



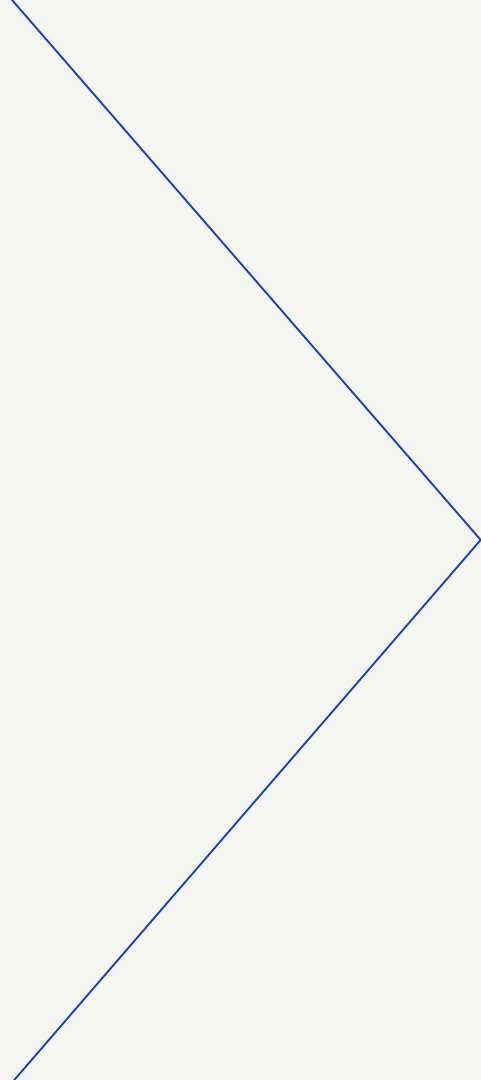
Energieapéro beider Basel

Hochtemperatur-Wärmepumpen für Prozessenergie

Roche Basel & Kaiseraugst
Energies & Utilities

Andreas Hug, Claudio Magoni, Christoph Stirnimann

Inhalt

- 
- A large blue graphic element consisting of a vertical line and two diagonal lines that meet at a point, forming a stylized arrow pointing to the right.
1. Ausgangslage
 2. Problemstellung
 3. Erkenntnisse

Ausgangslage

The diagram illustrates the energy flows in a district heating system. A central plant (KWK) provides electricity and gas, which are converted into high-temperature heat (Dampf). This heat is distributed through a network of pipes to various heat exchangers (WRG) and heat pumps (Wärmepumpen / Kältemaschine). The heat exchangers transfer heat to the room (Raum) and the district heating network. The room is maintained at a temperature of approximately 20°C. The district heating network consists of a primary loop (Fernwärme 90°C) and a secondary loop (Wärme 40°C). The primary loop is connected to the KWK, and the secondary loop is connected to the room. The room is connected to the district heating network via a heat exchanger (WRG). The district heating network also includes a heat pump (Wärmepumpen / Kältemaschine) and a cooling system (Kältemaschine). The cooling system is connected to the district heating network via a heat exchanger (WRG) and a cooling loop (Kälte). The cooling loop is connected to the district heating network via a heat exchanger (WRG) and a cooling loop (Kälte). The cooling loop is connected to the district heating network via a heat exchanger (WRG) and a cooling loop (Kälte).

