

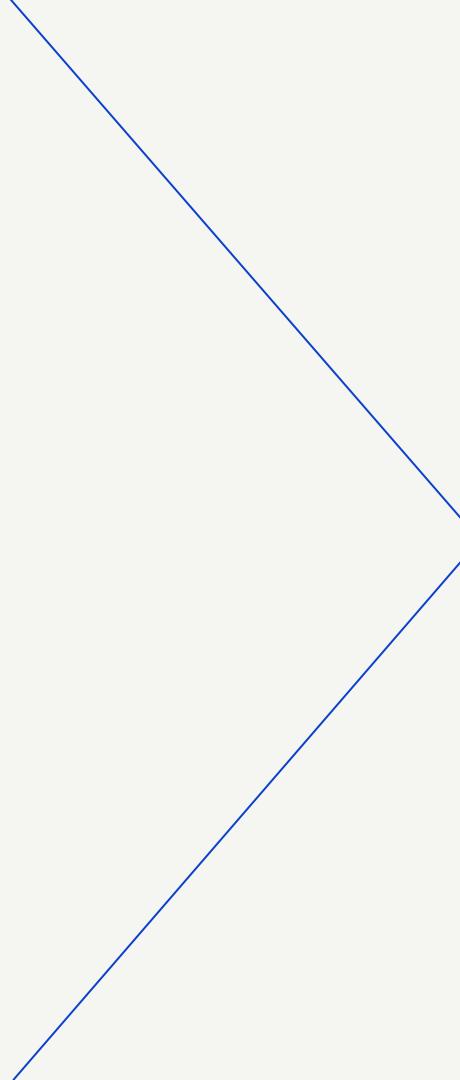


Energieapéro beider Basel Hochtemperatur-Wärmepumpen für Prozessenergie

**Roche Basel & Kaiseraugst
Energies & Utilities**

Andreas Hug, Claudio Magoni, Christoph Stirnimann

Inhalt

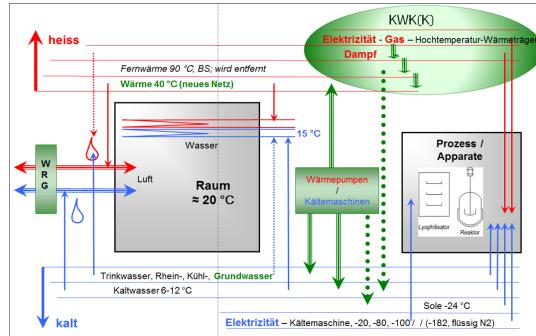
- 
1. Ausgangslage
 2. Problemstellung
 3. Erkenntnisse

Ausgangslage



Ausgangslage

Energiekonzept Energieleitbild



Energie-Suffizienz

- **Prozess-Wärme / -Kälte**
 - Hoch-Temperatur-Wärme:
 - Nieder-Temperatur-Kälte:
- **Komfort -Wärme / -Kälte**
 - Nieder-Temperatur-Wärme:
 - Hoch-Temperatur-Kälte:

