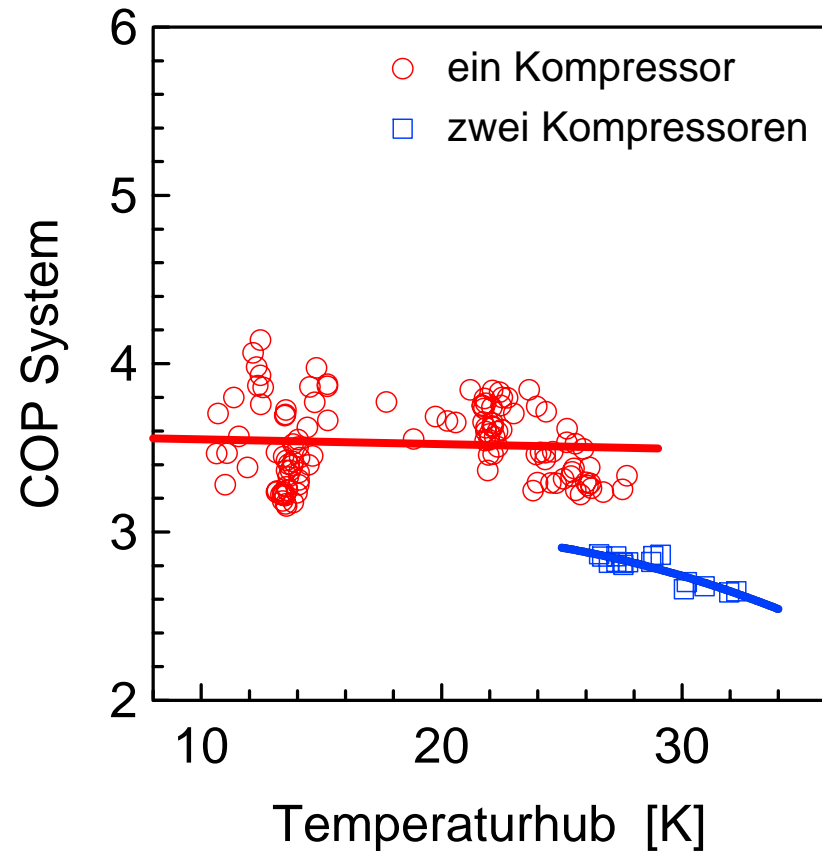
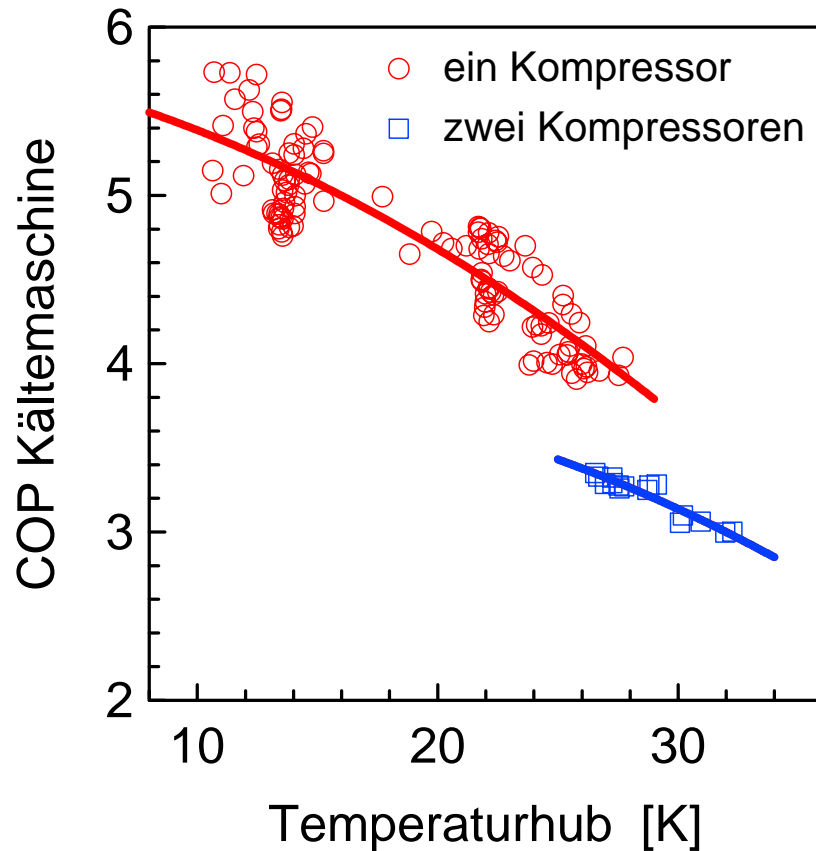
Messungen Klimakälteanlage (Bürogebäude Oerlikon)



