

Johnson Controls Systems & Service



Natürliche Kältemittel – Optimierte „Großkälte“

Vortrag Patriotische Gesellschaft Hamburg, 29.Sept 09
Dipl.-Ing. Jan H. Engeland



Leistungsfähigste Produktpalette aller Anbieter weltweit



Kälteanlagenbau und - service: Industrieniveau / Alle Systeme / alle Kältemittel + 100°C / -100°C



Kaltwassersysteme



Absorbtionskältesätze



Aggregate-
und
Anlagenbau



Turbokompressoren



Schraubenverdichter



Kolbenverdichter



VRF- / Fluid- Klimasysteme



Bedeutung der Kälteerzeugung

– Einsatzgebiete



Fleischindustrie

- Anwendungen in der Fleischverarbeitung
- Lagerhaltung und Transport
- Hohe Hygiene-Anforderungen
- Geregelter Umgebungstemperatur



Lebensmittel-, Getränkeindustrie und Brauereien

- Präzise Temperatursteuerung
- Fermentation / Keimung
- Raumklimatisierung
- Lagerung



Milchindustrie

- Anwendungen in der Milchverarbeitung
- Hochspezialisierte Produktionsphasen
- Reibungslose Produktionsprozesse



Sportstättenbau & Eisbahnen

- Kundenspezifische Anwendungen
- Betriebsüberwachung
- Pisteaufbau, Bandenanlage
- Spielfeldausstattungen



Produktion- & Prozessindustrie

- Systeme für Petro- / Chemische Industrie
- Farbstoffe, Kunststoffe und Fasern
- Höchstmögliche Sicherheit und Präzision



Logistik: Kühl & Zentralläger

- Lagermethoden / -systeme
- Schrauben-/Kolbenverdichter
- Fallendes Luftsystem
- Zwangsumwälzung
- Betriebsüberwachung



Umweltsimulation / Klima

- Anwendungen für Wissenschaft und Automobilindustrie
- Klima- und Kältekammern
- Burnin-Kammern, Mini-Sheds, VT-Sheds.



Wärme-Kälte-Kopplung

- Sole-Kühlung
- CO2 Technologie
- Erdgas Kühlung
- Bodengefrierung
- YPS
- Seefahrt / Marine

Grundlagen der Kälteerzeugung

Prinzip: In Kälteanlage verdichtetes Kältemittel verdampft und entzieht dem Kälteträger Wärme
Abgabe der aufgenommenen Wärme in Verflüssiger an Umgebung

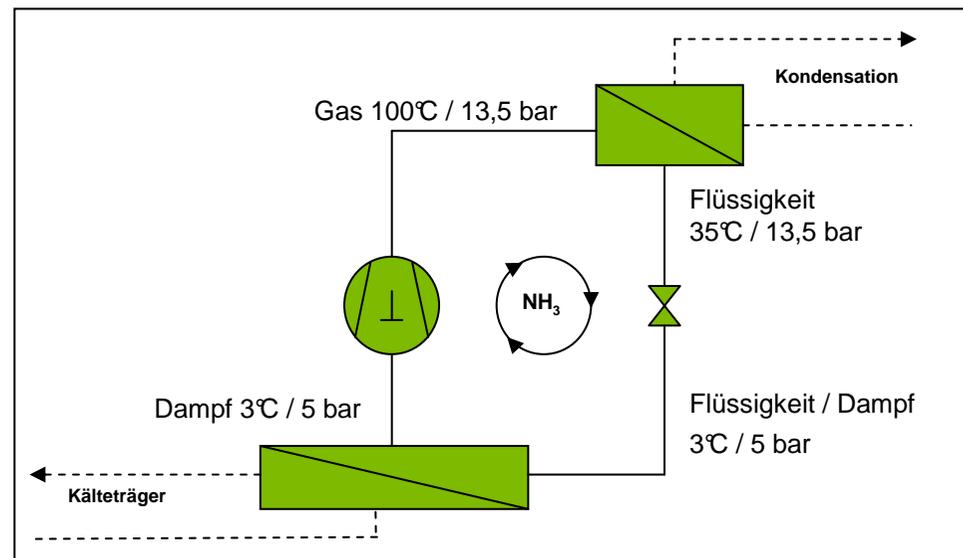
Bauteile: Kälteanlage mit Verdichter, Drossel, Verdampfer, Verflüssiger (Luft- oder Wassergekühlt)