Dampf
Sole

Wasser 40°C
Grundwasser 15°C

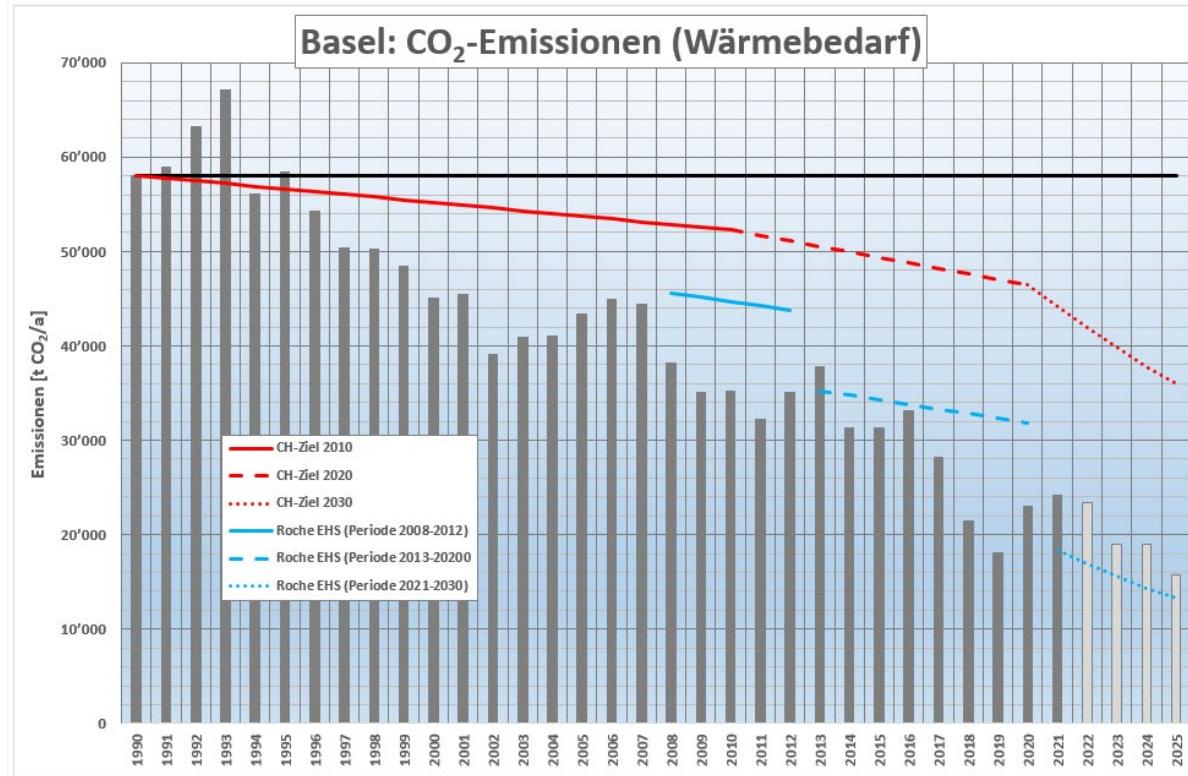


Energie-Leitbild

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

Ausgangslage

Energiekonzept / Energieträgermix

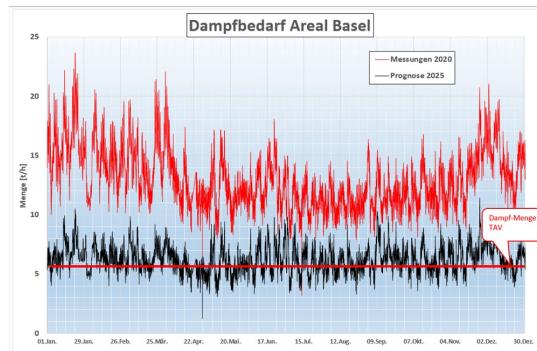
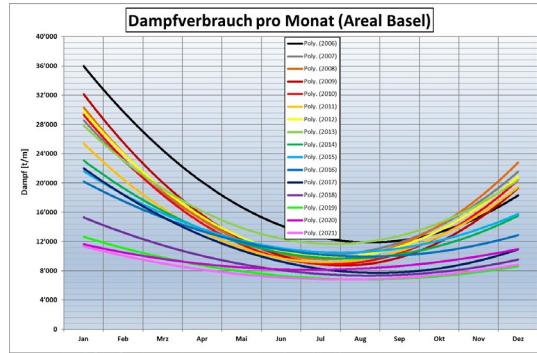


Es wurde bereits viel getan, es ist jedoch noch einiges zu tun

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

Ausgangslage

Energiekonzept / Energieträger



De-Fossilisierung

- 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)

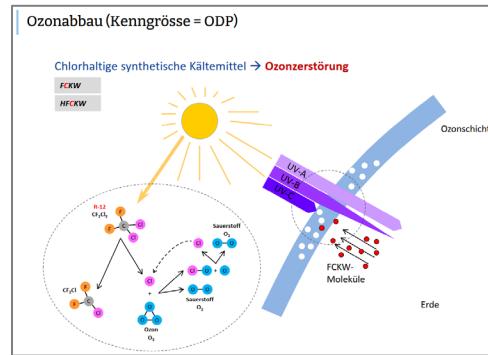
- **Bedingungen**
 - Druck: 6 bar ü
 - Temperatur: 165°C
- **Menge**
 - Spitzen: 12 t/h
 - Bereich: 2 ...12 t/h (15 - 100%)
 - Lastwechsel: 4 t/h

Problemstellung



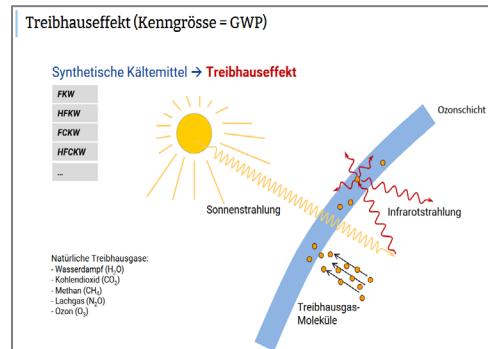
Problemstellung: Kältemittel

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

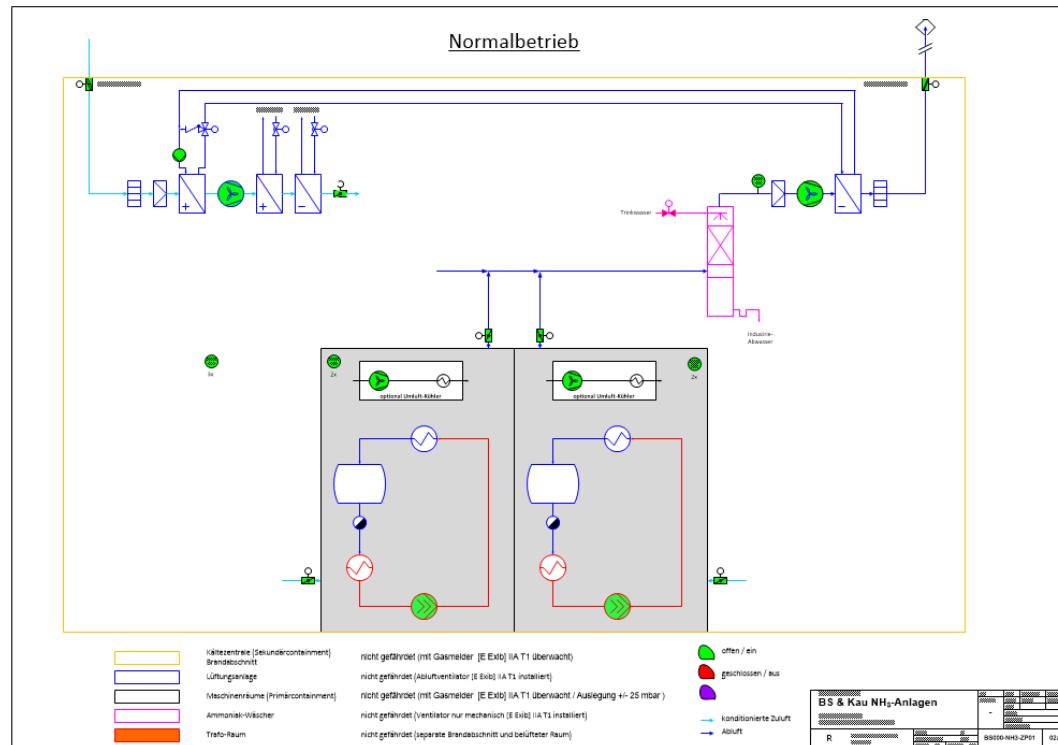


Treibhauseffekt

- **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



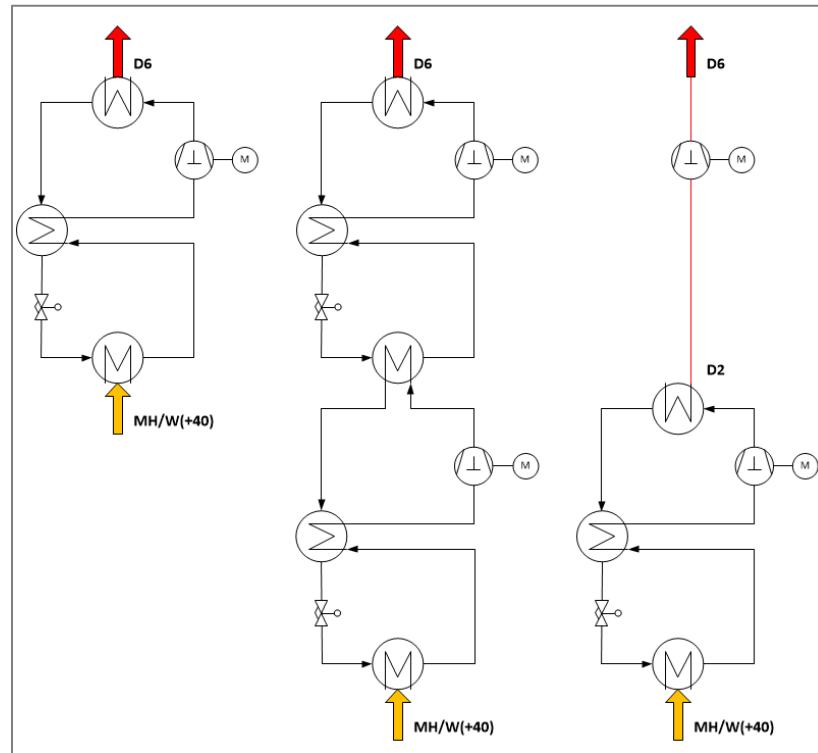
Sicherheitskonzept (Roche / EN378)

Beispiel: Ammoniak

- **Primär-Kontainment**
->Wärmepumpe mit Kältemittel
- **Sekundär-Kontainment**
->Nebenanlagen
->Lüftung gemäss EN 378
->Wässcher für Kältemittel NH₃ (AEGE2 / 30 min)
- **Elektroräume**
->separater Brandabschnitt

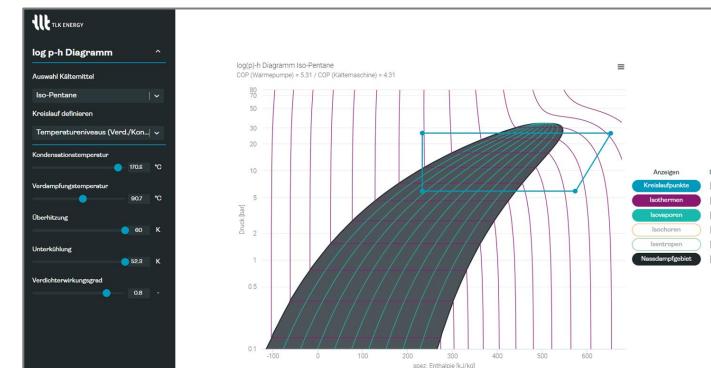
Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingungen: Physik



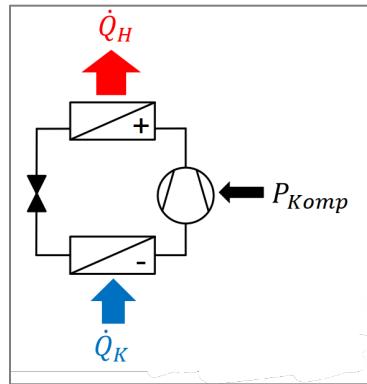
Physikalische Anforderungen an das Kältemittel

- Wärme-Quelle „Wasser mit 40/30 °C“
-> Verdampfungsdruck bei 45°C > 1.2 barabs
- kritische Temperatur muss grösser als der Satteldampf -Druck des Dampfes sein
 - Option 1: D6- ohne Brüden Verdichtung
-> Kondensationsdruck 170°C
 - Option 2: D3- mit Brüden Verdichtung
-> Kondensationsdruck > 140
 - ...



Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingungen: Physik

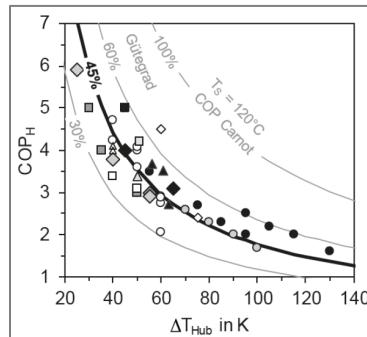


Physikalische Bedingungen des Kältemittels

- Verdampfungsdruck: ca. 25°C
 - Kondensationsdruck: ca. 170°C
- > Carnot-Wirkungsgrad sp. 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 Prozesse

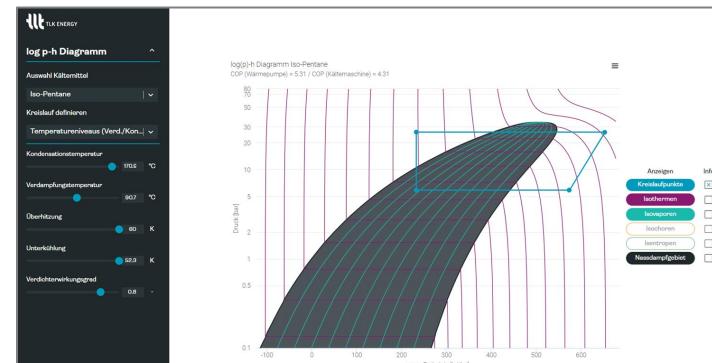
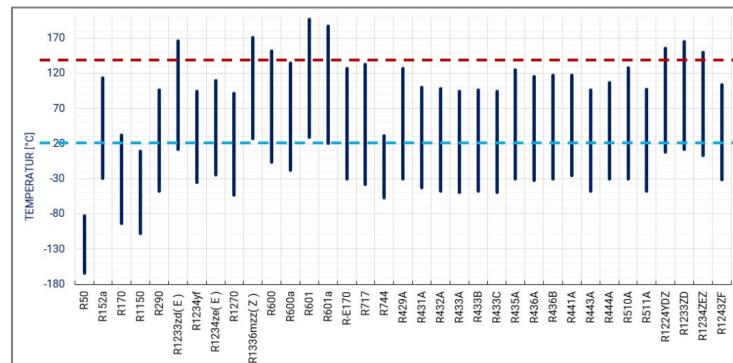
(Quelle: Hochschule OST, Institut für Energiesysteme)

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

$$-> COP_w \cong 1.83$$

Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingungen: Kälteanforderungen (QFalle Wettstein AG)



Problemstellung: Kältemittel

Rahmenbedingung
Kältemittel & Konzepte (Quelle: Fa. Wettstein AG)

Mögliche Systeme

Variantengruppe 1N

Hochdruckstufe

Pentan, R601

tc: +139°C
To: +48°C



Niederdruckstufe

Ammoniak

Quelle
+30/+40°C
To +28°C
Quelle: WF
to +0°C

Variantengruppe 2N

Butan, R600
Isopentan, R601

tc: +139°C

Quelle
+30/+40°C
To +28°C
Quelle: WF
to +0°C

Variantengruppe 3H

HFO
R1233zd(E)
R1336mzz (Z)
R1224YDZ
R1234ZEZ

tc: +139°C

Quelle
+30/+40°C
To +28°C
Quelle: WF
to +0°C

Natürliche Kältemittel

HFO

Problemstellung: Kältemittel

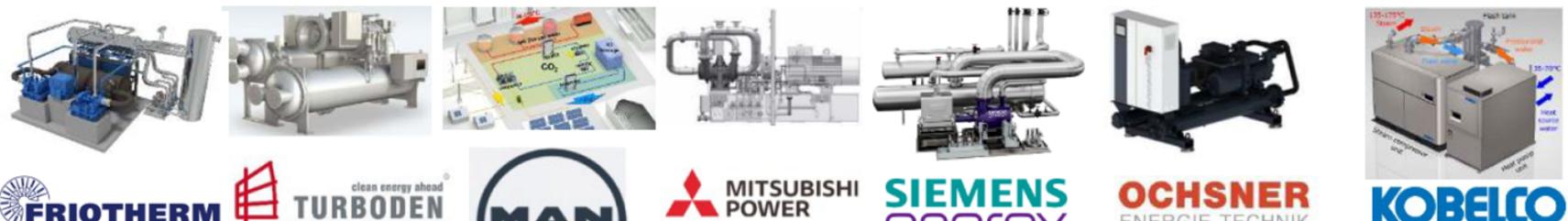
Rahmenbedingungen (Stand der Technik (Quelle: Hochschule OST, Institut für Energiesysteme))



zu grosser Hub
-> Wärme-Quelle

zu grosser Hub
-> Wärme-Quelle

Frioetherm (CH)	Turboden (IT)	MAN Energy Solutions (CH)	Mitsubishi MHPS (DE)	Siemens (DE)	Ochsner (AT)	Kobelco (JP)
FRIOTHERM Heat Pump	LHP30 LHP150	ETES	D-GWP	Large-scale	IWWDSS 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

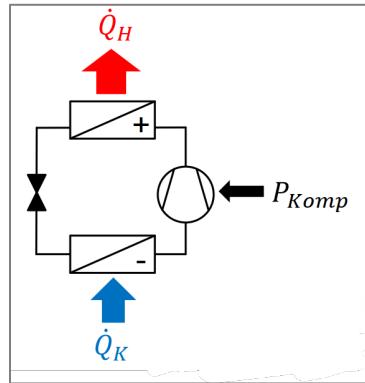


Erkenntnisse



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



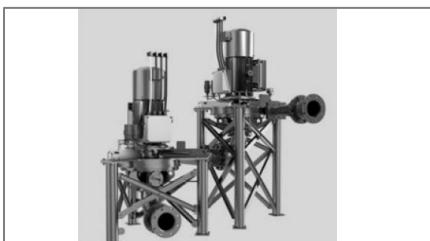
Kolben-Verdichter

- 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

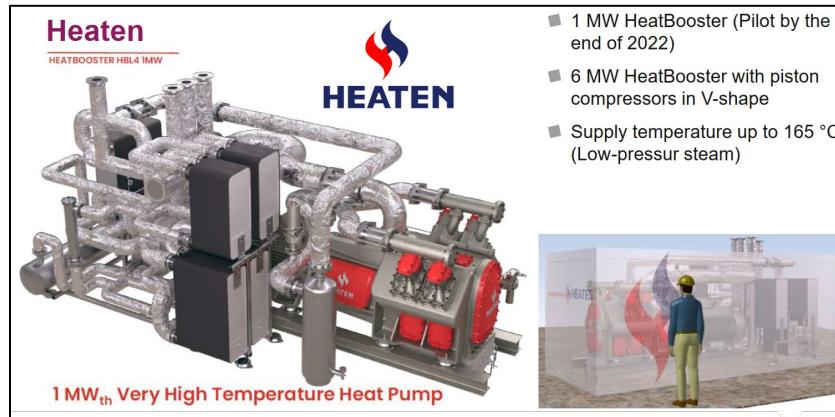
> 1 MW
nur geringe Unterdrücke zu hohen Überdrücken
1
Wasser (Zwischen -Einspritzung)
wie Verdichter mit Kältemittel

-> 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



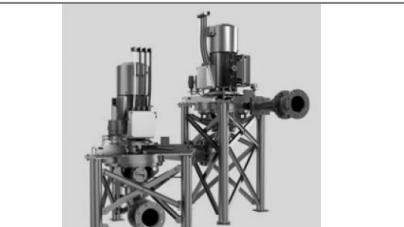
Kolben-Verdichter

- 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

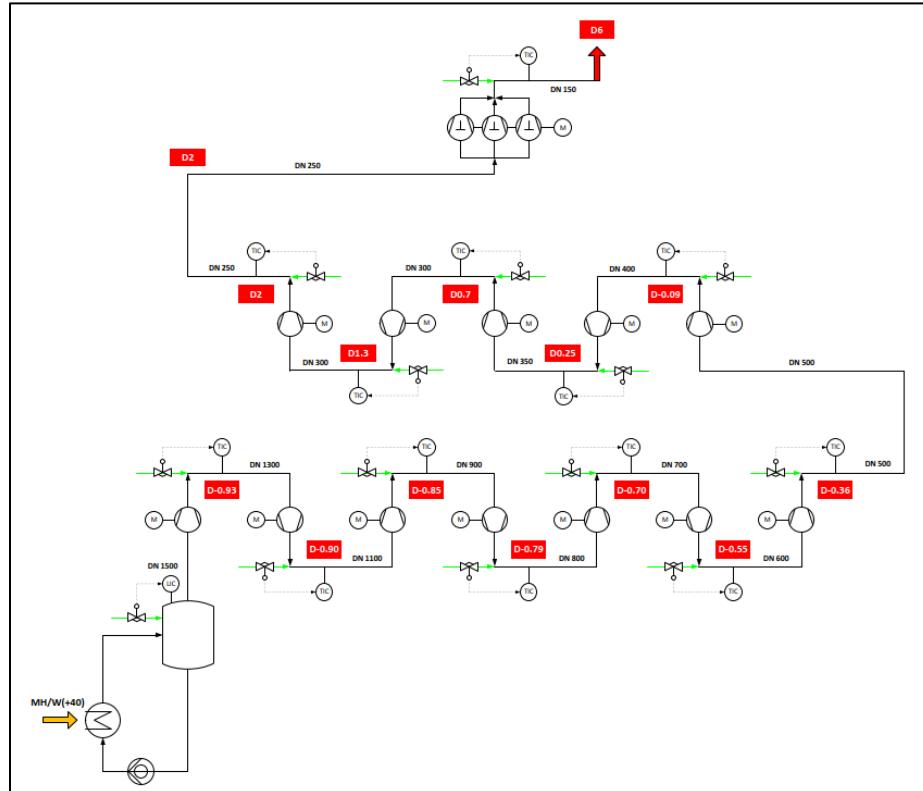
Problemstellung: Anlagendesign

	Wärmepumpe <ul style="list-style-type: none"> ■ Leistung ■ Kältemittel ■ Dampf ■ COP 	(Wettstein AG) <ul style="list-style-type: none"> 3 x 4.0 t/h Ammoniak - 0.70 bar g / 70°C 4.95
	Brüdenkompression <ul style="list-style-type: none"> ■ Leistung ■ Stufen ■ Dampf ■ COP (3 x 516 kW) 	(Piller) <ul style="list-style-type: none"> 3 x 4.6 t/h 7 2 bar g / 135°C 4.45
	Brüdenkompression <ul style="list-style-type: none"> ■ Leistung ■ Stufen ■ Dampf ■ COP (2 x 285 kW) 	(Spilling) <ul style="list-style-type: none"> 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: Brüdenkompression

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

Sektorenkopplung/Optimierung des Gesamtsystems



104%



100%

elektrischer Dampf -Erzeuger



Dampf

100%



171%



103%

Dampf-Erzeuger mit H₂



100%



57%



55%



100%

Doing now what patients need next