COP Kältemaschine und Gesamtsystem

$$\text{COP Kältemaschine} = Q_0 / P_{el, Komp}$$

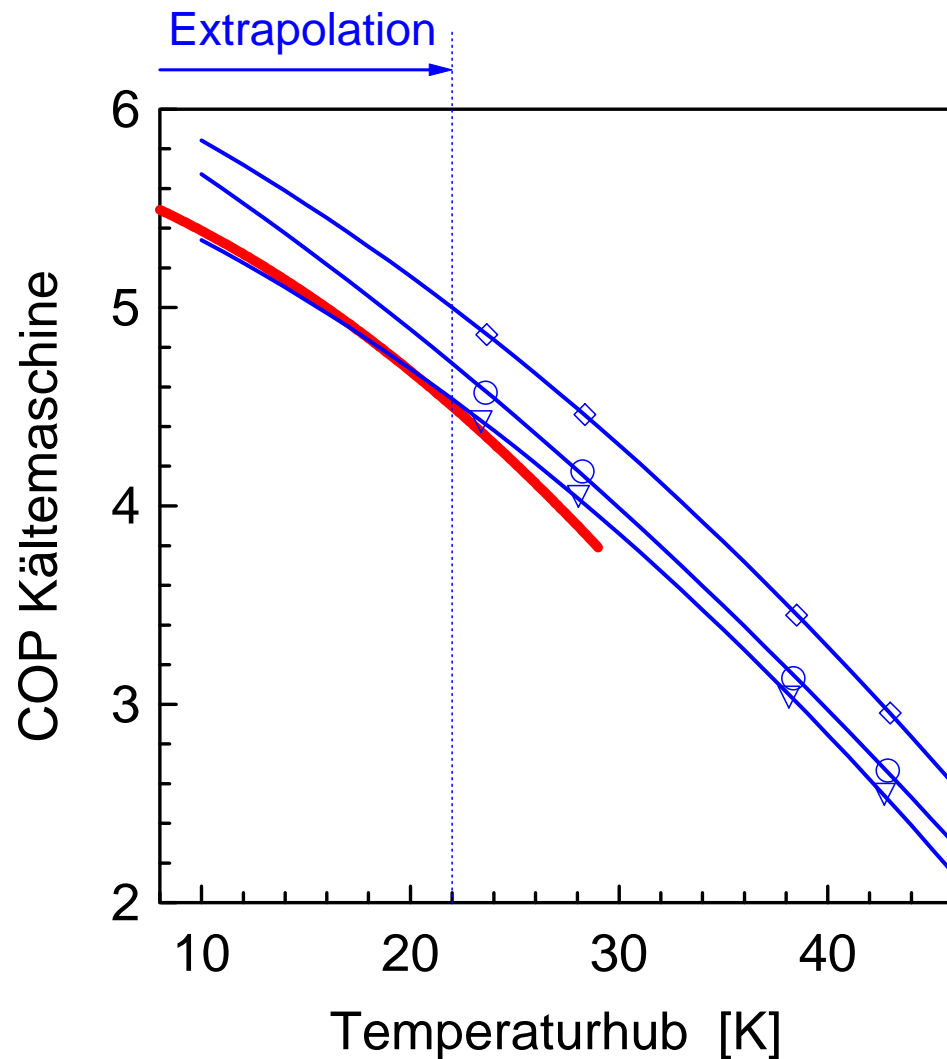
$$\text{COP Gesamtsystem} = Q_0 / P_{el, tot}$$



Arbeitszahl des Gesamtsystems: Vergleich von zwei Tagen

	Hoher Kältebedarf (3. Sept. 2004)	Kleiner Kältebedarf (14. Okt. 2004)
Erzeugte Kälteenergie	1'240 kWh	76 kWh
Kompressor Kältemaschine	320 kWh	15.5 kWh
Arbeitszahl Kältemaschine	3.9	4.9
Ventilator Rückkühler	30 kWh	5 kWh
Pumpe Rückkühler	12 kWh	2 kWh
Pumpe Primärkreislauf	3.5 kWh	0.6 kWh
Pumpe Sekundärkreislauf	3.5 kWh	0.6 kWh
Pumpe Kälteverteilung	12 kWh	5 kWh
Pumpe Kühldecken	7 kWh	3.5 kWh
Elektrische Energie Hilfsaggr.	68 kWh	16.7 kWh
Total elektrische Energie	388 kWh	32.2 kWh
Arbeitszahl Gesamtsystem	3.2	2.4