Verdichter – Bauarten:

Kolbenverdichter (Wartungsintensiv)

Schraubenverdichter (Achten auf Teillast)

Turboverdichter (Wartungsarm)



Kältemittel

Unterschied Kältemittel – Kälte­träger:

Ein Kältemittel verdampft unter Wärmeaufnahme (R 22 / Ammoniak / R 134a / R 718(Wasser))

Ein Kälte­träger erwärmt sich (Sole / R 718)

Treibhauseffekt (GWP) ausgewählter Kältemittel:

Name	Einsatz	Treibhauspotential pro Kg Kältemittel
R 717 - Ammoniak	Alle Bereiche, kein Buntmetall, kaum Turbo	---
R 507A	Industrielle Kühlung < 0°C, Kaskaden	3.300 kg CO ₂
R 404a	Industrielle Kühlung < 0°C	3.260 kg CO ₂
R 410A	Industrielle Kühlung < - 20°C / Komfortklima	1.720 kg CO ₂
R 134a	Klima, Turbo	1.300 kg CO ₂

Seit 2007 gilt: Dichtheitskontrollen für Anlagen mit F – Gasen

Anlagen > 30 kg Füllung: Halbjährlich
> 300 kg Füllung: Vierteljährlich

Umweltbetrachtung – was ist umweltfreundlich ?

Bewertung Umweltverträglichkeit: Beispiel Kaltwasseranlage 1.000 kW

Eine Quantifizierung soll erfolgen durch Berechnung des „TEWI – Faktors“ (aus Bitzer- Kältemittelreport 2008):

TEWI = TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times m [1 - \alpha_{\text{recovery}}]) + (n \times E_{\text{annual}} \times \beta)$$

← Leakage → ← Rückgewinnungsverluste → ← Energiebedarf →
 ← direkter Treibhauseffekt → ← indirekter Treibhauseffekt →

GWP = Treibhauspotenzial [CO₂-Äquivalent]
 L = Leckrate pro Jahr [kg]
 n = Betriebszeit der Anlage [Jahre]
 m = Anlagenfüllgewicht [kg]
 α_{recovery} = Recycling-Factor
 E_{annual} = Energiebedarf pro Jahr [kWh]
 β = CO₂-Emission pro kWh (Energie-Mix)

Werte	Ammoniak	R 134a	R 404 A
GWP	0	1.300	3.260
Leckrate (kg) ⁽¹⁾	1%	1%	1 - 5 %
m Anlagenfüllung	80 kg	300 kg	80 kg
Recycling-Faktor ⁽¹⁾	75 %	75 %	75 %
Energiebedarf	500.000 kWh / Jahr	500.000 kWh / Jahr	650.000 kWh / Jahr
Lebensdauer Anlage ⁽¹⁾	15 Jahre		
Beta [kg CO ₂ /kWh] ⁽¹⁾	0,6		
TEWI	4.500.000 kg CO ₂	4.600.000 kg CO ₂	5.930.000 kg CO ₂

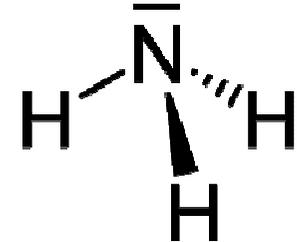
⁽¹⁾ Werte vorgegeben durch Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

Natürliche Kältemittel

Natürliche Kältemittel / Halogenfreie Kältemittel

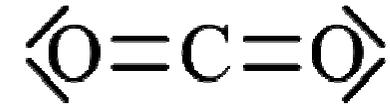
Kältemittel – natürlich: Ammoniak (R 717), Kohlendioxid (R 744)

Kältemittel – halogenfrei: Propylen (R 1270) – brennbar (Anlagen: EEx)



Universell einsetzbar ist vor allem Ammoniak / NH₃ (ab -60°C)

Sicher verfügbar: Als Kältemittel seit 1876 (von Linde)



Nachteile – NH₃:

Gesundheitsschädlich, brennbar, wassergefährdend (Zellgift),

Keine Buntmetalle verwendbar (d.h. Stahl => Anlagen sind teurer)

Ab 3.000 kg Füllmenge auf Liegenschaft genehmigungspflichtig

Regelwerke:

Bundes Immissionsschutz Gesetz, EN 378, TRAS 110 i.a.

