

Stephan Senger

Auslegung einer Kombikühlzelle für Kühlung und Tiefkühlung mit Wärmerückgewinnung



Diplomica Verlag

Stephan Senger

Auslegung einer Kombikühlzelle für Kühlung und Tiefkühlung mit Wärmerückgewinnung

ISBN: 978-3-8366-4551-5

Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2011

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und der Verlag, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

© Diplomica Verlag GmbH

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2011

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden für eine Kombikühlzelle die zur Bereitstellung der Kälteleistung notwendigen Anlagenkomponenten dimensioniert. Nach der technischen Konzeption werden die möglichen Abwärmequellen untersucht und die effizientere Lösung zur Wirtschaftlichkeitsanalyse herangezogen. Abschließend kann die, sich als wirtschaftlich erweisende Variante, zur Umsetzung vorgeschlagen werden.

Abstract

The present work illustrates the combination cold storage cell with all the necessary components, the provision and the dimension of the cold achievements. After the technical conception the waste heat sources are investigated and the more efficient solution is pulled up. Finally may I offer a suggestion to the more economically variation.

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis.....	13
1. Einführung.....	15
1.1. Funktion von Kombikühlzellen in Fleischereibetrieben	16
1.2. Grundlagen der Kältetechnik	17
1.2.1. Kreisprozesses einer Kompressionskälteanlage.....	17
1.2.1.1. Zustände des Kältemittels	18
1.3. Kühlung und Tiefkühlung in der Gewerbekälte.....	18
1.4. Kombikühlzellen	19
1.4.1. Konstruktion von Kombikühlzellen	19
2. Kältelastberechnung	21
2.1. Äußere Lasten	21
2.1.1. Wärmestrom durch Transmission	21
2.1.2. Wärmestrom durch Luftwechsel.....	23
2.2. Innere Lasten.....	25
2.2.1. Ermittlung des Kühlgutdurchsatzes.....	25
2.2.1.1. Kühlzelle	25
2.2.1.2. Tiefkühlzelle.....	26
2.2.2. Wärmestrom durch Lagergutabkühlung	27
2.2.3. Wärmestrom durch Personen	30
2.2.4. Wärmestrom durch Beleuchtung.....	31
2.3. Vorläufige Kälteleistung	31
2.3.1. Auslegung der Verdampfer	32
2.3.1.1. Ermittlung der Verdampfungstemperaturen..	33

2.3.2. Wärmestrom durch Luftumwälzung	36
2.3.3. Wärmestrom durch Abtauen	37
2.4. Effektive Kälteleistung	39
2.4.1. Auswertung der Ergebnisse	39
3. Dimensionierung der kältetechnischen Komponenten.....	41
3.1. Kältemittel	41
3.1.1. Auswahl des Kältemittels	42
3.2. Kreisprozess im log p,h – Diagramm.....	43
3.3. Projektierung der Verdichter	44
3.3.1. Auswirkung d. Kälteleistung auf d. Anlagenlaufzeit ..	46
3.3.2. Kältemittelmassenstrom	47
3.3.3. Verdichtungsleistung	48
3.3.3.1. ideale Verdichtungsleistung	48
3.3.3.2. reale Verdichtungsleistung.....	48
3.4. Projektierung der Verflüssiger	52
3.5. Kältemittelvergleich	53
3.5.1. Vergleich von R404a und R134a für Tiefkühlung	53
3.5.2. Vergleich von R404a und R134a für Normalkühlung .	55
3.6. Einsparung durch Internen Wärmeübertrager	57
3.7. Rohrleitungsdimensionierung	60
3.7.1. Druckabfall in den Rohrleitungen	62
3.8. Auslegung des Expansionsventils	67
3.9. Projektierung des Magnetventils	72
3.10. Dimensionierung des Kältemittelsammlers	74
3.11. Auswahl von Filtertrockner und Schauglas	80
4. Wärmerückgewinnung	82

4.1. Begriffserklärung	82
4.2. Einsatzmöglichkeiten der Wärmerückgewinnung	82
4.3. Warmwasserbedarf	82
4.4. Nutzbare Abwärmequellen	83
4.4.1. Auswahl der geeigneten Abwärmequelle	84
4.5. Dimensionierung des WRG – Speichers	87
4.6. Auslegung der Wärmeübertrager	89
4.6.1. Kältemittelseitiger Wärmeübertrager	89
4.6.2. Wärmeübertrager für die Nachheizung	91
4.7. Schaltungsänderung mit Wärmerückgewinnung	95
5. Steuerungs- und Regelungstechnik	97
5.1. Funktion d. Bauteile anhand d. Tiefkühlanlage mit WRG	97
6. Wirtschaftlichkeitsberechnung	100
6.1. Ermittlung der Investitionskosten	100
6.2. Wirtschaftlichkeitsvergleich beider Systeme	101
7. Zusammenfassung	107
Literaturverzeichnis	109
Anlagenverzeichnis	111

Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
a	$[1/a]$	Annuitätenfaktor
A	$[m^2]$	Fläche
B	$[€]$	Barwert
c	$[kJ/kgK]$	Spezifische Wärmekapazität von Wasser
c_{Ab}	$[kJ/kgK]$	Spezifische Wärmekapazität vor dem Erstarren
c_U	$[kJ/kg/K]$	Spezifische Wärmekapazität nach dem Erstarren
d	$[a]$	Diskontierungsfaktor
d_i	$[mm]$	Innendurchmesser
$DT1$	$[K]$	Temperaturdifferenz zw. Lufteintrittstemperatur und Verdampfungstemperatur
f_{WB}	$[-]$	Wärmebrückenkorrekturfaktor
g	$[m/s^2]$	Fallbeschleunigung
h	$[kJ/kg]$	Enthalpie
$h_{L,A}$	$[kJ/kg]$	Enthalpie der Außenluft
$h_{L,R}$	$[kJ/kg]$	Enthalpie der Lagerraumluft
k	$[W/m^2K]$	Wärmedurchgangskoeffizient
k_v	$[m^3/h]$	Durchflusskoeffizient
m_G	$[kg]$	Gesamtmasse des Lagergutes
m_R	$[kg]$	Kältemittelfüllmasse
$\dot{m}_{24h}$	$[kg/d]$	Lagergutdurchsatz
$\dot{m}_R$	$[kg/s]$	Kältemittelmassenstrom
$\dot{m}_W$	$[kg/h]$	Massenstrom vom Wasser
n_B	$[-]$	Anzahl der Beleuchtungsquellen
n_{LW}	$[1/d]$	Luftwechselzahl
n_P	$[-]$	Anzahl der Personen
P_B	$[W]$	Anschlussleistung der Beleuchtungsquelle
P_i	$[kW]$	Indizierte Verdichtungsleistung

P_{is}	[kW]	Isentrope Verdichtungsleistung
P_{KL}	[W]	Klemmleistung
p_0	[°C]	Verdampfungsdruck
p_c	[°C]	Verflüssigungsdruck
Q_{NB}	[kWh]	Wärmekapazität des Bedarfs
$Q_{rück}$	[kWh]	Rückgewinnbare Wärme
Q_{SP}	[kWh]	Speicherkapazität
Q_{VF}	[kWh]	Wärmekapazität der Aufheizung durch Verflüssiger
Q_{NH}	[kWh]	Wärmekapazität der Nachheizung durch Kessel
q_{0e}	[kJ/kg]	Spezifischer Nutzkältegewinn
q_{0v}	[kJ/m³]	Volumetrische Kälteleistung
q_P	[W/P]	Wärmeabgabe pro Person
$\dot{Q}_0$	[W]	Effektive Kälteleistung
$\dot{Q}_{0,v}$	[W]	Vorläufige Kälteleistung
$\dot{Q}_{Abt}$	[W]	Wärmestrom durch Abtauung
$\dot{Q}_B$	[W]	Wärmestrom durch Beleuchtung
$\dot{Q}_C$	[kW]	Verflüssigungsleistung
$\dot{Q}_{C,r}$	[kW]	Reine Verflüssigungsleistung
$\dot{Q}_E$	[kW]	Enthitzungswärme
$\dot{Q}_G$	[W]	Wärmestrom durch Lagergutabkühlung
$\dot{Q}_H$	[W]	Heizleistung der Abtauheizung
$\dot{Q}_{LU}$	[W]	Wärmestrom durch Luftumwälzung
$\dot{Q}_{LW}$	[W]	Wärmestrom durch Luftwechsel
$\dot{Q}_N$	[kW]	Nennleistung
$\dot{Q}_P$	[W]	Wärmestrom durch Personen
$\dot{Q}_{Tr}$	[W]	Wärmestrom durch Transmission
$\dot{Q}_U$	[kW]	Unterkühlungswärme

$\dot{Q}_v$	[W]	Vorläufiger Gesamtwärmestrom
s	[kJ/kgK]	Entropie
t	[°C]	Temperatur
t_0	[°C]	Verdampfungstemperatur
t_c	[°C]	Verflüssigungstemperatur
t_{Fl}	[°C]	Temperatur des flüssigen Kältemittels
$t_{L,A}$	[°C]	Temperatur der Außenluft
$t_{L,R}$	[°C]	Temperatur der Lagerluft
t_R	[°C]	Raumtemperatur
v	[m³/kg]	Spezifisches Volumen
V	[m³]	Volumen
V_H	[dm³]	Hubvolumen
V_R	[m³]	Raumvolumen
$\dot{V}_g$	[m³/h]	Geometrischer Hubvolumenstrom
$\dot{V}_{v1}$	[m³/h]	Volumenstrom am Verdichtereingang
w_{eff}	[m/s]	effektive Strömungsgeschwindigkeit
W_{is}	[kJ/kg]	Spezifische isentrope Verdichtungsarbeit
Δh_f	[kJ/kg]	Erstarrungsenthalpie
Δh_G	[kJ/kg]	Spezifische Enthalpiedifferenz des Lagergutes
Δp	[bar]	Druckverlust
Δp_1	[bar]	geplante Druckdifferenz
Δp_2	[bar]	tatsächliche Druckdifferenz
Δp_{EW}	[bar]	Druckverlust durch Einzelwiderstände
Δp_{Exp}	[bar]	Druckdifferenz über dem Expansionsventil
Δp_{ges}	[bar]	Gesamtdruckverlust
$\Delta p_{g,H}$	[bar]	Druckverlust durch geodätische Höhe
Δp_{min}	[bar]	Minimale Öffnungsdruckdifferenz
Δp_R	[bar]	Druckverlust durch Rohrreibung
Δt	[K]	Temperaturdifferenz

Δt_{Ab}	[K]	Temperaturdifferenz beim Abkühlen
Δt_U	[K]	Temperaturdifferenz beim Unterkühlen
Δt_m	[K]	mittlere logarithmische Temperaturdifferenz
φ_v	[-]	Füllungsgrad
φ	[%]	Relative Luftfeuchtigkeit
η_i	[-]	Indizierter Gütergrad
λ	[-]	Liefergrad des Verdichters, Rohrreibungsbeiwert
ρ	[kg/m ³]	Dichte
$\rho_{L,R}$	[kg/m ³]	Dichte der Lagerraumluft
τ_A	[h/d]	Anlagenlaufzeit
τ_{Abt}	[h/d]	Relative Abtauzeit
τ_B	[h/d]	Relative Betriebszeit der Beleuchtung
τ_G	[h]	Abkühl- bzw. Gefrierzeit
$\tau_{Lü}$	[h/d]	Relative Laufzeit des Lüfters
τ_P	[h/d]	Relative Verweilzeit der Personen

Abbildungsverzeichnis

- Abb.1:** Standardausführung einer Kühlzelle
- Abb.2:** Kreisprozess einer Kompressionskälteanlage
- Abb.3:** Beispiel einer Kombikühlzelle
- Abb.4:** Belegung der Kühlzelle
- Abb.5:** Belegung der Tiefkühlzelle
- Abb.6:** Bestimmung des vorläufigen DT1
- Abb.7:** Bestimmung des tatsächlichen DT1
- Abb.8:** Lastverteilung in der Tiefkühlzelle
- Abb.9:** Lastverteilung in der Kühlzelle
- Abb.10:** Anforderungen an Kältemittel
- Abb.11:** Vor- und Nachteile von Hubkolbenverdichtern
- Abb.12:** Gütegrad in Abhängigkeit vom Schadraum, Druckverhältnis und Liefergrad eines halbhermetischen Verdichters
- Abb.13:** Prinzip-Schaltbild mit Flüssigkeits-Saugdampf-Wärmeübertrager
- Abb.14:** Rohrleitungsabschnitte in Kompressionskälteanlagen
- Abb.15:** Ausschnitt aus der Dampftafel von R134a
- Abb.16:** Vergleich von Elektronischen und Thermostatischen Expansionsventil
- Abb.17:** Korrekturfaktoren für die Dimensionierung des Expansionsventils
- Abb.18:** Randbedingung für die Berechnung der Kältemittelfüllmasse der Tiefkühlanlage
- Abb.19:** Schematische Darstellung der Abwärmequellen bei Kompressionskälteanlagen
- Abb.20:** Enthitzung, Verflüssigung und Unterkühlung

- Abb.21:** Wärmeschaubild zur Ermittlung der Speicherkapazität
- Abb.22:** k-Wert in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur und der Strömungsgeschwindigkeit
- Abb.23:** Druckverlust in Abhängigkeit vom Durchfluss und der Wärmeübertragerfläche
- Abb.24:** Prinzip-Schaltbild mit Wärmerückgewinnung

Tabellenverzeichnis

Tab.1:	Allgemeine Daten
Tab.2:	Wärmestrom durch Transmission
Tab.3:	Wärmestrom durch Luftwechsel
Tab.4:	Spezifische Enthalpiedifferenz des Lagergutes
Tab.5:	Wärmestrom durch Lagergutabkühlung
Tab.6:	Wärmestrom durch Personen
Tab.7:	Wärmestrom durch Beleuchtung
Tab.8:	Vorläufiger Gesamtwärmestrom
Tab.9:	Wärmestrom durch Luftumwälzung
Tab.10:	Wärmestrom durch Abtauen
Tab.11:	ODP und GWP verschiedener Kältemittel
Tab.12:	Coefficient of Performance
Tab.13:	Kältemittelmassenstrom
Tab.14:	Isentrope Verdichtungsleistung
Tab.15:	Reale Verdichtungsendzustände
Tab.16:	Tatsächliche Verflüssigungsleistung
Tab.17:	Vergleich von R404a mit R134a für Tiefkühlung
Tab.18:	Vergleich von R404a mit R134a für Normalkühlung
Tab.19:	Optimierung der Tiefkühlung mittels Inneren Wärmeübertrager
Tab.20:	Rohrdimensionierung
Tab.21:	Rohrleitungslängen
Tab.22:	Druckverlust in Rohrleitungen in bar
Tab.23:	Druckverlust in Rohrleitungen in K
Tab.24:	Dimensionierung des Thermostatischen Expansionsventils

Tab.25:	Projektierung der Magnetventile für die Flüssigkeitsleitung
Tab.26:	Minimale Kältemittelfüllmasse
Tab.27:	Trockner- und Schauglasdimensionierung
Tab.28:	Warmwasserbedarf
Tab.29:	Abwärmeangebot aus der Tiefkühlung
Tab.30:	Ermittlung der Speicherkapazität
Tab.31:	Ermittlung der Montagezeiten
Tab.32:	Wirtschaftlichkeitsvergleich beider Systeme