

# Netzwerktreffen Kälteeffizienz NH<sub>3</sub> Großwärmepumpen – Projekte und Potenziale in Schleswig-Holstein/ Hamburg

## Großwärmepumpen mit Ammoniak (NH<sub>3</sub>) Umsetzungen im Anlagenbau



- Kurzvorstellung Arctos Industriekälte
- Kopplung Wärmepumpen mit BHKW in Schleswig Holstein / Hamburg
- Wärmepumpen Auslegungsvarianten zur Studie Quartier Hafen Ost, Flensburg
- Kopplung Abwasser / Müllverbrennung - 40MW Heizleistung in Malmö / Schweden

# Arctos Industriekälte AG

2 Standorte in Schleswig Holstein:  
Sörup bei Flensburg und  
Braak bei Hamburg



Gründung 1. April 2006 / Umsatz 2022: ~40 Mio. €

2006: 15 Mitarbeiter => 2023: 135 Mitarbeiter (inkl. Azubis/Studenten)

Planung, Bau und Wartung von industriellen Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln

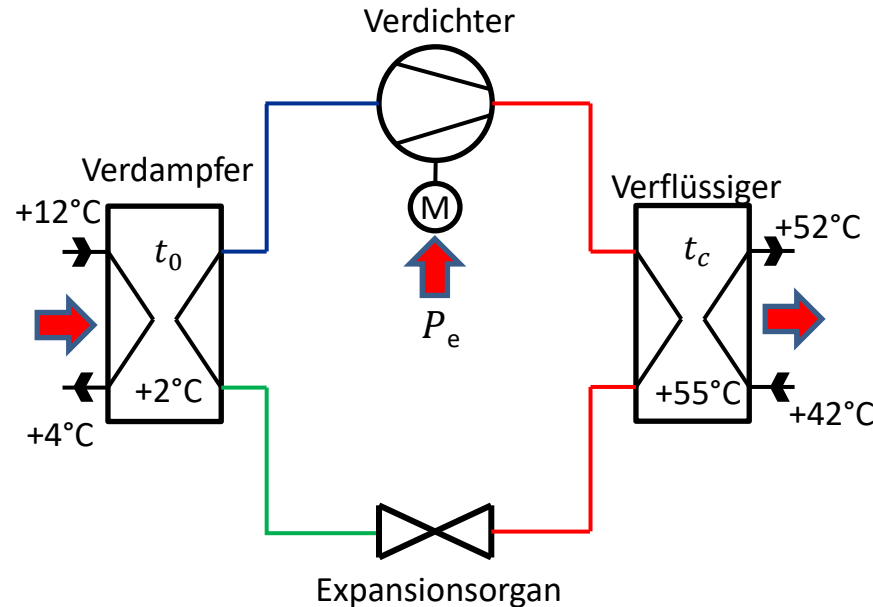
Bundesweites Servicenetz / Projekte in der EU / 50% Service und 50% Anlagenbau



# Anwendungen zur Wärmeerzeugung

**Wärmeaufnahme aus:**

- Erdreich
- Außenluft
- Meerwasser
- Kühlwasser
- Abwasser



**Wärmeabgabe für:**

- Heizung
- Warmwasser-  
erzeugung

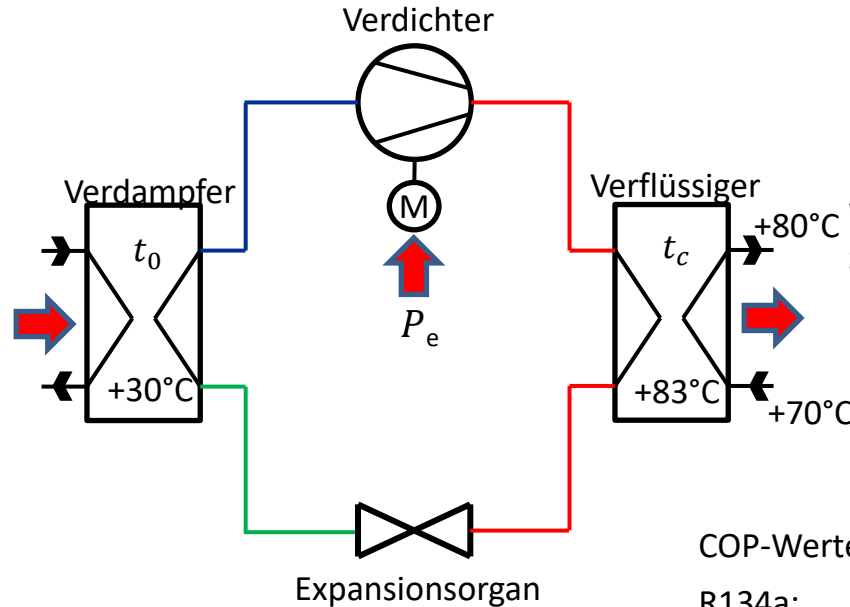
|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| COP-Werte:        | $\frac{\dot{Q}_K}{P_e}$ |
| R134a:            | 3,98                    |
| NH <sub>3</sub> : | 4,31                    |
| R600a:            | 4,04                    |