Fachfirma erforderlich – keine „normale“ Kälteanlage (Stahl – kein Kupfer)

Natürliche Kältemittel – Ammoniak

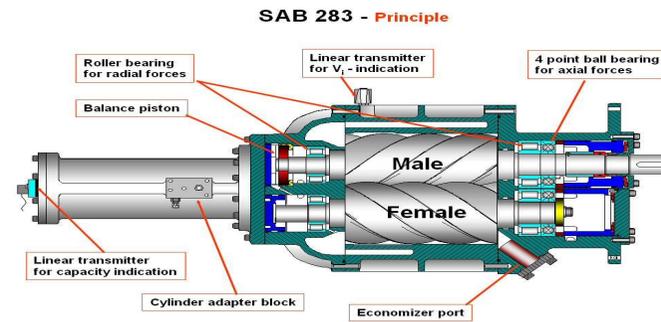
Vorteile – NH ₃ :	Sehr geruchsintensiv (weit vor Eintritt Gesundheitsschäden), Leckagen werden schnell offenbar, Sehr effizient über alle Temperaturbereiche (- 60°C / +20°C), Offene Anlagen sehr wirtschaftlich darstellbar (Effiziente Kälteverteilung), Wirklich umweltfreundlich ! Kein Treibhauspotential (GWP = 0 / CO ₂ – Äquivalent = 0), Brennbar nur in kleinem Konzentrationsbereich und dann nur mit Stützflamme
Investition:	Anlagen teurer durch Stahl Kleiner Anbieterkreis (Firmen und Planer) Ab 3.000 kg genehmigungspflichtig
Beispiel:	NH ₃ - Füllmenge für 1.000 kW – Anlage: 80 – 100 kg (je nach Hersteller)
Zukunft ?	Emissionshandel – Zertifikate / Einschränkung halogenierter Kohlenwasserstoffe

Unterschiede Aggregate F-Gase / NH₃

(Halb-)hermetische Anlagen: F-Gase



Offene Anlage: Ammoniak



Wirtschaftlichkeit

Einsparpotentiale an einer offenen Anlage:

Kälteverteilung durch NH₃ direkt mit Verdampferstationen (Durch Pumpe oder Hochdruckflüssigkeit)

Wassergekühlte Kondensation ⇔ luftgekühlte Kondensation (Prüfen einer Umstellung)

Vorschaltung einer Freien Kühlung

Beispiel Kälteverteilung (Grundlast !):