Vergleich mit anderen Kältemaschinen



COP-Vergleich

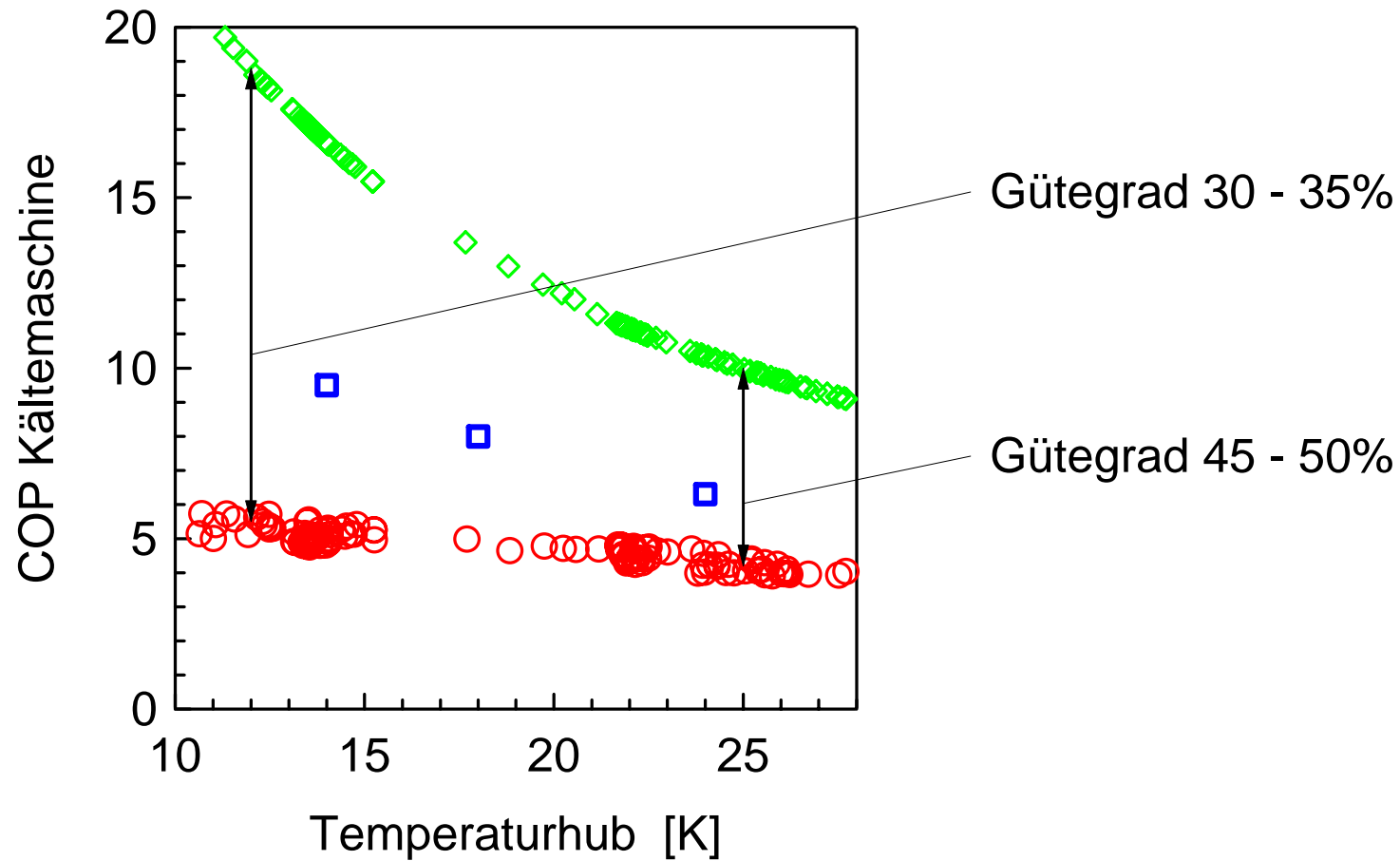
— Messungen Bürogebäude
Zürich Oerlikon

Daten Wärmepumpentestzentrum
für Wasser/Wasser-Anlagen mit
Kälteleistung über 50 kW:

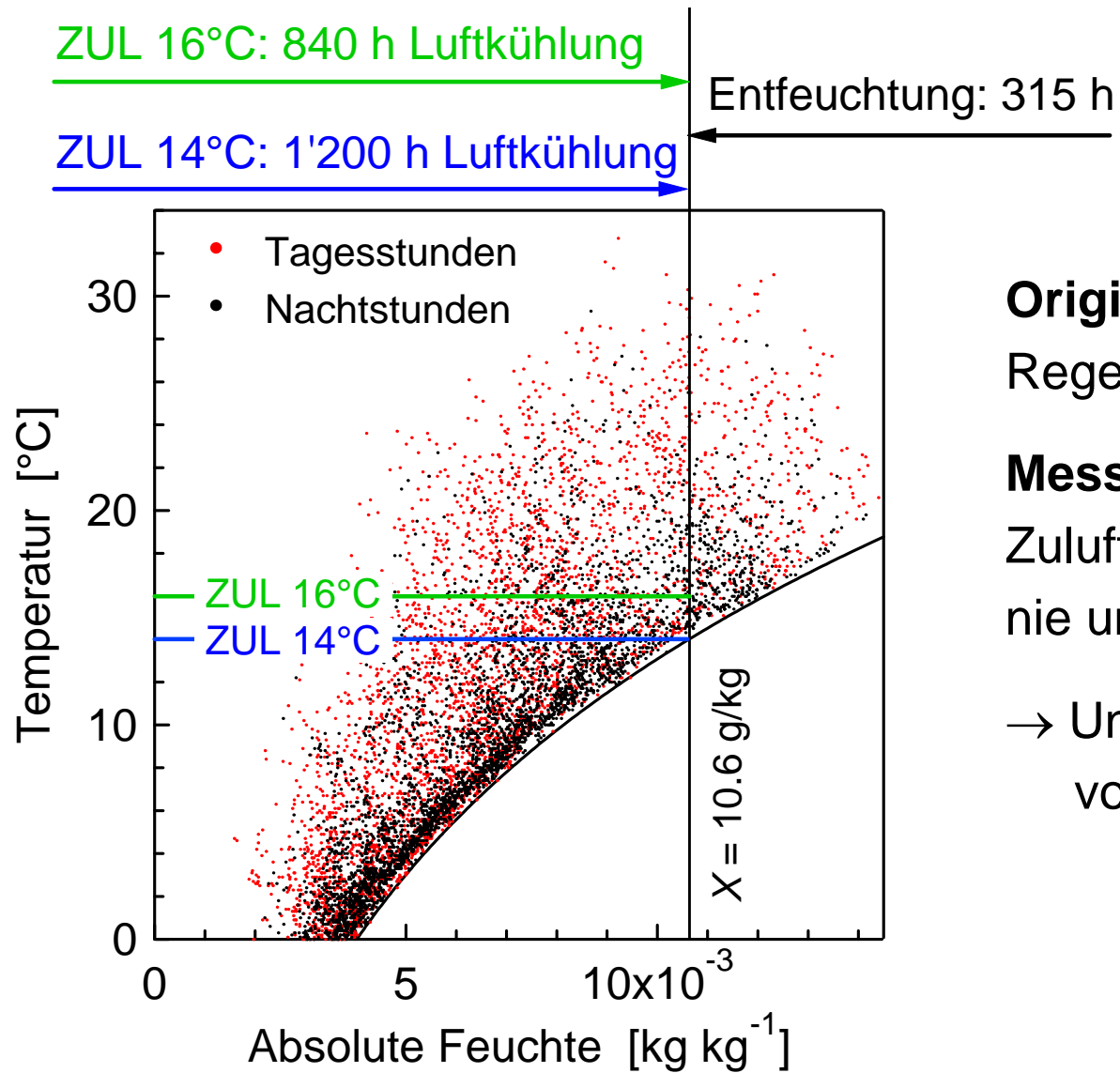
- ◇ Solar- und WP-Technik,
Niederbüren: Typ Futura
HWW 16/16 EVU, R134a
- Alpha-InnoTec, Kasendorf (D):
WW 910-I, R407C
- ▽ KKW, Kulmbach (D):
Typ WI 90C, R407C

Gütegrad der Kältemaschine

- ◇ COP-Maximum (Carnot-Faktor η_C)
- COP Messungen Bürogebäude
- COP Quantum Turboverdichter



Betriebsweise der Anlage



Originalzustand:

Regelung der Zuluft auf 14°C

Messungen:

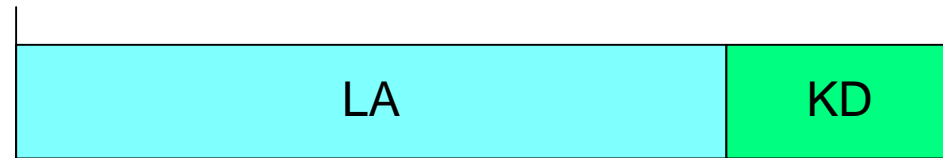
Zuluft nach Nachwärmern
nie unter 16°C

→ Unnötige Kälteproduktion
von 19 MWh pro Jahr

JAZ: Abhängigkeit von der Betriebsweise

Vergleichsprozess:

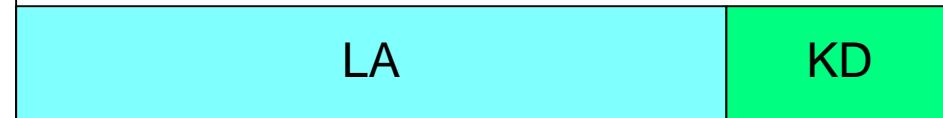
ZUL 14°C = konst.
 PKW 6°C = konst.
 Hochhaltung 35°C



$$JAZ_{KM} = 3.7$$

Originalzustand:

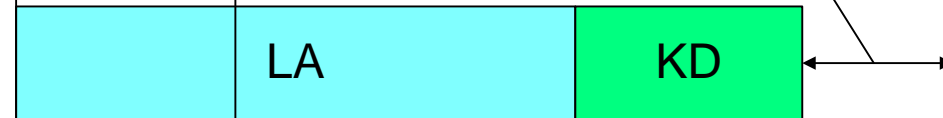
ZUL 14°C = konst.
 PKW 11°C = konst.
 Hochhaltung 28°C



$$JAZ_{KM} = 4.3$$

Optimierter Prozess:

ZUL 16 / 14°C (Entf.)
 PKW 14 / 11°C (Entf.)
 Hochhaltung 22°C



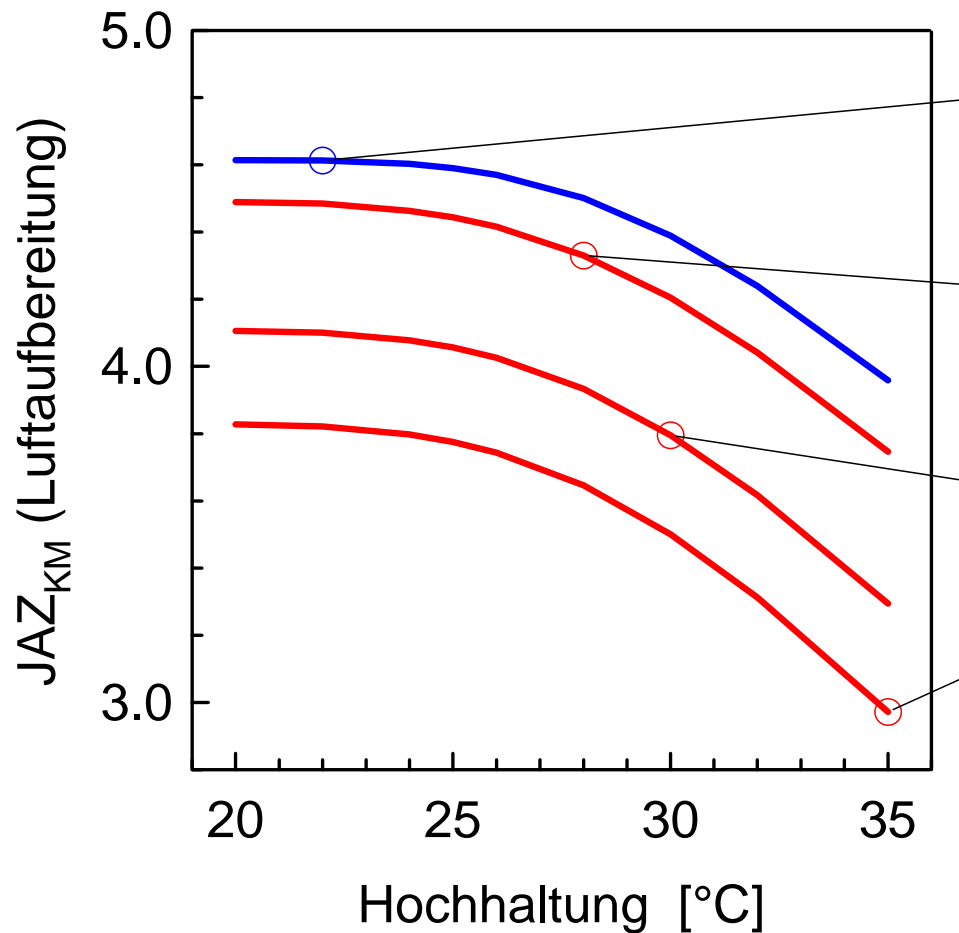
$$JAZ_{KM} = 4.6$$

19 MWh_{th} unnötige
 Kälteproduktion

Einsparung 6 MWh_{el} (21%)

0 50 100 MWh

JAZ: Einfluss Kaltwasser- und Hochhalte-Temperatur



ZUL 16°C, PKW 14/11°C, HH 22°C:
JAZ_{KM} = **4.6** (Optimierung)

ZUL 14°C, PKW 11°C, HH 28°C:
JAZ_{KM} = **4.3** (Originalzustand)

ZUL 14°C, PKW 8°C, HH 30°C:
JAZ_{KM} = **3.8**

ZUL 14°C, PKW 6°C, HH 35°C:
JAZ_{KM} = **2.9**

Planungsrichtlinien für Kälteanlagen mit hohem COP

- Wärmeträger Wasser oder Direktverdampfer (mechanische Nachtlüftung $\text{COP} < 2$)
- Pumpenkaltwassertemperatur (Verdampfungstemperatur) variabel
→ Regelung nach Enthalpie
- Kondensationstemperatur variabel:
→ maximale Nutzung der kühlen Nacht- und Vormittagsstunden bei Trockenkühlern
→ hybride Rückkühlung
- Auslegung Wärmetauscher auf 1 K Temperaturdifferenz
- Im Hochsommer keine unnötig tiefen Zulufttemperaturen
- Maximale Nutzung Free Cooling
- Kältemaschine mit effizientem Kältemittel und hohem Gütegrad
- Energieeffiziente hydraulische Installationen und Regelung des Systems
- Effiziente Raumregelung