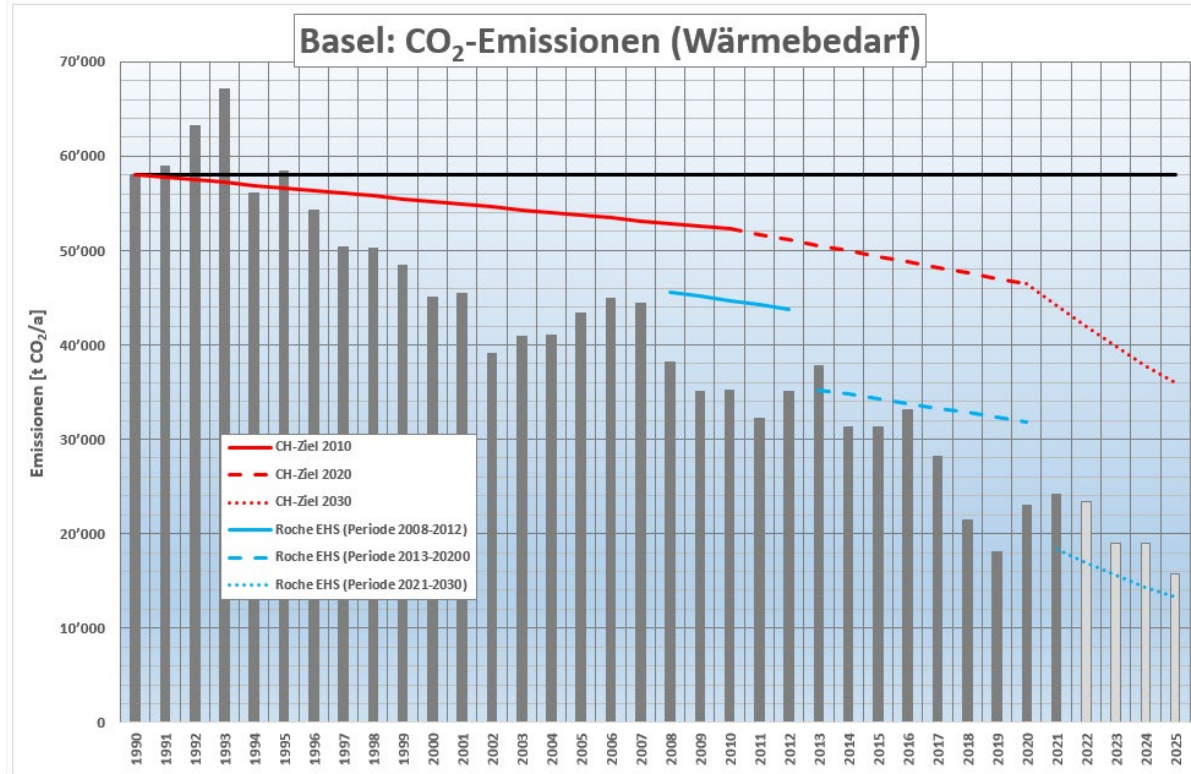


Wasser 40°C
Grundwasser 15°C

1. Energie-Verbrauch reduzieren
2. Nutzung nachhaltiger Energien
3. Einbezug innovativer Technologien

Ausgangslage

Energiekonzept / Energiebild

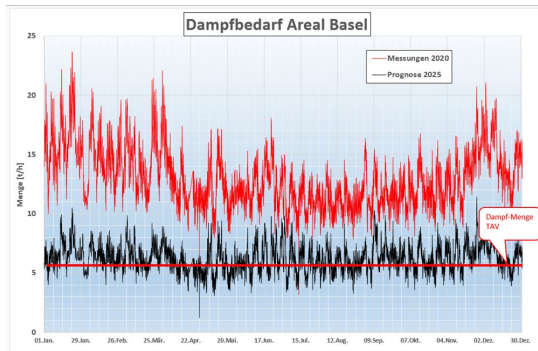
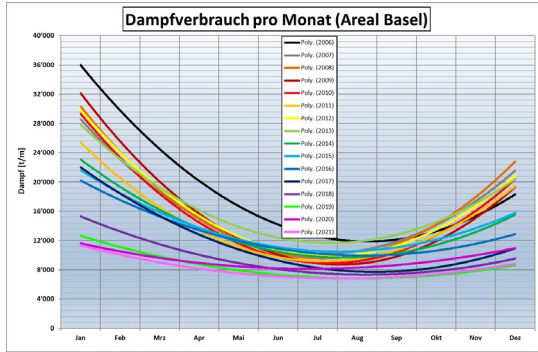


Es wurde bereits viel getan, es ist jedoch noch einiges zu tun

→ **Prozess-Wärme wird es auch in Zukunft immer brauchen (egal wo)!**

Ausgangslage

Energiekonzept / Energiebild



De-Fossilierung

- stringente Umsetzung des Energie -Konzeptes
- stetige Reduktion des Dampf-Verbrauchs in der Vergangenheit
- Nivellierung des Verbrauchs
- Unabhängigkeit von den Jahreszeiten

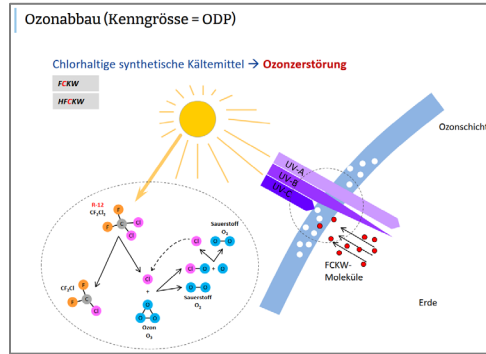
zukünftige Anforderungen an Prozess -Wärme (Dampf)

- Bedingungen
 - Druck: 6 bar ü
 - Temperatur: 165°C
- Menge
 - Spitzen: 12 t/h
 - Bereich: 2 ...12 t/h (15 - 100%)
 - Lastwechsel: 4 t/h

