

Topmotors Merkblatt 27:

Effizient kühlen

„Kälteanlagen in der Industrie“

Petar Klingel
Impact Energy



Ziel & Zielpublikum

- Effiziente Kälteerzeugung (Planung / Optimierung)
- für technisch Interessierte
 - Anwender
 - Planer
 - Installateure
 - Energieberater

Merkblatt 27
Workshop-Version



Effizient kühlen Kälteanlagen in der Industrie

■ Die wichtigsten Fakten zu energieeffizienten Kälteverdichtern

Die fünf wichtigsten Punkte zur Systemoptimierung

- Kälteleistung auf tatsächlich erforderliches Niveau auslegen
- Tages-, Wochen- und Jahresgang des Kältebedarfs klären; Arbeitszahl optimieren
- Lastgeregelte Kälteerzeugung mit Frequenzumrichter prüfen
- Effizienteren Antriebsmotor (IE3 oder IE4) auf die tatsächlich erforderliche Last dimensionieren
- Geeigneten, effizienten Verdichter für die spezifische Anwendung auswählen

Ziel und Zielpublikum

Das Topmotors Merkblatt Nr. 27 thematisiert effiziente industrielle Kälteanlagen und Kälteverdichter. Es vermittelt technisch Interessierten (Anwendern, Planern, Installateuren, Energieberatern, etc.) Informationen zur effizienten Kälteerzeugung, das heisst die Planung von Neuanlagen sowie Knowhow bei der Optimierung von bestehenden Anlagen. Richtig dimensionierte und anwendungsorientiert geregelte Kälteanlagen erfüllen bei minimalem elektrischen Energieverbrauch alle Anforderungen des täglichen Betriebs und ermöglichen damit einen möglichst kostengünstigen Einsatz. Der Fokus dieses Merkblatts liegt auf der effizienten Erzeugung und Nutzung von Kälte in der Industrie. Kleinere Anwendungen (Haushaltskühl- und Gefriergeräte), Gewerbliche Kälteanlagen (z. B. Detailhandel) sowie Raumklimaanlagen werden nicht behandelt.



Energieverbrauch von Kältesystemen

Kälteanlagen haben mit 22% (8 TWh/a)¹ einen wesentlichen Anteil am Energieverbrauch der Motoren in der Schweiz. Sie gehören, neben Pumpen, Ventilatoren, Verdichtern (Druckluft), zu den grössten elektrischen Energieverbrauchern in der Industrie (Abbildung 1). Rund 40% der elektrischen Energie für Kälte wird im Haushalt und Gewerbe (Kühl- und Gefriergeräte, Raumkältegeräte) verwendet und weitere 40% im Dienstleistungsbereich (mittlere und grössere Kälteanlagen für Raumklimatisierung und Prozesse, z.B. in Rechenzentren), in der Industrie sind es 20%, die für Prozesskälte, z.B. im Nahrungsmittelbereich verwendet werden.