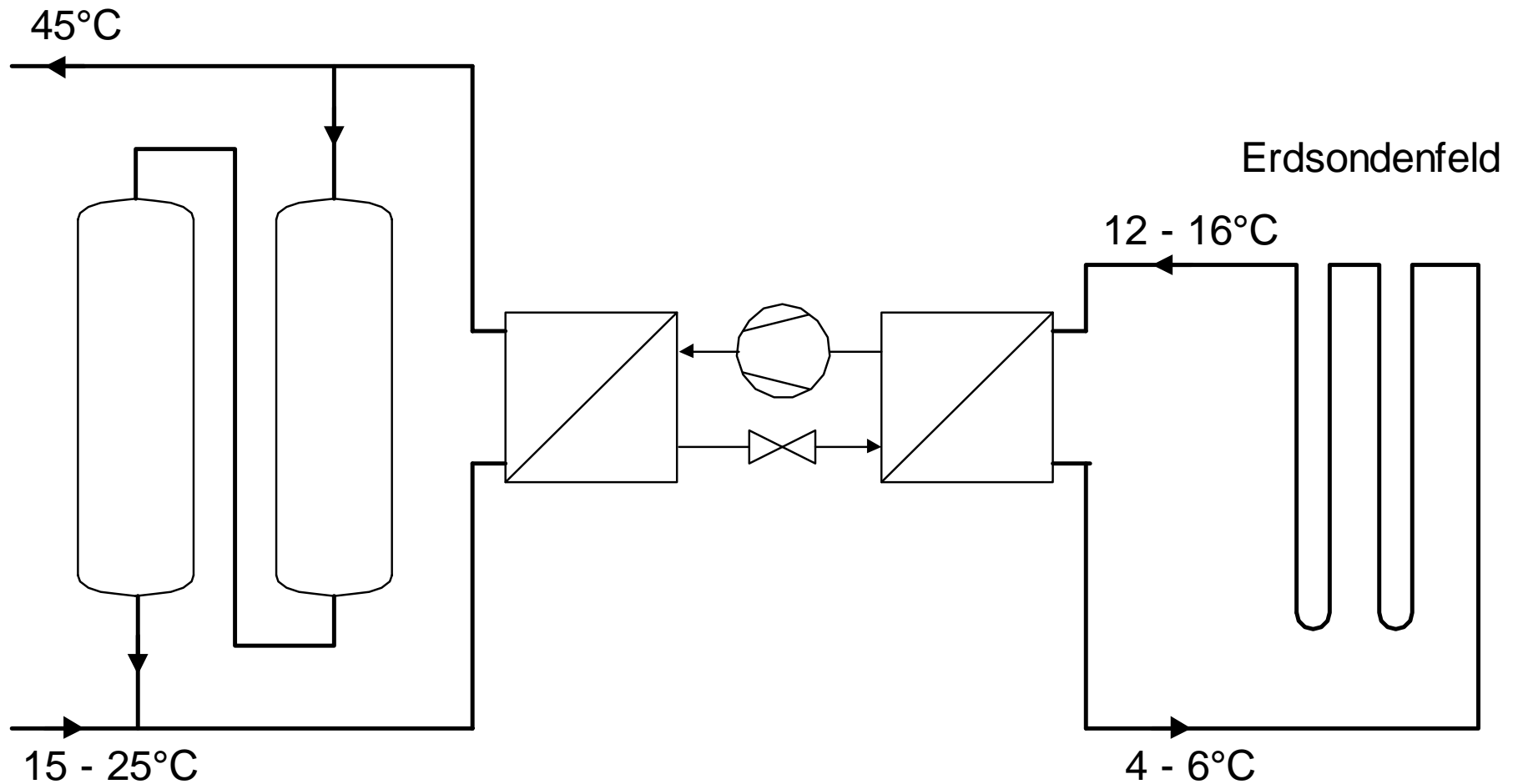
Vergleich Standardanlagen – Optimierte Anlagen

(Angaben in % der Kälteleistung)

		Genügend	Gut
Kältemaschine:	Kompressor (COP)	12 – 25 %	8 – 15 %
	Internpumpe Verdampfer	< 1 %	0 %
	Internpumpe Kondensator	< 1 %	0 %
Rückkühler:	Ventilator (ΔT_{Luft} ca. 5 K)	< 8 %	< 2 %
	Pumpe	1 %	< 1 %
Speicher:	Pumpe	1 %	0 %
Kälteverteilung:	Pumpe	1 %	< 1 %
Kühldecken:	Pumpe (Δp max. 50 kPa, ΔT min. 3 K)	1 %	< 1 %
Umluftkühler:	Pumpe (Δp max. 50 kPa, ΔT min. 3 K)	1 %	< 1 %
	Ventilator (ΔT_{Luft} min. 4 K)	< 10 %	< 2 %
Summe:		Max. 50 %	Min. 16 %