Problemstellung

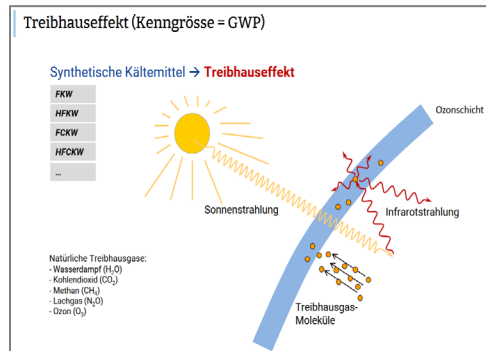
Problemstellung: Kältemittel

Umwelt; Gesetze und Vorschriften



Ozon-Abbau

- Roche Konzern-Direktive:
-> natürliche Kältemittel
- BAFU; ChemRRV:
 - Kältemittel mit $ODP > 0.005$ sind verboten
 - Kältemittel mit $ODP \leq 0.005$ sind erlaubt, wenn kein Ersatz nach Stand der Technik und Massnahmen zur Emissionsreduktion getroffen werden

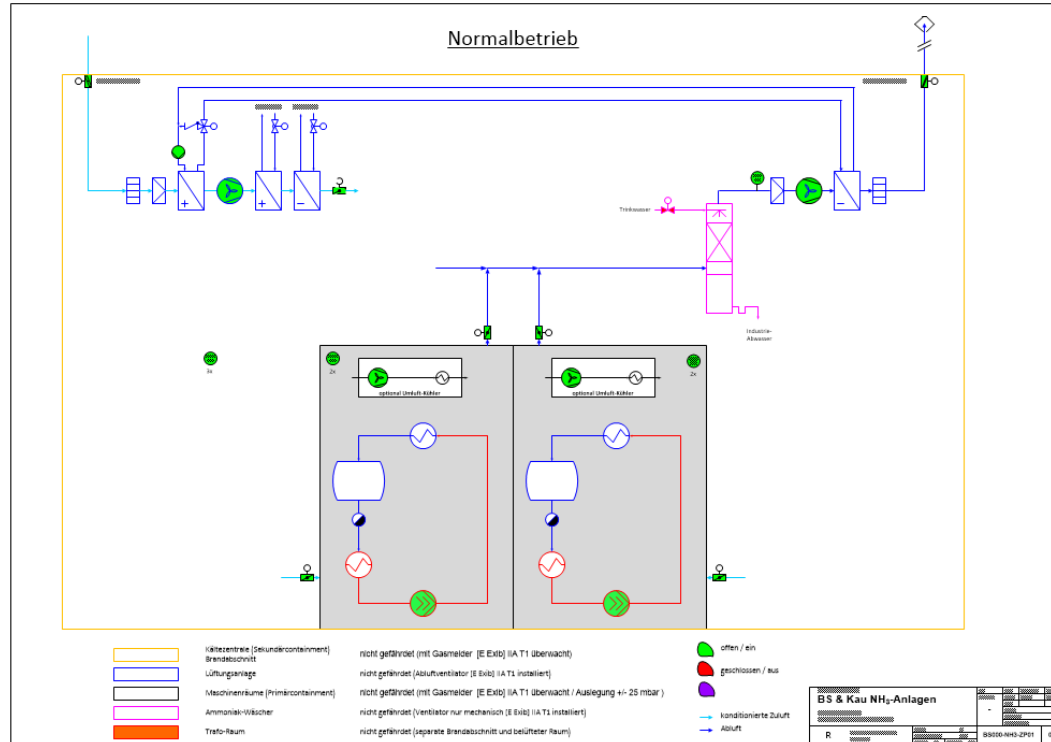


Treibhauseffekt

- Roche Konzern-Direktive:
-> natürliche Kältemittel
- BAFU; ChemRRV:
 - Kältemittel mit $GWP > 2'100$ sind verboten
 - Kältemittel mit $GWP \leq 2'100$ sind für $Q_0 > 600$ kW verboten
-> *GWP < 150 werden angestrebt*