¹ BFE: Elektrizitätsbedarf für Kühlen in der Schweiz, Zürich 2012

Schweizerische Agentur für Energieeffizienz

SAF E

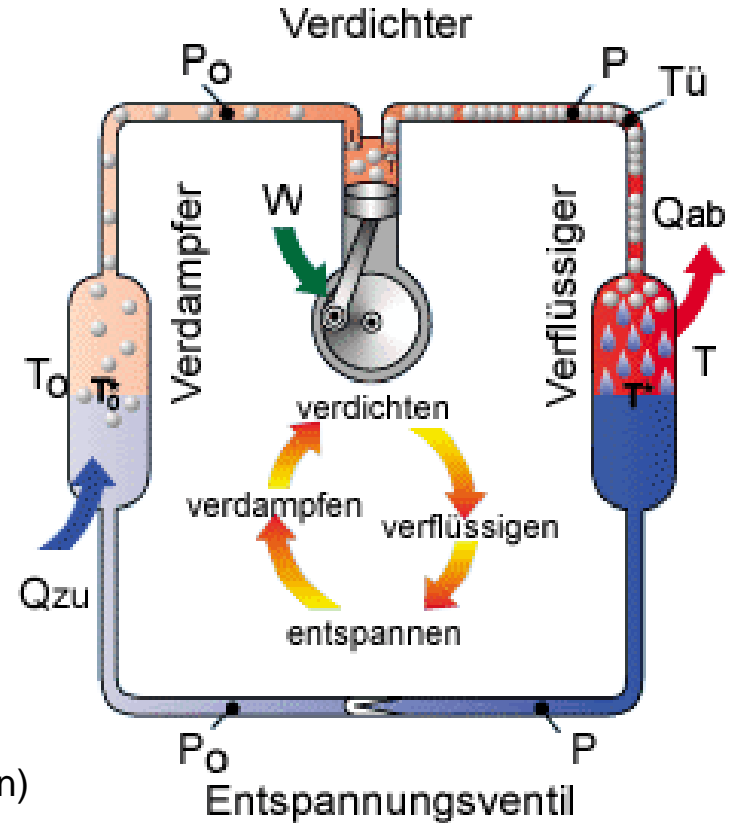
Merkblatt 27: Kälteanlagen in der Industrie | April 2017 | www.topmotors.ch | info@topmotors.ch

271

Grundlagen

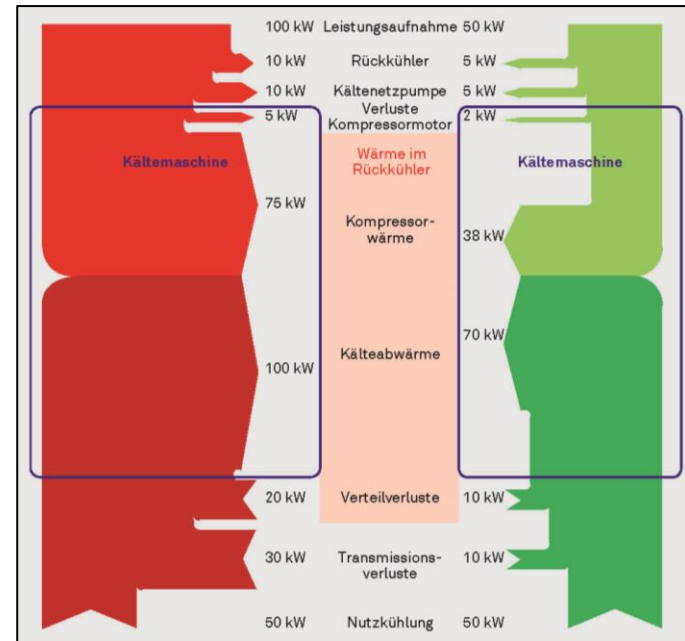
- Definitionen
Verfahren, Anwendungen
Was ist eine Kälteanlage?

- Funktionsprinzip
Kälteanlagen
 - Verdampfer
 - Verdichter
 - Verflüssiger (Kondensator)
 - Entspannungsventil (Expansionsorgan)



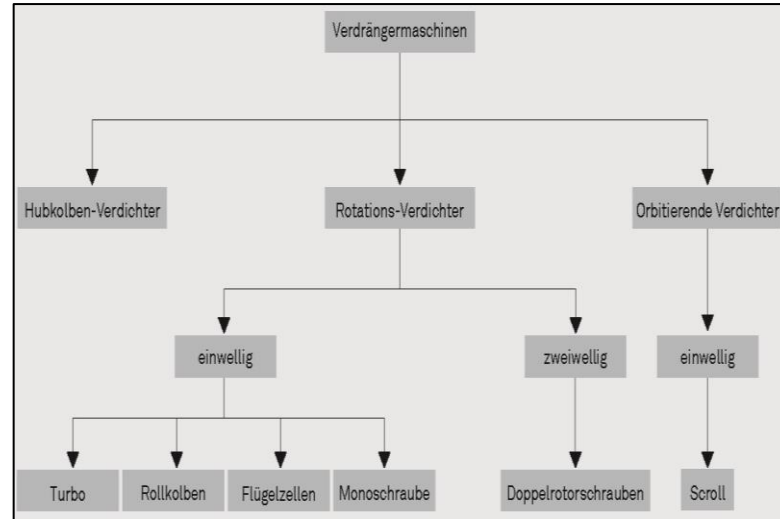
Verluste in Kälteanlagen

- Welche Verluste kann es geben?
- Wo können Verluste entstehen?
- Wie kann man Verluste vermeiden?
- Wie sieht eine optimale Anlage aus?



Kompressortechnologien

- Unterschiede Hardware / Bauarten
- Einsatzbereiche
- Vorteile / Nachteile



Kältemittel

- Treibhauseffekt: Berechnungsmethode für TEWI-Kennwerte

TEWI = TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT

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

Leckage + 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]

- Übersicht über die wichtigsten Kältemittel

Überblick über die wichtigsten Kältemittel	Kategorie	Kältemittel (Beispiel)	GWP	Stufenkühlpresse*	Bemerkungen
Niedertemperatur	FCM	R11	1	AI	Verbot für Neuanlagen, Weiterentwicklung/Erweiterungen sind inhomogen. Bei der Umstellung sind die Anlagen zu prüfen, da für weitere Betriebszeiten, aber nicht mehr weniger R11 werden. Für bestehende Anlagen sind mehr als 10 kg Kältemittel (Menge pro Jahr) (bzw. 10 kg) zu prüfen und für den Recycling zu entsorgen.
		R12	1	AI	
		R123 (Diamant)	1	AI	
		R113	1	AI	
Mitteltemperatur	Energieeffizient	R600	1	AI	Verbot für Neuanlagen, Weiterentwicklung/Erweiterungen sind inhomogen. Bei der Umstellung sind die Anlagen zu prüfen, da für weitere Betriebszeiten, aber nicht mehr weniger R600 werden. Für bestehende Anlagen sind mehr als 10 kg Kältemittel (Menge pro Jahr) (bzw. 10 kg) zu prüfen und für den Recycling zu entsorgen.
		R134a	1	AI	
		R125	1	AI	
		R125	1	AI	
Hochtemperatur	Energieeffizient	R22	1	AI	Neuanlagen, Erweiterungen sind inhomogen. Bei der Umstellung sind die Anlagen zu prüfen, da für weitere Betriebszeiten, aber nicht mehr weniger R22 werden. Für bestehende Anlagen sind mehr als 10 kg Kältemittel (Menge pro Jahr) (bzw. 10 kg) zu prüfen und für den Recycling zu entsorgen.
		R404A	3	AI	
		R407C	1	AI	
		R410A	1	AI	
		R417A	1	AI	
		R417B	1	AI	
		R417C	1	AI	
		R422B	1	AI	
		R422D	1	AI	
		R422E	1	AI	
		R422F	1	AI	
		R422G	1	AI	
Energieeffizient	Energieeffizient	R450a	1	AI	Für Anlagen sind mehr als 10 kg Kältemittel (Menge pro Jahr) (bzw. 10 kg) zu prüfen und für den Recycling zu entsorgen.
		R450b	1	AI	
		R450c	1	AI	
		R450d	1	AI	
Zubehörmittel	Energieeffizient	R113 (Hoch)	1	AI	Nur für Anlagen sind mehr als 10 kg Kältemittel (Menge pro Jahr) (bzw. 10 kg) zu prüfen und für den Recycling zu entsorgen.
		R113 (Nied)	1	AI	
		R113 (Hoch)	1	AI	
		R113 (Nied)	1	AI	
Energieeffizient	Energieeffizient	R113 (Hoch)	1	AI	Nur für Anlagen sind mehr als 10 kg Kältemittel (Menge pro Jahr) (bzw. 10 kg) zu prüfen und für den Recycling zu entsorgen.
		R113 (Nied)	1	AI	
		R113 (Hoch)	1	AI	
		R113 (Nied)	1	AI	
Energieeffizient	Energieeffizient	R113 (Hoch)	1	AI	Nur für Anlagen sind mehr als 10 kg Kältemittel (Menge pro Jahr) (bzw. 10 kg) zu prüfen und für den Recycling zu entsorgen.
		R113 (Nied)	1	AI	
		R113 (Hoch)	1	AI	
		R113 (Nied)	1	AI	

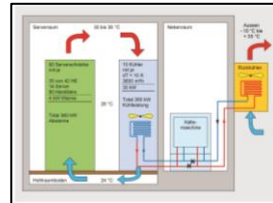
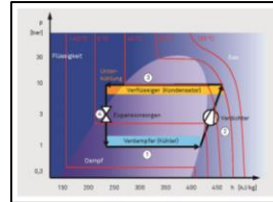
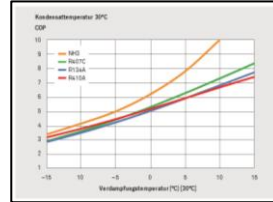
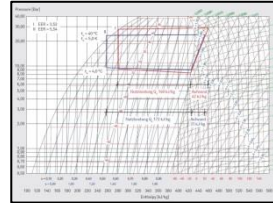
Auslegung von Kälteanlagen

- Betriebsanforderungen
- Inbetriebnahme
- Effizienzmessung (durch Hersteller)
- Probebetrieb (4 Wochen)

Bereich	Massnahmen
Kühlraum	<ul style="list-style-type: none"> Minimale Raumoberfläche, Unterteilung des Raumes nach Zonen Optimale Wärmedämmung, Vermeidung von Wärmebrücken Minimale Luftungsverluste, geringer Feuchtigkeitseintritt, Kondensatablass mit Siphon Minimale Wärmeeinstrahlung, Storen Reduktion von inneren Wärmequellen (effiziente geregelte Beleuchtung, Motoren, etc.)
Kühlung von Massen	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungsgrundlagen überprüfen (Masse pro Zeit mal spezifische Wärmekapazität mal Temperaturdifferenz) Reduktion der Zusatzkühlung: Verpackungs- und Transportmaterial, Wasser, Luft, etc. Massenstrom konstant? Speichermöglichkeiten? Vorkühlung mit Umgebungswärme möglich oder sinnvoll? Kann der Wärmebedarf der Massen nach der Kühlung genutzt werden?
Kühltemperatur	<ul style="list-style-type: none"> Welche Kühltemperatur und Kühlleistung ist wann erforderlich? Je höher die Kühltemperatur, desto weniger Verdichterleistung
Kälteübertragung	<ul style="list-style-type: none"> Luftkühlung mit optimierter Strömung, effiziente geregelte Ventilatoren Wasserkühlung mit minimalen Druckverlusten, effiziente geregelte Pumpen Eiskühlung mit Rückgewinnung von Eis und Schmelzwasser Direktkontakt und Strahlung mit Optimierung der Oberflächen
Kälteverteilung: Kältenetz	<ul style="list-style-type: none"> Wärmetauscher mit geringem Temperaturverlust (grosse Oberfläche, guter Wärmeübergang, Dämmung zum Raum)
Energieverluste = Kälteverluste	<ul style="list-style-type: none"> 100% dicht schliessende Ventile zu den einzelnen Anwendungen Geringe Druckverluste in den Wärmetauschern (< 0,2 bar) und den Kälteleitungen (Geschwindigkeit unter 2 m/s) Kältespeicher zur Reduktion der Lastspiele am Verdichter, Betrieb in der kühlen Nacht Energieeffiziente regelbare Pumpen, kein Drosselventil und Bypass
Kälteverdichter	<ul style="list-style-type: none"> Systemwahl: Mehrere Kältenetze nach erforderlichem Temperaturniveau (zum Beispiel eines mit Umweltwärme), mehrere Kompressoren, drehzahlvariable Kompressoren Bei kühler Witterung: Free Cooling Energieeffiziente Verdichter Energieeffiziente Motoren (IE3 oder höher) je nach Laufzeit
Rückkühler	<ul style="list-style-type: none"> Direkte Nutzung der Abwärme: Warmwasser-Vorwärmung, Schwimmbad, Verbund mit Nachbarn, Nutzung der Abwärme auf höherem Temperaturniveau mit Wärmepumpe, eventuell für Heizung. Grundwasser, Seewasser, Erdwärme, Wärmespeicher Luftkühlung, geregelte energieeffiziente Ventilatoren Wärmetauscher mit geringem Temperaturverlust
Überwachung	<ul style="list-style-type: none"> Erfassung des Kältebedarfs der Anwendungen (Massenstrom, Innen- und Aussentemperatur) und des Leistungsbedarfs der Kälteanlage, daraus abgeleitet laufende Kontrolle des Wirkungsgrades. Wenn in einem Pfad keine Kälte benötigt wird, dann soll er nicht gekühlt werden. Regelmässige Überprüfung der Temperaturanforderungen und des Systems Installation eines eigenen Stromzählers für die Kälteanlage

Praxisbeispiele

- Auslegung Kompressor
- Kältemittelvergleich
- Unterkühlung
- Free Cooling (Beispiel Serverraum)



Sonstiges

- Weiterführende Infos
 - Begriffe & Einheiten
 - Normen
 - Gesetze
 - Quellen

Abkürzung	Bezeichnung
AUL	Aussenluft
AWN	Abwärmenutzung
BoN	Betrieb ohne Nutzen
COP	Coefficient of Performance
EER	energy efficiency ratio
FOL	Fortluft
KVS	Kreislaufverbundsystem
KWS	Kaltwassersatz
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
TEWI	Total Equivalent Warming Impact
WRG	Wärmerückgewinnung

Editorischer Vermerk

Das Merkblatt "Kälteanlagen in der Industrie" wurde von Impact Energy im Rahmen des Umsetzungsprogrammes für effiziente Antriebssysteme Topmotors erstellt. Es wurde von Conrad U. Brunner (iE), Oliver Gässler (E&P), Denis Pereira und Daniel Keller (Clima Net), Robert Dumortier, Rolf Gloor (Gloor Engineering) und Rolf Tieben (iE) erarbeitet. Lektorat und graphische Umsetzung: Faktor Journalisten AG

Normen, Gesetze und Quellen

- Ecodesign Verordnung 640/2009 Motoren
- Energieverordnung EnV, Anhang 2.10: Elektromotoren
- VDI 2048 Messunsicherheiten bei Abnahmemessungen an energie- und kraftwerkstechnischen Anlagen
- IEC 60034-30-1:2014-12 Drehende elektrische Maschinen – Teil 30-1: Wirkungsgrad-Klassifizierung von netzgespeisten Drehstrommotoren (IE-Code)
- BFE-Kampagne: Effiziente Kälte, www.effizientekaelte.ch

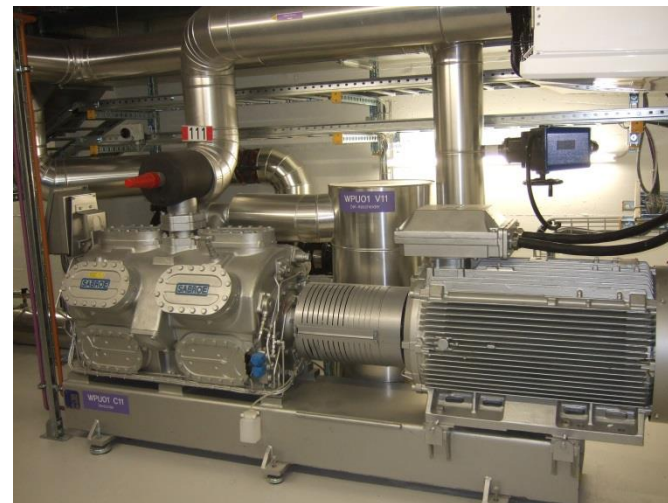
Ihr Feedback ist wichtig!

- Redaktionsschluss:
24. April 2017



Kontakt

- Petar Klingel
044 226 20 10
petar.klingel@impact-energy.ch
- Impact Energy
Gessnerallee 38a, 8001 Zürich
www.impact-energy.ch
www.topmotors.ch



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