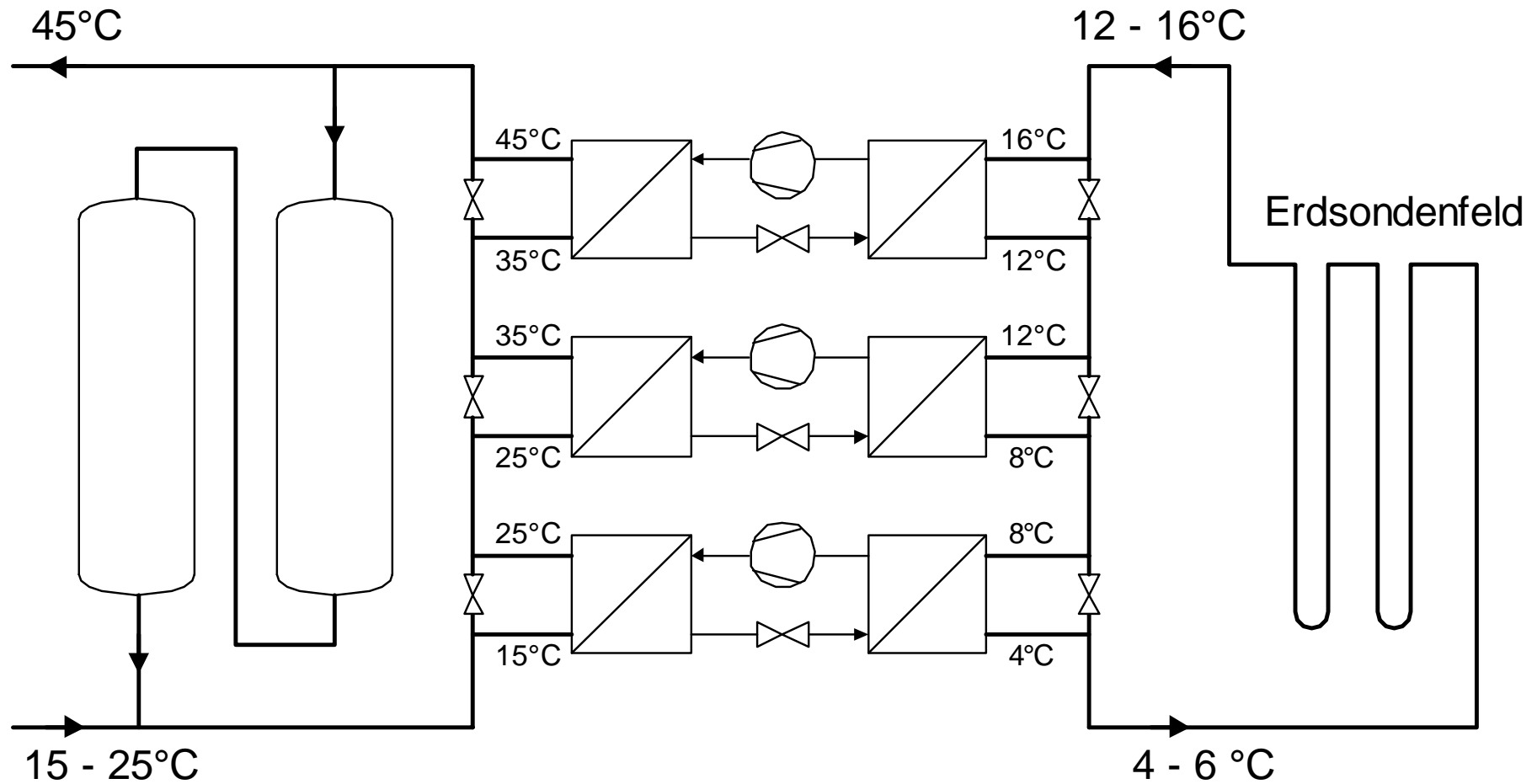
Wärmepumpen: Nutzung eines kleinen Temperaturhubes