Problemstellung: Kältemittel

Umwelt; Gesetze / Vorschriften



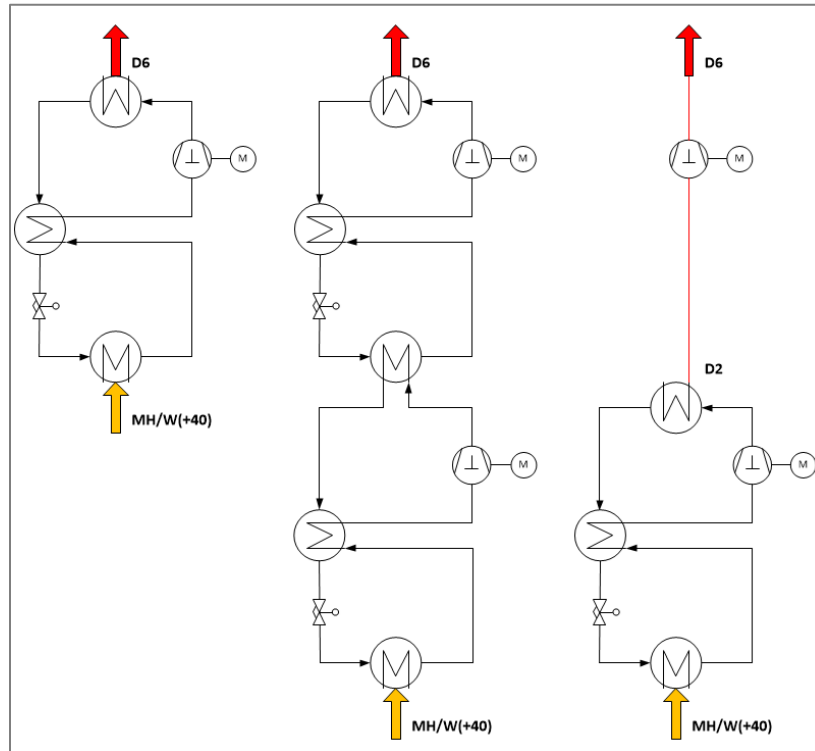
Sicherheitskonzept (Roche / EN378)

Beispiel: Ammoniak

- **Primär-Kontainment**
 - > Wärmepumpe mit Kältemittel
- **Sekundär-Kontainment**
 - > Nebenanlagen
 - > Lüftung gemäß EN 378
 - > Wäscher für Kältemittel NH₃ (AEG L2 / 30 min)
- **Elektorräume**
 - > separater Brandabschnitt

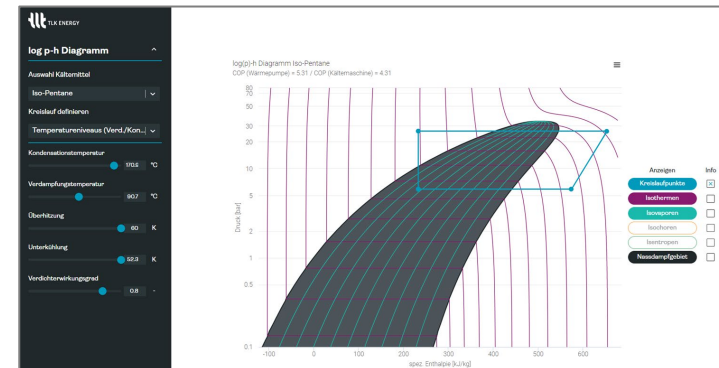
Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingungen: Physik



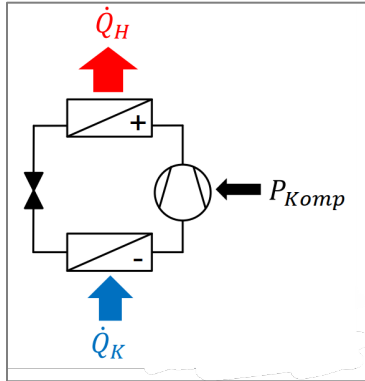
Physikalische Anforderungen an das Kältemittel

- Wärme-Quelle „Wasser mit 40/30 °C“
-> *Verdampfungsdruck bei 15°C > 1.2 bars*
- kritische Temperatur muss grösser als der Sattampf -Druck des Dampfes sein
 - Option 1: D6- ohne Brüdenverdichtung
-> *Kondensationsdruck 170°C*
 - Option 2: D3- mit Brüdenverdichtung
-> *Kondensationsdruck > 140*
 - ...



Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingungen: Physik

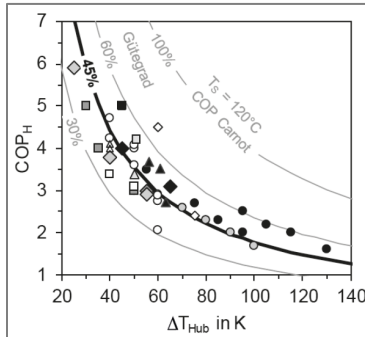


Physikalische Bedingungen des Kältemittels

- Verdampfungsdruck: ca. 25°C
 - Kondensationsdruck: ca. 170°C
- > Carnot-Wirkungsgradsp. Leistungszahl der Wärmepumpe

$$COP_w = \frac{Q_h}{P_{Komp}} = \frac{1}{\eta_w} = \frac{T_h}{T_h - T_k}$$

$$COP_w = 3.06$$



reale Prozesses

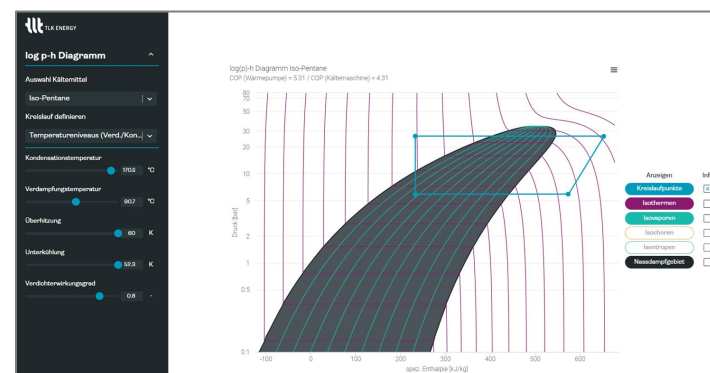
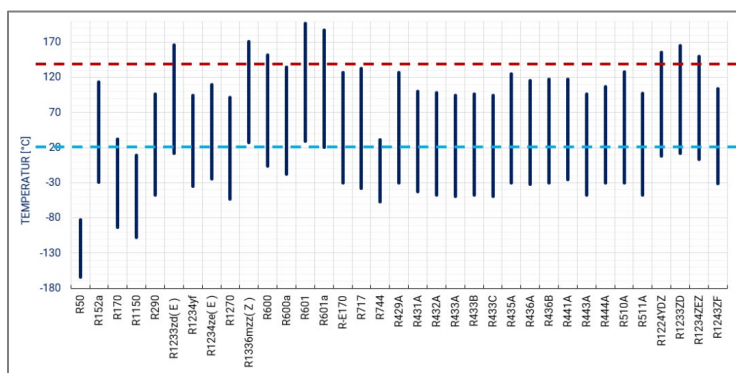
(Quelle: Hochschule OST, Institut für Energiesysteme)

- Carnot -Wirkungsgrad: 100%
- reale Wirkungsgrade: < 60%

$$\rightarrow COP_w \cong 1.83$$

Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingungen: Kälteanforderungen (Quelle: Wettstein AG)

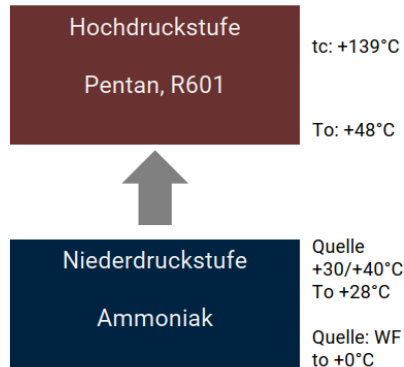
[illegible]

Problemstellung: Kältemittel

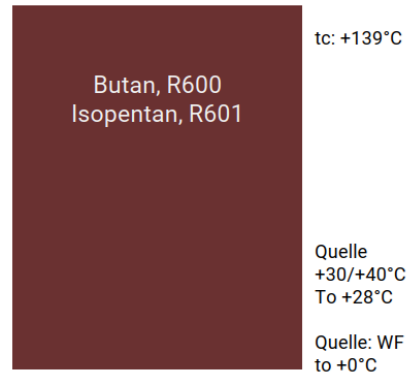
Rahmenbedingungen Kältemittel & Kondensator (Quelle: Fa. Wettstein AG)

Mögliche Systeme

Variantengruppe 1N



Variantengruppe 2N



Variantengruppe 3H



Natürliche Kältemittel

HFO

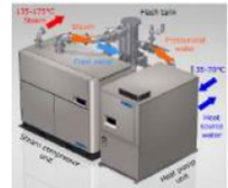
Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingungen und der Technik (Quelle: Hochschule OST, Institut für Energiesysteme)