1.000 kW (Wasser 5 / 11°C): 140 m³/h

1.000 kW (NH₃ + 2°C): 5 m³/h

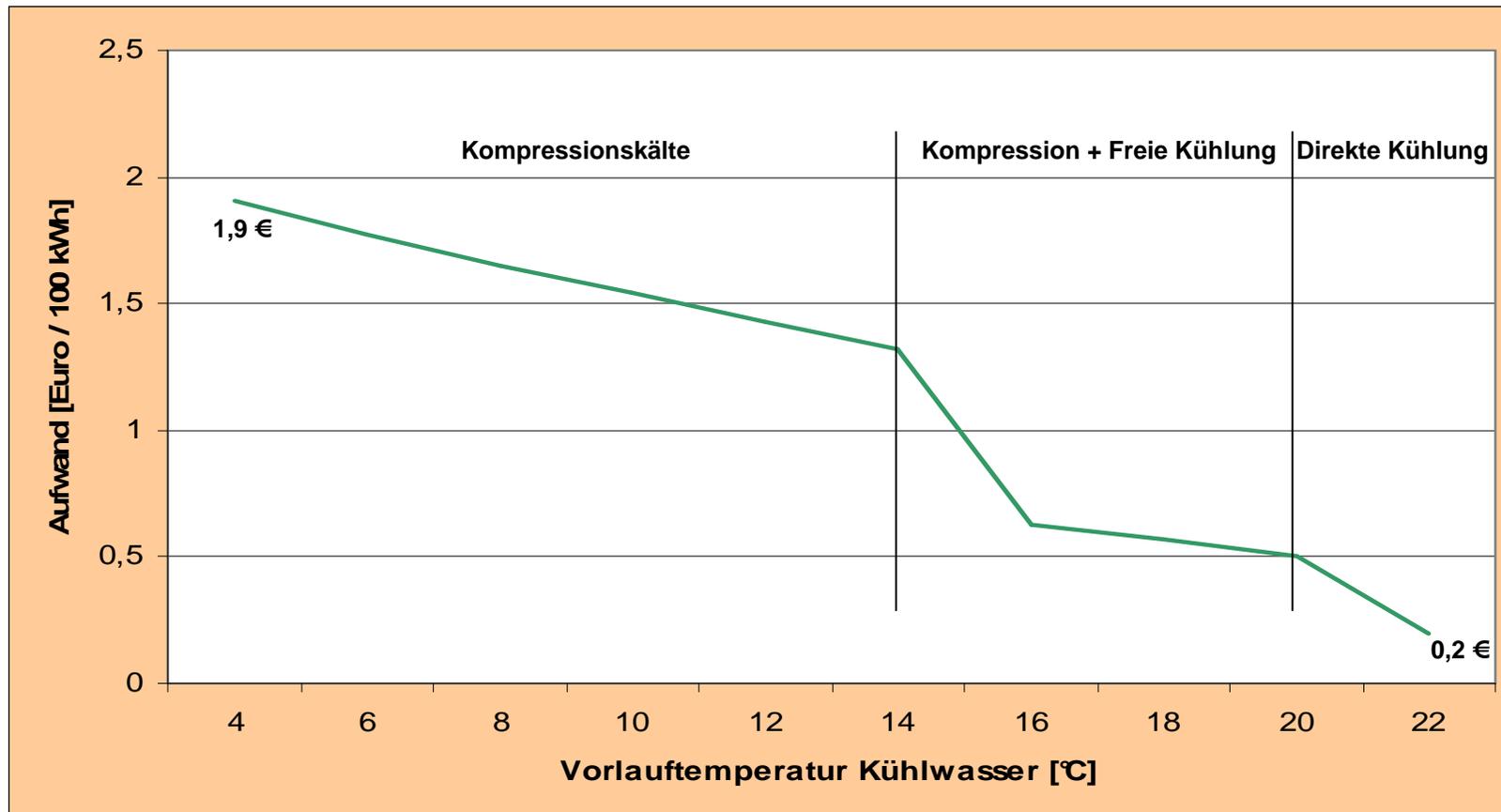


Kälteerzeugung: 1.000 kW (Wasser 11 / 5°C) – 140 m ³ /h	R 134 a	NH₃
Elektrizität (€ 0,1 / kWh)	150.000,--	100.000,--
Kühlwasser (€ 2,-- / m ³)	1.900.000,--	1.750.000,--
Abwasser (€ 4,-- / m ³)	1.250.000,--	1.200.000,--
Betriebsaufwendungen Gesamt für 6.000 h Vollast / Jahr	3.300.000,--	3.050.000,--
Investition Anlage	€ 80.000,--	€ 200.000,--

Spezifische Kosten zur Kühlwasserbereitstellung

(Elektrische Energie)

Je höher die Vorlauftemperatur, desto niedriger die Aufwendungen für Kälteerzeugung !



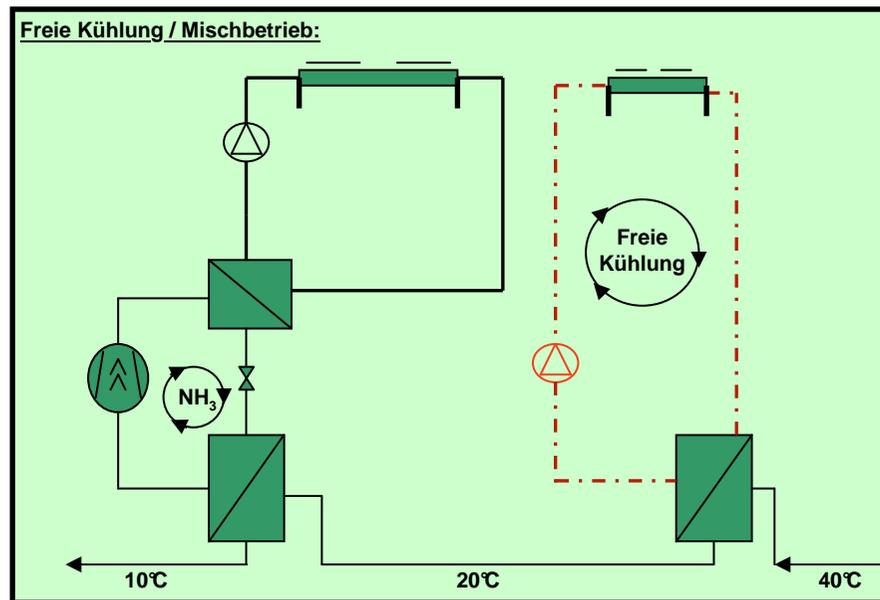
Übersicht / qualitativ von spezifischen Kosten zur Kühlwasserbereitstellung, abhängig von der Vorlauftemperatur

Steigerung der Effizienz – Freie Kühlung

Freie Kühlung / Erweiterte freie Kühlung (Mischbetrieb):

Prinzip: Bei kalten Außentemperaturen wird direkt gekühlt - ohne Einsatz von Kälteverdichtern
Annahme: Antrieb für Lüfter benötigen weniger Energie als Kompressorenantriebe

Bauarten: Kompletter Freikühlbetrieb / Mischbetrieb möglich, abhängig von Installationsaufwand



Je mehr Fläche installiert,
desto eher kann mit Außenluft
gekühlt werden.

Kostentreiber: Installationsaufwand für
Wärmeübertrager

Schema: Vorkühlen des heißen Rücklaufs,
dann Nachkühlen durch vorhandene Kälte

Steigerung der Effizienz

– Wärmepumpen

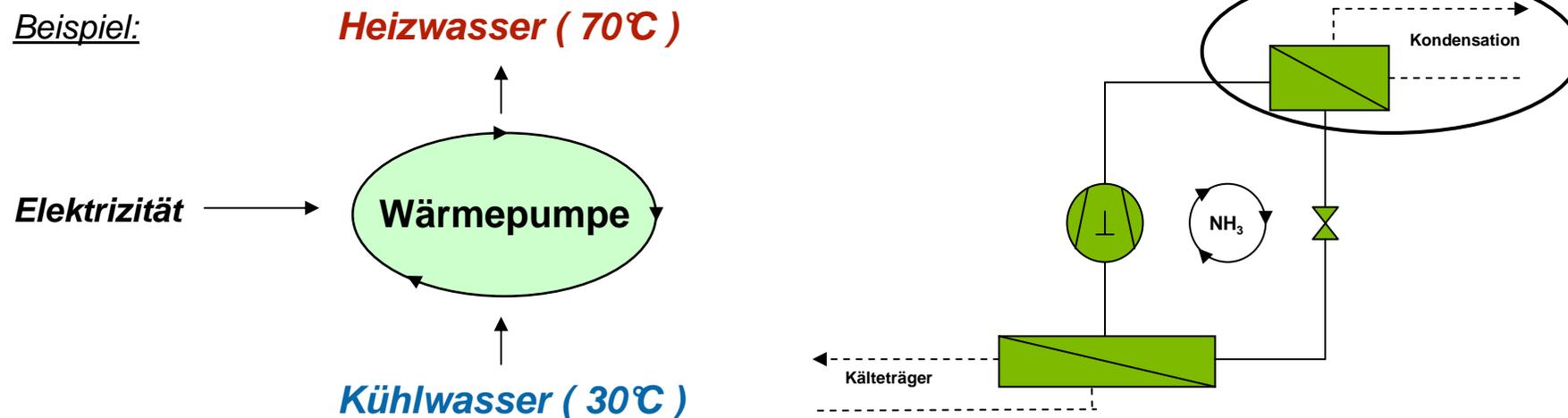
Wärmepumpen – z. B. für Büroklima / Lüftungsgeräte

- ⇒ Anheben des Temperaturniveaus eines Wärmeträgers (Luft / Wasser / Solen etc.)
- ⇒ Eine Wärmepumpe ist eine Kälteanlage (Verdampfer / Verdichter / Kondensator)
- ⇒ **Aufschaltung auf Kälteanlage**, Abwassernetz etc. machbar
- ⇒ Temperaturniveau von 30 – 100°C erreichbar



	Elektrische Heizung	Gasheizung	Wärmepumpe
Für € 0,1 erhält man	1 kWh _{th}	3,5 kWh _{th}	5 – 11 kWh _{th}

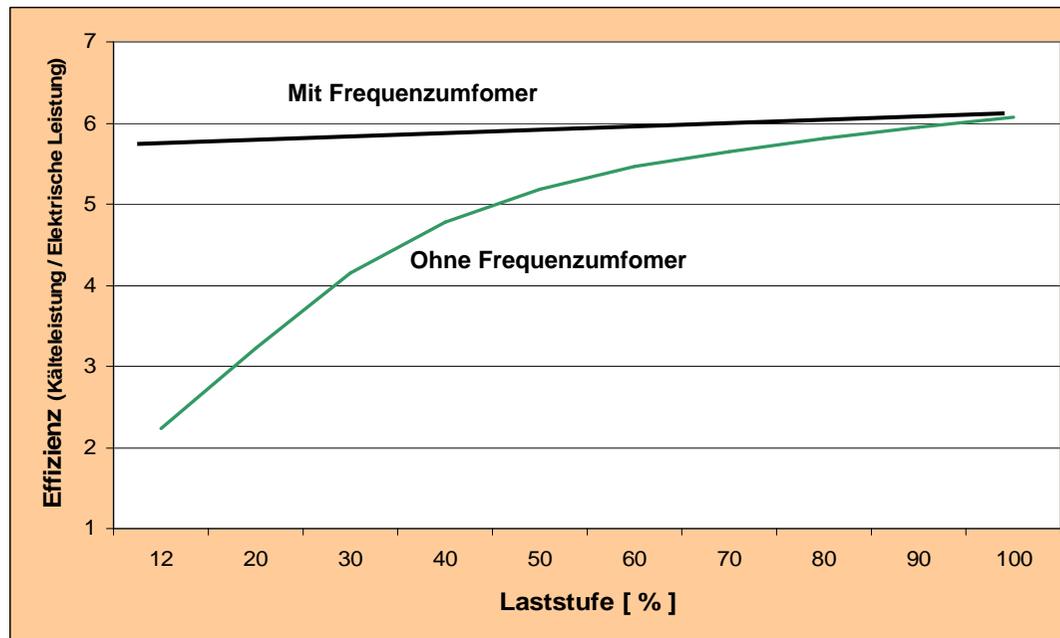
Beispiel:



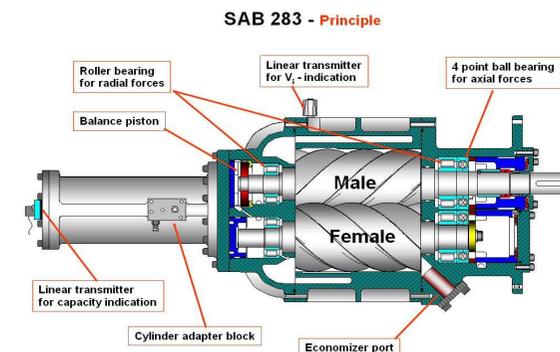
Steigerung der Effizienz – Verdichtertechnologie

Verdichter- / Antriebstechnologie:

- ⇒ Magnetgelagerte Antriebe für Kompressoren (Schraube und Turboverdichter)
- ⇒ Günstigere Wartungsaufwendungen durch (wartungsfreie) Lagerung
- ⇒ Frequenzumformer / Drehzahlregelung zur Lastanpassung
- ⇒ Steigerung der Wirtschaftlichkeit in Teillast



Teillastverhalten eines Schraubenverdichters mit FU und ohne FU (Leistungsschieber)



Steigerung der Effizienz

– Optimierung der Hydraulik / Kälteverteilung

Fehlerquellen: Laufende Erweiterungen / Änderungen am System

- ⇒ Pläne werden nicht nachgepflegt, dies verhindert qualifizierte Anpassung der Hydraulik
 - ⇒ Leistungen / Umbaumaßnahmen sind nicht dokumentiert
 - ⇒ Leitungen werden nicht gekennzeichnet
 - ⇒ System wird nicht neu hydraulisch ausgelegt / bewertet

 - ⇒ Pumpen werden zu groß ausgelegt (Unwirtschaftlicher Betriebspunkt)
 - ⇒ Abgleichen der Hydraulik durch Eindrosseln und Überströmen (Energieverschwendung)
 - ⇒ Leitungen werden zu klein dimensioniert (führt zu hohen Druckverlusten in langen Trassen)
 - ⇒ Fehlender hydraulischer Abgleich führt zu schwankenden Temperaturen in Netz, Verbrauchern und Kältemaschine
 - ⇒ Fehlende Isolierung / Schadhafte Isolierung von Leitungen und Bauteilen

 - ⇒ Fehlende Pufferung (Auslegung Hydraulik) führt zu starken / überflüssigen Lastwechseln an den Maschinen
 - ⇒ Fehlerhafte Steuerung führt Maschinen falsch

 - ⇒ Sauberkeit: Schmutz hemmt Wärmeübergang (Kältemaschinen verbrauchen mehr Elektrizität)
 - ⇒ Verstopfte Filter verursachen hohe Druckverluste, beeinflussen Hydraulik

 - ⇒ Nachrüstung von Maschinen ohne Anpassung Mastersteuerung

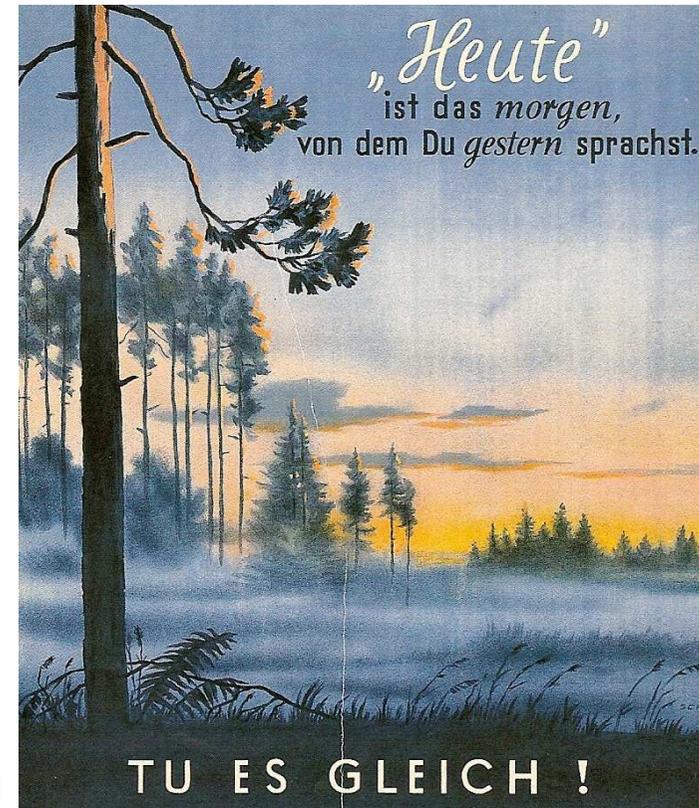
 - ⇒ Abklären / Anpassen von Lastprofilen der Verbraucher

 - ⇒ Kaltwasservorlauf zu kalt (jedes Grad wärmer spart Energie und Ressourcen)

 - ⇒ Offene Anlagen: Kälteverteilung mittels Kältemittel ?
-

Die ersten Schritte zur Optimierung

- (1.) Aufnahme Status Quo
- (2.) Hinzuziehen eines Planungsbüros
- (3.) Ableitung und Bewertung von Maßnahmen
- (4.) Erstellung Leistungsverzeichnis
- (5.) Ausschreibung
- (6.) Auswahl der Anbieter
- (7.) Durchführung
- (8.) Abnahme
- (9.) Überwachung der Ergebnisse und Wartung



Quelle: Museum der Arbeit / Hamburg

=> *Professionelle Dokumentation und Überwachung vermeiden Verschwendung !*

Johnson Controls Systems & Service GmbH



Dipl.-Ing. Jan H. Engeland

Merkurring 33-35

22143 Hamburg

Tel: 040 – 727 74 – 727 / Mobil: 0162 – 109 83 89

Jan.H.Engeland@jci.com