# Anwendungen zur gleichzeitigen Kühlung und Wärmeerzeugung

**Abwärmenutzung bei industriellen Prozessen:**

- Warme Abluft
- Ölkühlung
- Kondensation bei Kälteanlagen



**Wärmeabgabe zum Heizen**

- Warmwassererzeugung
- Fernwärme

COP-Werte:  $\frac{\dot{Q}_K}{P_e}$

|                   |      |
|-------------------|------|
| R134a:            | 3,71 |
| NH <sub>3</sub> : | 4,53 |
| R600a:            | 4,06 |



# $COP_h$ -Vergleich von Kältemitteln

$$COP_h = \frac{\dot{Q}_K}{P_e}$$

Beispiel:  $t_0 = +2^\circ\text{C} / t_k = +55^\circ\text{C}$

|         | $\text{NH}_3$ | R134a | R600a |
|---------|---------------|-------|-------|
| $COP_h$ | 4,31          | 3,98  | 4,04  |

Beispiel:  $t_0 = +30^\circ\text{C} / t_k = +83^\circ\text{C}$

|         | $\text{NH}_3$ | R134a | R600a |
|---------|---------------|-------|-------|
| $COP_h$ | 4,53          | 3,71  | 4,06  |

Annahme von  $\eta_{isentrop} = 0,8$

# Wie wird geregelt?



NH<sub>3</sub> -  
Kolbenverdichter:  
bis 1000 m<sup>3</sup>/h Fördervolumen

- Zylinderabschaltung ( z. B. gestuft: 25/50/75/100%)
- Drehzahlregelung durch Frequenzumformer (stufenlos)

NH<sub>3</sub>-  
Schraubenverdichter:  
ab 250 m<sup>3</sup>/h –  
7000 m<sup>3</sup>/h Fördervolumen

- Leistungsschieberregelung (15-100%)
- Drehzahlregelung durch Frequenzumformer (stufenlos)



# Wie sind Quelle und Senke zu bewerten ?

- Quelle:**
- Verfügbarkeit und Leistungsreserve der Quelle muss garantiert sein
  - Temperaturprofil und Spreizung über 3 Jahre muss vorliegen
  - Verschmutzungscharakteristik und Materialauswahl muss garantiert sein
  - Genehmigung zur Nutzung muss behördlich vorliegen
  - Kosten der Quelle sind zu analysieren

- Senke:**
- Verfügbarkeit und Leistungsbedarf der Quelle muss geklärt sein
  - Temperaturbedarf und Spreizung über 3 Jahre muss vorliegen
  - Verschmutzungscharakteristik und Materialauswahl muss garantiert sein
  - Genehmigung zur Nutzung muss behördlich vorliegen
  - Kosten der Senke sind zu analysieren
  - Die Auslegung von Verdampfungstemperatur und Kondensationstemperatur bestimmt gravierend die Wirtschaftlichkeit



# Wie sind NH<sub>3</sub>- Betriebserfahrungen?



## Kolbenverdichter:

bis 1000 m<sup>3</sup>/h Fördervolumen

- Zylinderabschaltung (z. B. gestuft: 25/50/75/100%) teilweise schwierig
- Drehzahlregelung durch Frequenzumformer (stufenlos) bessere Lösung

**Verdichter zum Bau von individuellen Anlagen verfügbar GEA / SABROE**

**vorgefertigte Units mit Kolbenverdichtern verfügbar**

**Im Prinzip laufen die Anlagen wenn alles stimmt**

## Schraubenverdichter:

ab 250 m<sup>3</sup>/h Fördervolumen

- Leistungsschieberregelung (15-100%) → Teillastverhalten unter 50% schlecht
- Drehzahlregelung durch Frequenzumformer (stufenlos) bessere Lösung

**Verdichter zum Bau von individuellen Anlagen verfügbar GEA / SABROE**

**vorgefertigte Units mit Kolbenverdichtern verfügbar**

**Im Prinzip laufen die Anlagen wenn alles stimmt, allerdings ist Betrieb außerhalb der häufig sehr engen Anwendungsgrenzen teilweise schwierig**



# Anforderungen an NH<sub>3</sub>-Wärmepumpen und Maschinenräume

- Drücke bis 63 bar verfügbar
- Temperaturen bis ca. 160°C hinter dem Verdichter
- Stahl- bzw. Edelstahlverrohrung

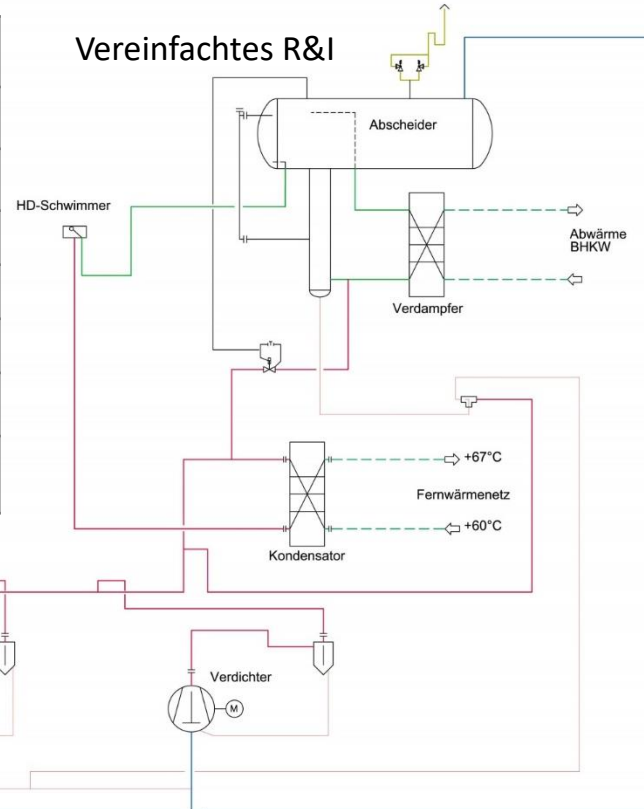
## **Anforderung an mögl. separaten NH<sub>3</sub>-Maschinenraum**

- Gaswarnanlage
- PH-Messung an Sekundärkreisläufen
- Zuluft- / Abluftsystem, konstant geregelte Raumtemperatur
- F90, sonstige Auflagen beachten
- Schaltanlagen möglichst separat aufgestellt
- Schallschutzmaßnahmen beachten
- Behördliche Auflagen vorab prüfen / ZÜS einbeziehen

# Projektbeispiel Abwärmenutzung BHKW

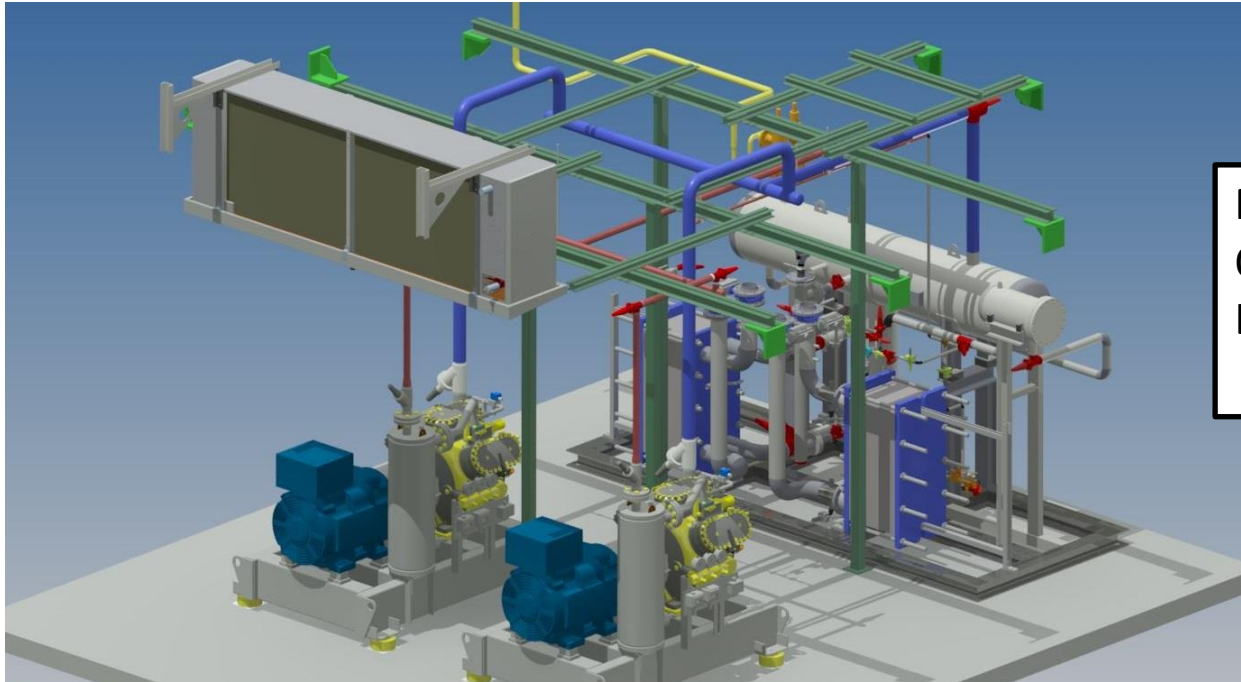


|                                      |                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Kältemittel                          | Ammoniak (NH <sub>3</sub> , R717) |
| Verdampfungstemperatur               | +26°C                             |
| Kondensationstemperatur              | +72°C                             |
| Kondensationsleistung Q <sub>c</sub> | 839 kW                            |
| Max. Betriebsdruck                   | 25 bar (ND) / 40 bar (HD)         |
| COP <sub>H</sub>                     | größer 5                          |
| Verdichterfabrikat                   | GEA Grasso                        |
| Verdichtertyp                        | 2 Kolbenverdichter HP65           |



Quelle:  
Arctos Jobreport Industrierärmepumpen

# Projektbeispiel Abwärmenutzung BHKW

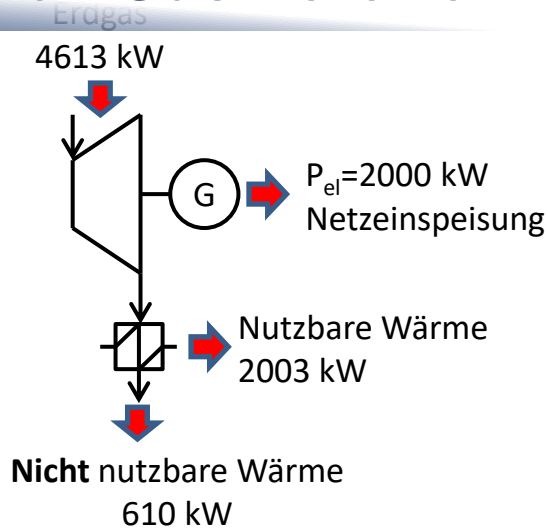


Maschinenraum  
 $Q_{\text{Heiz}}$ : 800 kW  
LxBxH: 7 x 5 x 3,5 m

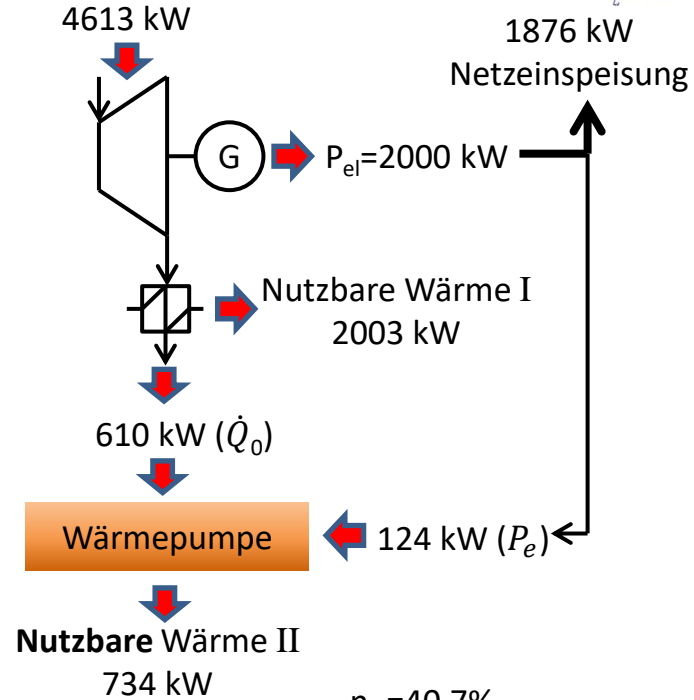
3D-Aufstellung



# Vergleich Gasmotor ohne und mit WP

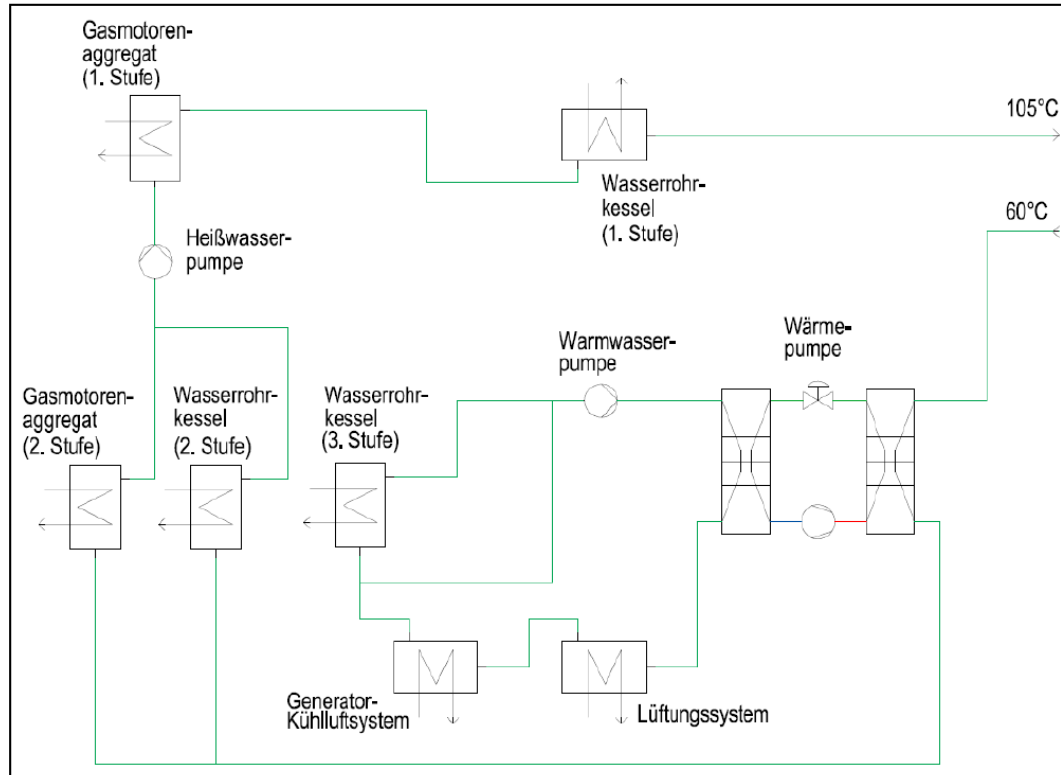


$\eta_{el}=43,4\%$   
 $\eta_{th}=43,4\%$   
 => ca. 87% gesamt



$\eta_{el}=40,7\%$   
 $\eta_{th}=59,3\%$   
 => ca. 100% gesamt

# Einbindung in weitere Wärmetauscher



# Flensburg Hafenquartier Ost



- Planungsstudie 2020 im Rahmen einer Bachelor-Thesis Hochschule Flensburg
- Untersuchung von Fördewasser und Klärwerk-Abwasser als Wärmequelle
- Wärmesenke Heizwasser 80°C oder Tertiärnetz 55°C Vorlauftemperatur
- Wärmebedarf ca. 14,9MW/a, davon 8,4 MW/a Wärmepumpenanteil
- Ausarbeitung verschiedener Auslegungsvarianten:
  - 1-stufig / 2-stufige Wärmepumpen mit verschiedenen Betriebspunkten
  - Einzelaggregate oder Aufteilung auf kleinere Einheiten mit höherer Effizienz im Teillastbetrieb
  - Niederspannungsmotore mit Frequenzregelung vs. Mittelspannung 10kV

# Hafenquartier Ost: Einstufiges Konzept – 55°C Vorlauf



|                                      |                   |                                    |       |       |
|--------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------|-------|
| Wärmeleistung (ges.)                 | kw                | 7804                               | 12878 | 10562 |
| Anzahl Units                         | Stk.              | 2                                  |       |       |
| Wärmequelle                          | --                | Kläranlagenabwasser                |       |       |
| Wärmequelle Temp. ein min/max/mittel | °C                | 7,9                                | 21,6  | 15,0  |
| Wärmequelle Temp. aus min/max/mittel | °C                | 2,2                                | 19,7  | 12,5  |
| Wärmequelle Volumenstrom             | m <sup>3</sup> /h | 454                                | 2514  | 1500  |
| Wärmesenke                           | --                | Sekundärfernwärmenetz (Reinwasser) |       |       |
| Wärmesenke Temperatur ein            | °C                | 35,0                               |       |       |
| Wärmesenke Temperatur aus            | °C                | 55,0                               |       |       |
| Wärmesenke Volumenstrom              | m <sup>3</sup> /h | 168                                | 277   | 227   |
| Verdichter 1 (Niederdruckstufe)      | --                | --                                 |       |       |
| Verdichter 2 (Hochdruckstufe)        | --                | XAR-XA2655T-28                     |       |       |
| Kältemittel                          | --                | R717                               |       |       |
| Designdruck                          | bar               | 28                                 |       |       |
| Betriebspunkt                        | --                | 1)                                 | 2)    | 3)    |
| Drehzahl                             | 1/min             | 2950                               |       |       |
| Verdampfung                          | °C                | -0,8                               | 16,7  | 9,5   |
| Kondensation                         | °C                | 54,0                               | 55,5  | 55,0  |
| Überhitzung (Sauggas)                | K                 | 0,0                                | 0,0   | 0,0   |
| Unterkühlung (ext.)                  | K                 | 15,0                               | 15,0  | 15,0  |
| Heiz-COP (Welle)                     | --                | 4,37                               | 6,39  | 5,47  |

NH3 – Wärmepumpen anhand aktueller Beispiele im Zuge der Energiewende,  
Kai Selmer, ARCTOS Industriekälte AG



# Hafenquartier Ost: Zweistufiges Konzept – 80°C Vorlauf



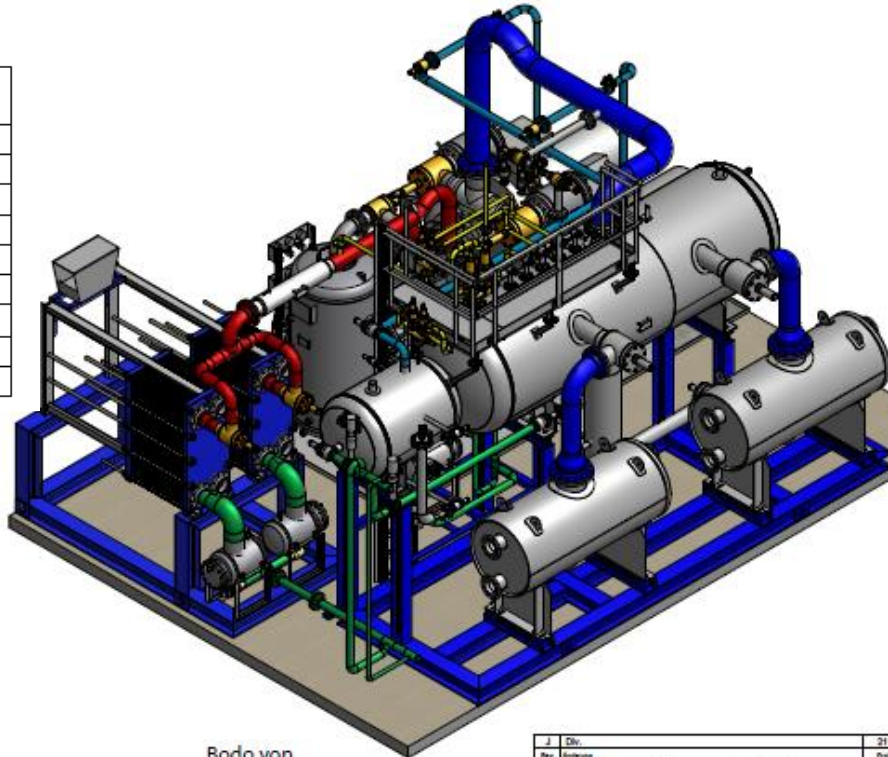
|                                      |                   |                                    |      |      |
|--------------------------------------|-------------------|------------------------------------|------|------|
| Wärmeleistung (ges.)                 | kw                | 7936                               | 8662 | 8674 |
| Anzahl Units                         | Stk.              | 2                                  |      |      |
| Wärmequelle                          | --                | Kläranlagenabwasser                |      |      |
| Wärmequelle Temp. ein min/max/mittel | °C                | 7,9                                | 21,6 | 15,0 |
| Wärmequelle Temp. aus min/max/mittel | °C                | 2,8                                | 20,5 | 13,3 |
| Wärmequelle Volumenstrom             | m <sup>3</sup> /h | 454                                | 2514 | 1500 |
| Wärmesenke                           | --                | Sekundärfernwärmenetz (Reinwasser) |      |      |
| Wärmesenke Temperatur ein            | °C                | 55,0                               |      |      |
| Wärmesenke Temperatur aus            | °C                | 80,0                               |      |      |
| Wärmesenke Volumenstrom              | m <sup>3</sup> /h | 136                                | 149  | 149  |
| Verdichter 1 (Niederdruckstufe)      | --                | ZR-Z22E-52                         |      |      |
| Verdichter 2 (Hochdruckstufe)        | --                | VR-T23T-52                         |      |      |
| Kältemittel                          | --                | R717                               |      |      |
| Designndruck                         | bar               | 52                                 |      |      |
| Betriebspunkt                        | --                | 1)                                 | 2)   | 3)   |
| Drehzahl                             | 1/min             | 2950                               |      |      |
| Verdampfung                          | °C                | 0,3                                | 17,9 | 10,1 |
| Kondensation                         | °C                | 80,0                               | 80,5 | 80,5 |
| Überhitzung (Sauggas)                | K                 | 0,0                                | 0,0  | 0,0  |
| Unterkühlung (ext.)                  | K                 | 20,0                               | 20,0 | 20,0 |
| Heiz-COP (Welle)                     | --                | 3,07                               | 3,54 | 3,38 |



# Beispiel Wärmepumpe Schraubenverdichter

## Heizleistung 3,7 MW

|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| Compressor:                | 2 x<br>PR-P36H-52 |
| Kältemittel:               | Ammoniak          |
| revolving speed [rpm]      | 3600              |
| evaporation temp. [°C]:    | 15                |
| condensing temp [°C]:      | 78                |
| sub-cooling [°C]:          | 22                |
| oil in (oil cooler) [°C]:  | 105               |
| oil out (oil cooler) [°C]: | 80                |



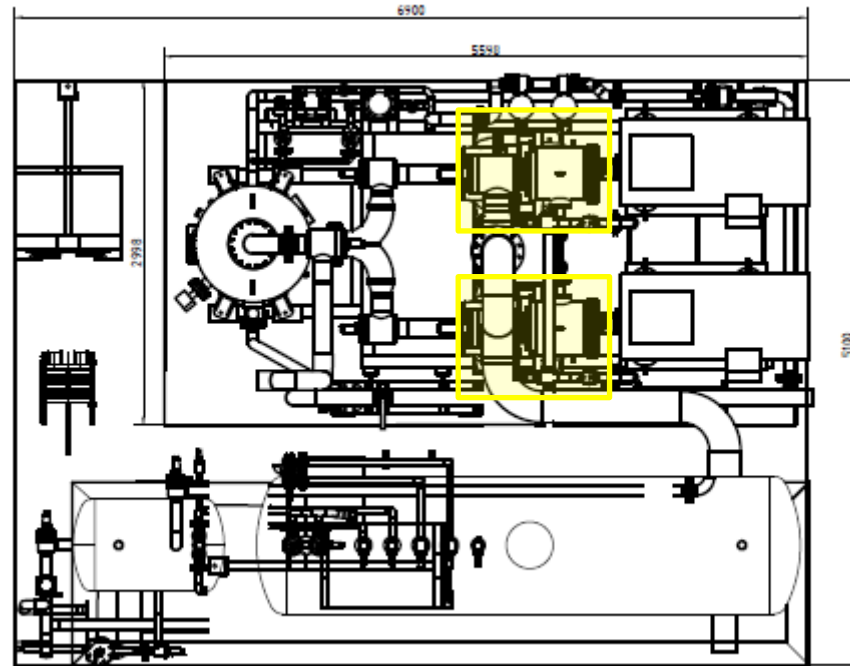
footprint l x w x h:  
8,5 m x 6,2 m x 4,8 m

| <i>Capacities</i>  | [kW]  |
|--------------------|-------|
| subcooler          | 320   |
| condenser          | 2914  |
| oil cooler         | 476   |
| desuperheater      | 0     |
| cooling capacity   | 2680  |
| <i>Pel:</i>        | 2x514 |
| $\Sigma$ [kW heat] | 3710  |
| <i>COP</i>         | 3,61  |

Bodo von

|                  |       |            |
|------------------|-------|------------|
| J. Div.          | 21102 | 16.10.2015 |
| Rev. Engineering |       | Datum      |
| Issued           |       | revised    |

# Duo-Schraubenverdichter mit Frequenzregelung



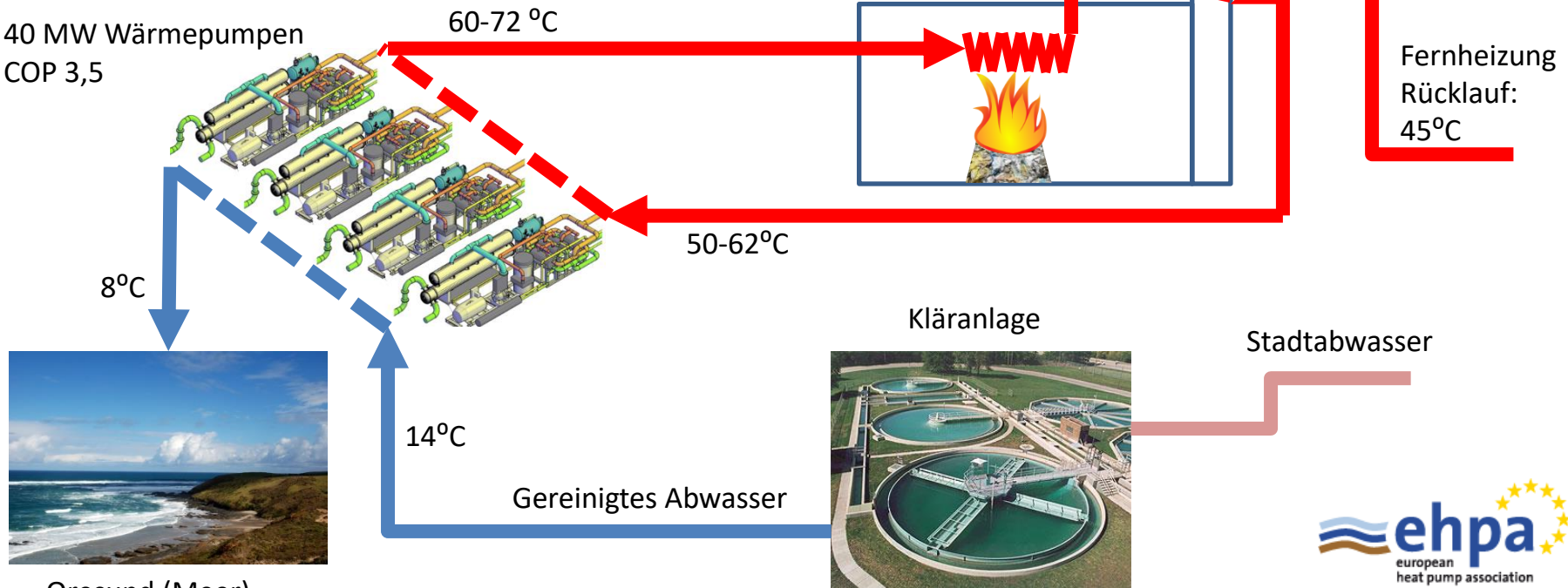
# Beispiel Malmö 40 MW



Kooperation :

- VA Syd Kläranlage
- SYSAV Müllverbrennungsanlage
- E.ON / GEA Grasso Wärmepumpenanlage KWK

40 MW Wärmepumpen  
COP 3,5



Oresund (Meer)



# Grundaggregat GEA, 10 MW, unverrohrt





# WP Installation vor Inbetriebnahme



# Grunddaten Malmö WP



4 Wärmepumpen, Gesamtleistung 40 MW Wärme.

COP : 3,5

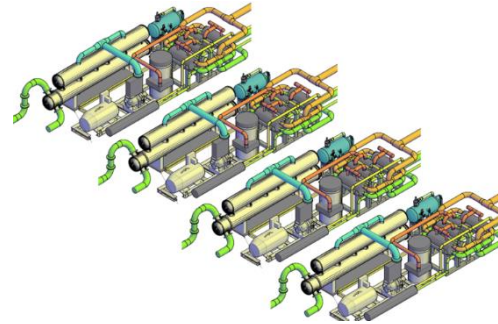
Standort: VA Syd Kläranlage Sjölunda, Malmö, Schweden

Sommermonate 200 GWh/Jahr, 8 % des jährlichen Wärmebedarfs Malmö

50 000 Tonnen weniger CO<sub>2</sub> pro Jahr, es wird erneuerbarer Strom verwendet

Abwärme wird aus gereinigtem Abwasser entnommen, das um 6 Grad gekühlt wird  
Abgehendes Heizwasser wird in einer Müllverbrennungsanlage weiter erhitzt  
Wärmepumpen können während der Stromspitzenlast abgeschaltet werden, um das Stromnetz effizient zu nutzen. In diesem Fall wird die Wärme stattdessen in anderen Heizwerken erzeugt.

Vollastproduktion von Oktober bis April. Teillast während der Schneller Start und Stopp. Investition ca. 200 MSEK (20 Mio €)



# Vielen Dank!



## Kai Selmer

Diplom-Ingenieur/öffentl. best. u. vereidigter SV für Kältetechnik/WP

Vorstand

Arctos Industriekälte AG

Schulstraße 33

D-24966 Sörup

[kai.selmer@arctos-ag.com](mailto:kai.selmer@arctos-ag.com)

Phone: +49 4635 29282-124

Mobile: +49 157 73518831

<http://www.arctos-ag.com>

Weitere Beispiele zur Arctos und ihren Leistungen und Produkten finden Sie unter:

<https://www.arctos-ag.com/infos/job-reports/>

Amtsgericht Flensburg HRB 5695 FL

Vorsitzender des Aufsichtsrates: Dieter Jacobs

Vorstand: Kai Selmer(Vors.), Sönke Reebschläger

Steuernummer 15 295 29314

Ust-ID: DE 814 661 454