zu grosser Hub
-> Wärme-Quelle

zu grosser Hub
-> Wärme-Quelle

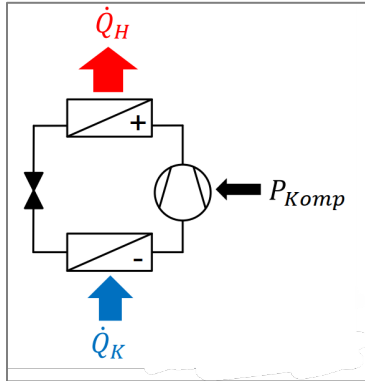
Friotherm (CH)	Turboden (IT)	MAN Energy Solutions (CH)	Mitsubishi MHPs (DE)	Siemens (DE)	Ochsner (AT)	Kobelco (JP)
FRIOTHERM Heat Pump	LHP30 LHP150	ETPS	D-GWP	Large-scale	IWWDS R2R3b IWWHS ER3b TWIN	SGH 120/165
R1233zd(E) + R718 (Water)	R601 + R718 (n-Pentane + Water)	R744 (CO ₂)	R600a + R718 (Iso-Butane + Water)	HFOs	Öko (R245fa) R1233zd(E) (HFOs)	R245fa + R718
25 MW	3 bis 30 MW	5 to 100 MW	4.3 MW	4 to 70 MW	Up to 750 kW TWIN 2.4 MW	Up to 624 kW Cascade 2.5 MW
137 °C	120 bis 150 °C	150 °C	174 °C	150 °C	130 °C	165 °C



Erkenntnisse

Erkenntnisse: Wärmepumpen

Problemstellung: Anlagendesign



Kolben-Verdichter

- Leistung
- Natürliche Kältemittel
- Schmiermittel
- Kombination Öl/Kältemittel

Schrauben-Verdichter

- Leistung
- Natürliche Kältemittel
- Schmiermittel
- Kombination Öl/Kältemittel
-

Turbo-Verdichter

- Leistung
- Natürliche Kältemittel
- Schmiermittel
- Kombination Öl/Kältemittel

Markt-Übersicht

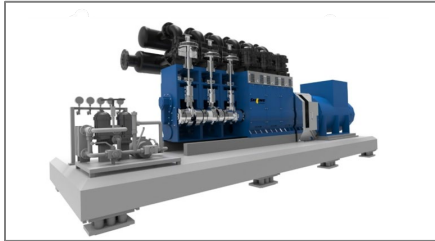
<< 1 MW
wenig Anwendungen
> 150°C, kaum Erfahrungen
Neuland

> 1 MW
vorwiegend Ammoniak
> 150°C, z. Zt. Noch nicht zugelassen (GEA)
Neuland

> 1 MW
keine, nur für HFO!
> 150°C, vorhanden
Weltmarkt, Erfahrungen liegen vor

Erkenntnisse: Brüdenverdichtung

Problemstellung: Anlagendesign



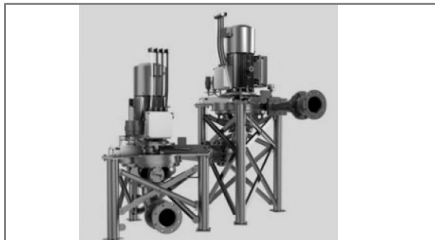
Kolben-Verdichter

- Leistung
- Verdichtung
- Stufen
- Schmiermittel
- COP



Schraube-Verdichter

- Leistung
- Verdichtung
- Stufen
- Schmiermittel
- COP



Turbo-Verdichter

- Leistung
- Verdichtung
- Stufen
- Schmiermittel
- COP

Markt-Übersicht

-> Spilling

≈ 1 MW

von 1 bar ü bis 20 bar ü

1 bis 3, mehrere Zylinder parallel

Wasser (Zwischen-Einspritzung)

besser als Verdichter mit Kältemittel

-> Aerzen

> 1 MW

nur geringe Unterdrücke zu hohen Überdrücken

1

Wasser (Zwischen-Einspritzung)

wie Verdichter mit Kältemittel

-> Piller

<< 1 MW

von -0.9 bar ü bis 20 bar ü

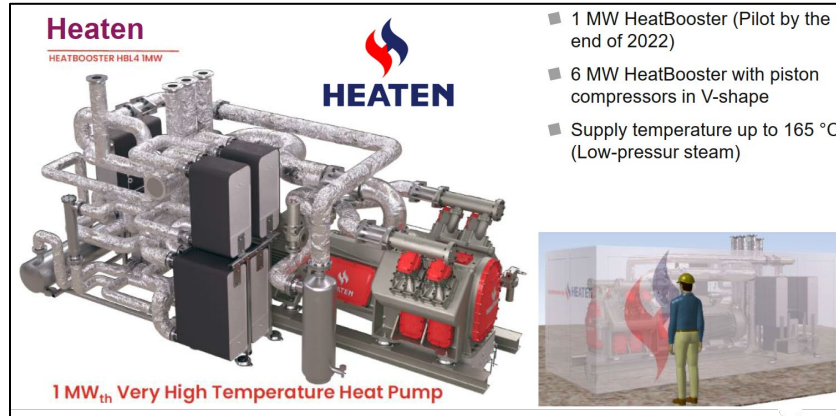
1 bis ...

Wasser (Zwischen-Einspritzung)

besser als Verdichter mit Kältemittel

Erkenntnisse: Wärmepumpen

Problemstellung: Anlagendesign



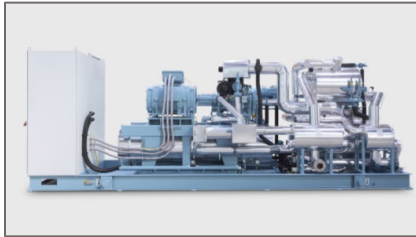
Kolben-Verdichter

■ Leistung	7 x 960 kW
■ Dampf	6 bar ü / 165°C
■ Kältemittel	Iso-Pentan
■ Stufen	4 Zyl. 2-stages
■ COP	1.82

- **Pilot-Anlage**
- **4-Zylinder ist Neu-Entwicklung**
- **Ex-Installation**
- **aufwendiger Unterhalt**
- **grosse Redundanz (7 Anlagen)**

Erkenntnisse: Wärmepumpen & Brüdenkompression

Problemstellung: Anlagendesign

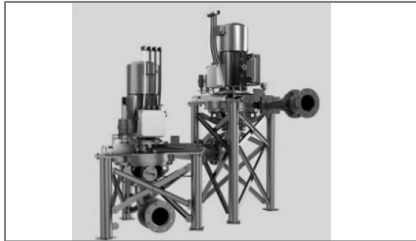


Wärmepumpe

- Leistung
- Kältemittel
- Dampf
- COP

(Wettstein AG)

3 x 4.0 t/h
Ammoniak
- 0.70 bar g / 70°C
4.95

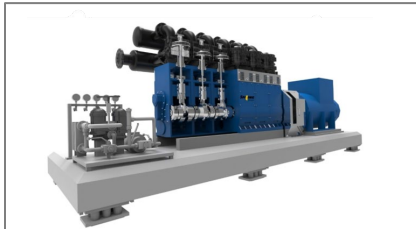


Brüdenkompression

- Leistung
- Stufen
- Dampf
- COP (3 x 516 kW)

(Piller)

3 x 4.6 t/h
7
2 bar g / 135°C
4.45



Brüdenkompression

- Leistung
- Stufen
- Dampf
- COP (2 x 285 kW)

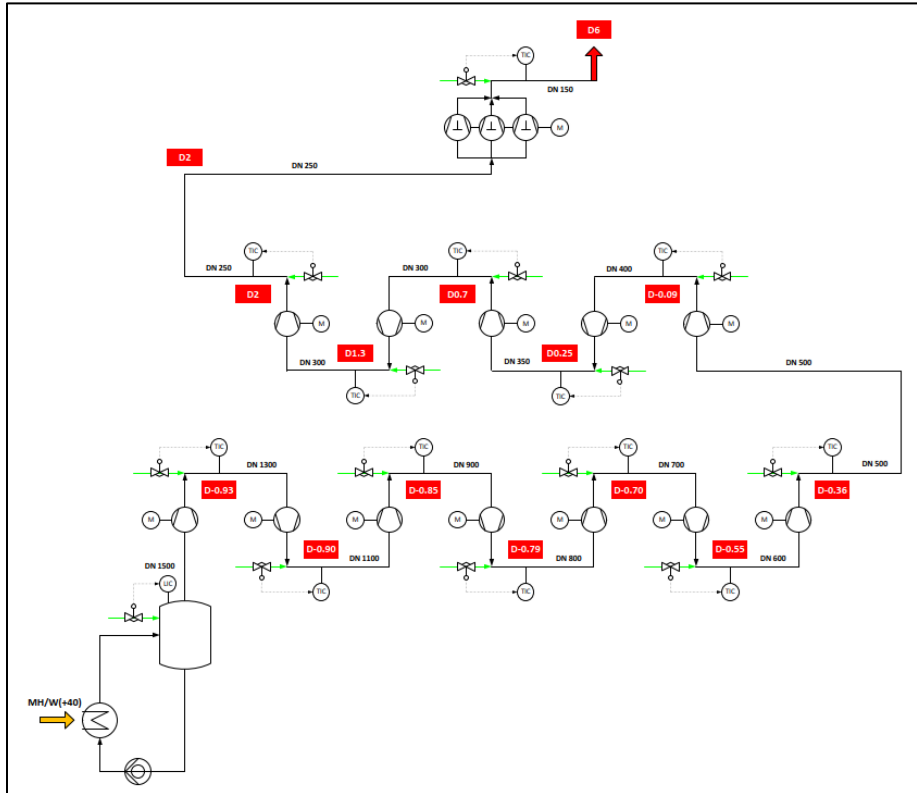
(Spilling)

2 x 6.4 t/h
3 Zylinder
6 bar g / 220°C
8.79

- **COP: 2.14**
- **Standard-Installationen**
- **keine Ex-Installationen**
- **mehrstufige Anlage**
- **komplexe Verschaltung**
- **viele Verdichter**
- **Dampf-Erzeugung im Vakuum**

Erkenntnisse: Brückenkompression

Problemstellung: Anlagendesign

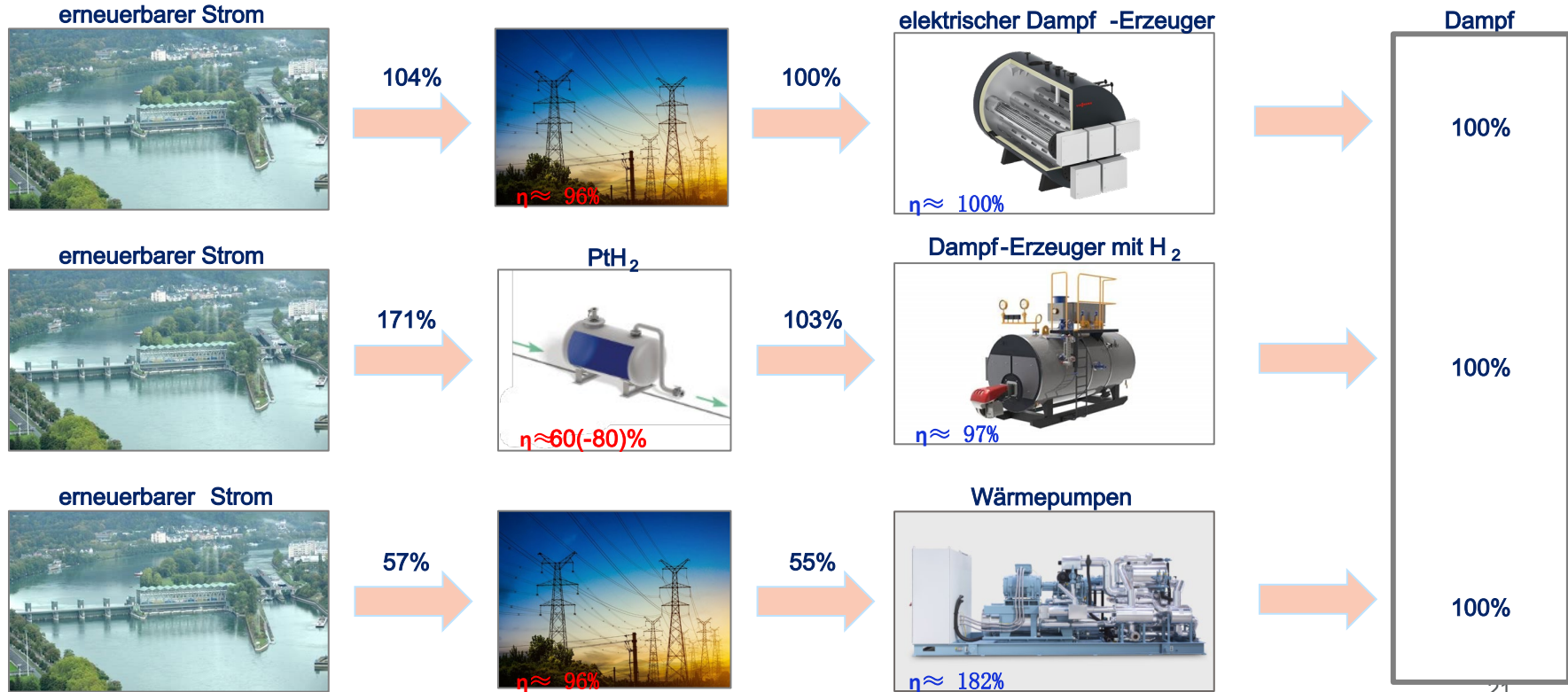


Radikaler Ansatz

- **COP: 2.26**
- **Standard-Installationen**
- **keine Ex-Installationen**
- **mehrstufige Anlage**
- **komplexe Verschaltung**
- **viele Verdichter**
- **Dampf-Erzeugung im Vakuum**

Erkenntnisse: Hochtemperatur-Wärme

Sektorkopplungsoptimierung des Gesamtsystems



Doing now what patients need next