A) Standardanlage

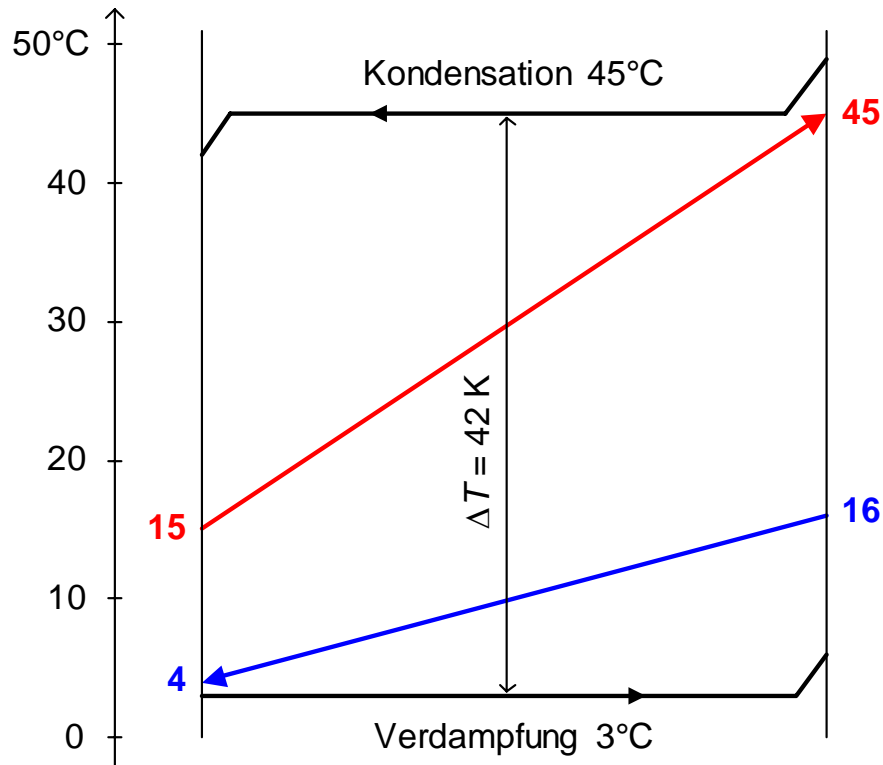


Wärmepumpen: Nutzung eines kleinen Temperaturhubes

B) Optimierte Anlage

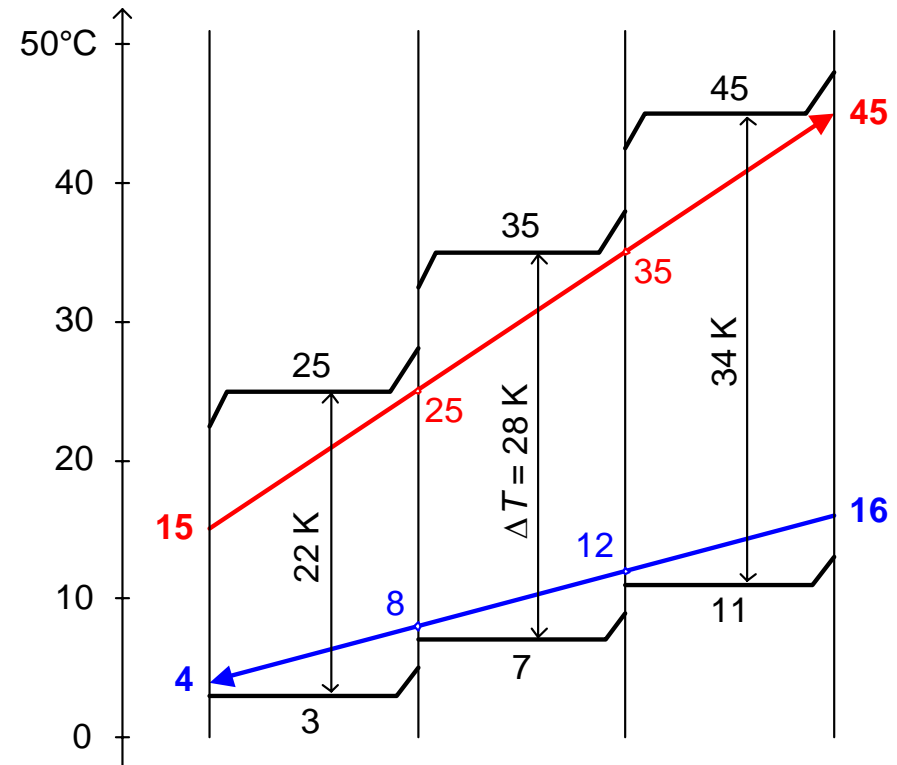


Temperaturverläufe und COP der Wärmepumpe



Standard-WP mit Gütegrad 50 - 55%:

COP = 4



$\text{COP}_{\text{rev}} = 13.5 \quad 11.0 \quad 9.4$

Ammoniak-WP mit Gütegrad 70%:

COP = 7 - 8

Planungsrichtlinien für Wärmepumpen mit hohem COP

- Vermeidung von unnötig grossen Temperaturhüben
- Auslegung der Wärmetauscher auf kleine Temperaturdifferenzen
- Temperaturdifferenz über Speicher gross halten
- Gegenstrom-Wärmetauscher auf der Verbraucherseite
- Wärmepumpe mit effizientem Kältemittel und hohem Gütegrad
- Energieeffiziente hydraulische Installationen und Regelung

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !