

# **Kälteanlagen in der Brau- und Malzindustrie**

Dr. sc. techn. Hans-J. Manger

Erstellt in Zusammenarbeit mit dem Fachausschuss für „Anlagen und Betriebstechnik“  
des Technisch-Wissenschaftlichen Ausschusses (TWA) der VLB Berlin,  
Arbeitsgruppe „Energie“:

Hans-Michael Bluhm	Berliner-Kindl-Schultheiss-Brauerei GmbH
Jürgen Henrich	Krombacher Brauerei GmbH
Wolfgang Janssen	Friesisches Brauhaus zu Jever GmbH & Co. KG
Jochen Keilbach	Eichbaum-Brauereien AG
Axel Keller	Pfungstädter Brauerei Hildebrandt GmbH & Co. KG
Thomas Lauer	Bitburger Brauerei Th. Simon GmbH
Gerhard Maier	Dinkelacker-Schwaben Bräu AG
Hans-Otto Mieth	Spilling Energie System GmbH
Joachim Müller	C. & A. Veltins GmbH & Co.
Dr.-Ing. Jan Schneider	VLB Berlin
Harald Schönecker	Bitburger Brauerei Th. Simon GmbH
Jan Stirl	Freiberger Brauhaus AG
Gunnar Zinke	InBev Deutschland GmbH & Co. KG



Im Verlag der VLB Berlin

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter [dnb.ddb.de](http://dnb.ddb.de) aufrufbar.

Ergänzungen und kritische Hinweise an:

Dr. sc. techn. Hans-J. Manger

Pflaumenallee 14

D-15234 Frankfurt (Oder)

E-Mail: [hans.manger@t-online.de](mailto:hans.manger@t-online.de)

Manger, Hans.-J.

Kälteanlagen in der Brau- und Malzindustrie

1. Auflage 2006

ISBN-10 3-921690-55-2

ISBN-13 978-3-921690-55-0

© VLB Berlin, Seestraße 13, D-13353 Berlin, [www.vlb-berlin.org](http://www.vlb-berlin.org)

Alle Rechte, insbesondere die Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten.

Kein Teil des Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages).

No part of this book may be reproduced in any form.

Printed in Germany

Herstellung: VLB Berlin, PR- und Verlagsabteilung

Druck: Digital-Druck GmbH, Frensdorf

## Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	9
Vorwort	11
1. Die optimale Gestaltung einer Kälteanlage	13
1.1 Allgemeine Hinweise	13
1.2 Die Darstellung des Arbeitsprozesses einer Kälteanlage in Gleichungen und Diagrammen	15
1.3 Wirkungsweise der Kompressions-Kälteanlage	18
1.3.1 Antriebsleistung des Verdichters	18
1.3.2 Erforderliche Kältemittelmenge in einer Anlage	21
1.4 Elemente der Kompressions-Kälteanlage	21
1.4.1 Kältemittel-Verdichter	21
1.4.2 Antriebsmotor	26
1.4.3 Schmierung des Verdichters	27
1.4.4 Kältemittel-Verdampfer	28
1.4.5 Verflüssiger (Kältemittel-Kondensator)	31
1.4.6 Nachkühler	32
1.4.7 Expansionsventil	33
1.4.8 Abscheider	33
1.4.9 Zentralabscheider bei Kältemittelpumpenbetrieb	33
1.4.10 Kältemittel-Sammler	34
1.4.11 Ausgleichsbehälter	34
1.4.12 Kältemittelpumpen	34
1.4.13 Kälteträger-Kreislauf	34
1.4.13.1 Allgemeine Hinweise	34
1.4.13.2 Die Minimierung des Energieaufwandes für die Förderung des Kälteträgers	36
1.4.13.3 Der dynamische Druckverlust des Kälteträgerkreislaufes	36
1.4.13.4 Übertragbare Wärme	38
1.4.13.5 Vorteile von Kälteträgerkreisläufen mit integriertem Speicher	39
1.4.14 Kühlkreislauf	39
1.4.15 Steuerung/Regelung der Kälteanlage	41
1.4.16 Werkstoffe	42

1.4.17 Rohrleitungen und Armaturen	42
1.4.18 Schlussfolgerungen aus der Gestaltung von Kompressions- Kälteanlagen	42
1.5 Wirkungsweise der Absorptions-Kälteanlage	44
1.6 Elemente der Absorptions-Kälteanlage	48
1.7 Varianten der Kühlung	50
1.8 Möglichkeiten zur Verringerung der Kältemittelmenge in einer Anlage	51
1.8.1 Beeinflussung durch die Kühlvariante und die Kälteanlagengestaltung	51
1.8.2 Betriebsvariante des Verdampfers	52
1.8.3 Geometrische Gestaltung des Verdampfers	52
1.8.4 Geometrische Gestaltung des Kondensators	52
1.9 Möglichkeiten zur Speicherung von Kälte	53
1.9.1 Flüssigkeitsspeicher	53
1.9.2 Eisspeicheranlagen	54
1.10 Wärmedämmungen	57
1.11 Kältebedarf in der Gärungs- und Getränkeindustrie	57
1.12 Möglichkeiten zur Senkung der Betriebskosten	58
1.13 Der Kaltwassersatz mit Wasser als Kältemittel	59
1.14 Mehrstufige Kälteanlagen	60
1.14.1 Allgemeine Hinweise	60
1.14.2 Anlagengestaltung	60
1.14.3 Zweistufige Verdichtung	62
1.14.4 CO <sub>2</sub> als Kältemittel in der Brauindustrie	64
2. Die optimale Betriebsweise einer Kälteanlage	65
2.1 Grundsätzliche Zusammenhänge	65
2.2 Die optimale Verdampfungs- und Kondensationstemperatur	65
2.3 Unterkühlung des Kältemittels	66
2.4 Mechanische Einflüsse und Energieverbrauch	67
2.5 Zustand der WÜ-Oberflächen	67
2.6 Funktion der Wasserdampfsperre	68
2.7 Ermittlung des Wirkungsgrades einer Kälteanlage	68
2.8 Störungen in der Kälteanlage	69
3. Technologische Voraussetzungen für den optimalen Betrieb von Kälteanlagen	71
3.1 Vorbemerkungen	71

3.2 Die Wechselwirkungen mit der Verfahrensgestaltung in der Brau- und Malzindustrie	71
3.2.1 Allgemeine Bemerkungen	71
3.2.2 Technologische Zusammenhänge	71
3.2.2.1 Gärungsenthalpie	71
3.2.2.2 Anstelltemperatur	75
3.2.2.3 Gestaltung der Würzekühlung	76
3.2.2.4 Gär- und Reifungsverfahren	80
3.2.2.5 Gär- und Lagerdauer	82
3.2.2.6 Lagertemperatur des Bieres	82
3.2.2.7 Abfüllung der Getränke	82
3.2.2.8 Malzherstellung	82
3.2.3 High-Gravity-Brewing	83
3.3 Optimales Brauereidesign	84
4. Forderungen und Hinweise für die Montage, Inbetriebnahme und Wartung einer Kälteanlage	85
4.1 Allgemeine Hinweise	85
4.2 Allgemeine Montagehinweise	85
4.3 Wichtige Prüfungen vor der Inbetriebnahme	86
4.4 Erforderliche Nachweise vor der Inbetriebnahme	87
4.5 Inbetriebnahme und Betrieb der Kälteanlage	88
4.6 Dokumentationen der Kälteanlage	89
4.7 Wartung von Kälteanlagen	89
5. Wärmedämmungen	91
5.1 Einleitung	91
5.2 Grundsätzliche Überlegungen zur Aufstellung von Gär- und Lagerbehältern	91
5.2.1 Technologische Anforderungen oder Ansprüche	91
5.2.2 Aufstellung „outdoor“ oder mit Umhausung	92
5.2.3 Sonstige Festlegungen	92
5.2.4 Überlegung zur Installation von Gär- und Lagerbehältern	93
5.3 Modellrechnung	95
5.4 Dämmwerkstoffe und -systeme für Gär- und Lagerbehälter	101
5.4.1 Untersuchte Dämmstoffe	101
5.4.2 Einschätzung der Dämmstoffe bezüglich ihrer Eignung	101

5.4.3 Anforderungen an Dämmsysteme für Gär- und Lagerbehälter	103
5.4.3.1 Ermittlung der Dämmschichtdicke nach betriebstechnischen Anforderungen	103
5.4.3.2 Ermittlung der Dämmschichtdicke nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten	103
5.4.3.3 Energieeinsparung / CO <sub>2</sub> -Reduktion	104
5.4.4 Elemente einer ökologischen Bilanzierung	104
5.4.5 Dampfbremse und mechanischer Abschluss der Wärmedämmung	104
5.5 Empfehlungen und Erfahrungen	105
5.5.1 ZKT-Wärmedämmung, optimale Gestaltung	105
5.5.2 Rohrleitungen	110
5.5.3 Gewährleistungen	110
5.6 Normen, Richtlinien und AGI-Arbeitsblätter	111
5.6.1 Angaben zur Baustelle	111
5.6.2 Normen, AGI-Arbeitsblätter, Richtlinien	111
5.7 Checkliste für Ausschreibung, Vergabe und Überwachung von Dämmarbeiten mit PUR-Ortschaum	113
6. Gesetzliche Grundlagen für den Betrieb von Kälteanlagen	117
6.1 Europäisches Recht	117
6.2 Gesetze und Verordnungen	117
6.3 Technische Regeln	118
6.4 Vorschriften der Berufsgenossenschaften	119
6.5 Normen	120
6.6 VDMA-Einheitsblätter	124
6.7 VDI-Richtlinien	124
6.8 Hinweis für die Beschaffung aktueller Informationen	125
7. Anforderungen und Sicherheitstechnik bei Planung und Betrieb von Kälteanlagen	127
7.1 Allgemeine Übersicht	127
7.2 Anforderungen an die Aufstellung und den Aufstellort	127
7.2.1 Allgemeine Hinweise	127
7.2.2 Anforderungen an besondere Maschinenräume	128
7.2.3 Anforderungen an Rohrleitungen	130
7.2.4 Überwachung und Sicherheit der Kälteanlage	131
7.2.5 Elektrische Anlagen	132
7.2.6 Persönliche Schutzausrüstungen und Sicherheit	133

7.3 Betrieb, Instandhaltung und Instandsetzung von Kälteanlagen	134
7.3.1 Unterweisung, Betreiben, Instandhaltung	134
7.3.2 Betriebsanweisungen	135
7.3.3 Instandhaltung	135
7.3.4 Instandsetzung	135
7.3.5 Rückgewinnung, Wiederverwendung und Entsorgung des Kältemittels	136
7.4 Forderungen an die konstruktive Ausführung der Kälteanlage	136
7.4.1 Druckfestigkeit	136
7.4.2 Absperrrichtungen	137
7.4.3 Sicherheitseinrichtungen	138
7.4.4 Messtechnik	139
7.5 Prüfungen an Druckgeräten	140
7.6 Hinweise zur Verbesserung Anlagensicherheit und zur Vermeidung von Unfällen	144
7.7 Sonstige Hinweise	145
8. Der Umweltschutz	146
9. Stoffdaten	147
9.1 Kältemittel	147
9.2 Kälte Träger	149
9.3 Ammoniak	151
9.4 Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	155
9.4.1 Allgemeine Hinweise	155
9.4.2 Das Druck-Enthalpie-Diagramm für CO <sub>2</sub>	155
9.4.3 Die spezifische Wärmekapazität	155
9.5 Schmierstoffe für Kältemaschinen	159
9.6 Dämmstoffe	160
9.7 Klimadaten	161
10. Weiterführende Literatur	165
11. Stichwortverzeichnis	167
12. Quellennachweis	173





## Verzeichnis der Abkürzungen

AGI	Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V.
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert (ersetzt den MAK-Wert; s.a. GefStoffV vom 23.12.2004)
AKA	Absorptions-Kälteanlage
ASI	Arbeitssicherheits-Informationen
BG	Berufsgenossenschaft
BGR	Regeln der BG
BGV	Unfallverhütungsvorschriften der BG
BP	befähigte Person (früher Sachkundiger)
COP	Coeffizient of Performance (Leistungszahl)
DN	Nennweite in Millimeter
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
EMSR	Elektro-, Mess-, Steuerungs- und Regelungs-(Technik)
GLRD	Gleitringdichtung
GWP	Treibhauseffekt (globing warming potential)
h	Enthalpie in kJ/kg
HBV	Anlagen zum Herstellen, Behandeln oder Verwenden
k	k-Wert = Wärmedurchgangskoeffizient (bei Wärmedämmungen: auch Wärmedämmwert, U-Wert)
$\dot{m}_k$	umlaufender Kältemittelmassenstrom
KKA	Kompressions-Kälteanlage
LAU	Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration (s.a. AGW)
MSR	Mess-, Steuerungs- und Regelungs-(Technik)
ODP	Ozongefährdungspotential (ozone depletion potential)
P	Leistung
$p_0$	Verdampferdruck
$p_c$	Kondensatordruck
PS	maximal zulässiger Druck nach Druckgeräterichtlinie 97/23/EG
PS	Polystyrol
PT	Prüfdruck nach Druckgeräterichtlinie 97/23/EG
PUR	Polyurethan
PWÜ	Plattenwärmeübertrager
$q_0$	spezifische Kälteleistung
$\dot{Q}$	Wärmestrom
$Q_0$	Verdampferleistung
$Q_c$	Kondensatorleistung
$q_c$	spezifische Kondensatorleistung
RWÜ	Rohrbündelwärmeübertrager
s	Entropie
TEWI	Total Equivalent Warming Impact

TS	minimal bzw. maximal zulässige Temperatur in Grad Celsius nach Druckgeräterichtlinie 97/23/EG
TWA	Technisch-wissenschaftlicher Ausschuss der VLB
U-Wert	Wärmedämmwert (s.a. $k$ -Wert)
V	Volumen
V	Volumen nach Druckgeräterichtlinie 97/23/EG in Liter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VLB	Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (gegründet 1883)
WÜ	Wärmeübertrager
ZÜS	zugelassene Überwachungsstelle (früher Sachverständiger)
$\varepsilon$	Leistungszahl (-ziffer)
$\lambda$	Liefergrad
$\eta$	Wirkungsgrad
$\vartheta_0, T_0$	Verdampfungstemperatur in Grad Celsius bzw. in Kelvin
$\vartheta_c, T_c$	Kondensationstemperatur in Grad Celsius bzw. in Kelvin
$\vartheta_{\ddot{u}}, T_{\ddot{u}}$	Überhitzungstemperatur in Grad Celsius bzw. in Kelvin
$\vartheta_u, T_u$	Unterkühlungstemperatur in Grad Celsius bzw. in Kelvin

## Vorwort

Ziel ist es, die aus der Sicht des Anlagenbetreibers in der Brau- und Getränkeindustrie relevanten Zusammenhänge für die Planung sowie den effektiven Betrieb der Kälteanlage und deren optimale Gestaltung aus technologischer Sichtweise zu erläutern. Dabei wird auch auf die zu beachtenden gesetzlichen Grundlagen und Planungsunterlagen eingegangen.

Die Ausarbeitung enthält Grundlagen, Empfehlungen, Hinweise und Erfahrungen aus der Praxis, die jedoch nicht die konkrete Auseinandersetzung mit der komplexen Thematik der Kältetechnik ersetzen können.

Die Ausarbeitung ist auch nicht als Ersatz für die Fachliteratur gedacht, die sich mit der konstruktiven Auslegung und Planung von Kälteanlagen befasst. Hierzu muss auf die in Kapitel 10 angegebene Fachliteratur und auf die Informationsmöglichkeiten der Hersteller verwiesen werden, deren Anschriften auch aus der angegebenen Adresse [www.dkv.org](http://www.dkv.org) entnommen werden können.

Die Ausführungen zum Kapitel 5 „Wärmedämmungen“ sind einer Ausarbeitung entnommen, die von einem Arbeitskreis des TWA-Ausschusses Energie der VLB-Berlin 1996 erarbeitet wurde. Diese Arbeit „Entscheidungshilfen zur Ausführung von Isolierungen an Gär- und Lagerbehältern“ wurde 2005 überarbeitet.

Außerdem wird auf die notwendige Beratung und Planung durch kompetente Ingenieurbüros, Hersteller sowie Institute verwiesen, wenn es um die Vorbereitung und Durchführung von Ersatz- und Neuinvestitionen geht.

Diese Ausarbeitung soll dem Anlagenbetreiber helfen, diesen Dialog zum gegenseitigen Nutzen zu führen, mögliche Einsparpotentiale zu erkennen, Aufgabenstellungen für die Ausschreibung zu erarbeiten und Angebote zu prüfen.

Der Dank der Arbeitsgruppe gilt:

Herrn *Walter Bremeyer* (KAEFER Isoliertechnik, Bremen) für die Unterstützung bei der Abfassung des Kapitels 5 und  
Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. *Thomas Hackensellner* für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und zahlreiche Hinweise.

Hans-J. Manger  
im Namen der Arbeitsgruppe

Berlin, im April 2006