

# Kälteanlagen in der Brau- und Malzindustrie

Dr. sc. techn. Hans-J. Manger



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 [dnd.ddb.de](http://dnd.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  
2. überarbeitete Auflage 2015

ISBN 978-3-921690-79-6

© 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: [cpibooks.de](http://cpibooks.de)

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	9
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	28
1.4.4 Kältemittel-Verdampfer	29
1.4.5 Verflüssiger (Kältemittel-Kondensator)	32
1.4.6 Nachkühler	34
1.4.7 Expansionsventil	35
1.4.8 Abscheider	35
1.4.9 Zentralabscheider bei Kältemittelpumpenbetrieb	35
1.4.10 Kältemittel-Sammler	35
1.4.11 Ausgleichsbehälter	36
1.4.12 Kältemittelpumpen	36
1.4.13 Kälteträger-Kreislauf	36
1.4.13.1 Allgemeine Hinweise	36
1.4.13.2 Die Minimierung des Energieaufwandes für die Förderung des Kälteträgers	38
1.4.13.3 Der dynamische Druckverlust des Kälteträgerkreislaufes	38
1.4.13.4 Übertragbare Wärme	40
1.4.13.5 Vorteile von Kälteträgerkreisläufen mit integriertem Speicher	41
1.4.14 Kühlkreislauf	41
1.4.14.1 Gestaltung der Kreisläufe	41
1.4.14.2 Verdunstungskühlung	42
1.4.14.3 Lärm und Aerosolbildung	43
1.4.15 Steuerung/Regelung der Kälteanlage	44
1.4.16 Werkstoffe	44
1.4.17 Rohrleitungen und Armaturen	44
1.4.18 Schlussfolgerungen aus der Gestaltung von Kompressions-Kälteanlagen	45
1.5 Varianten der Kühlung	46
	3

1.6 Möglichkeiten zur Verringerung der Kältemittelmenge in einer Anlage	47
1.6.1 Beeinflussung durch die Kühlvariante und die Kälteanlagengestaltung	47
1.6.2 Betriebsvariante des Verdampfers	48
1.6.3 Geometrische Gestaltung des Verdampfers	48
1.6.4 Geometrische Gestaltung des Kondensators	48
1.7 Möglichkeiten zur Speicherung von Kälte	48
1.7.1 Flüssigkeitsspeicher	49
1.7.2 Eisspeicheranlagen	49
1.7.3 Neu entwickelte Naturkälteversorgung für Brauereien	53
1.8 Wärmedämmungen	53
1.9 Kältebedarf in der Gärungs- und Getränkeindustrie	54
1.10 Möglichkeiten zur Senkung der Betriebskosten	55
1.11 Der Kaltwassersatz mit Wasser als Kältemittel	56
1.12 Mehrstufige Kälteanlagen	56
1.12.1 Allgemeine Hinweise	56
1.12.2 Anlagengestaltung	57
1.12.3 Zweistufige Verdichtung	58
1.12.4 CO <sub>2</sub> als Kältemittel in der Brauindustrie	59
1.13 Absorptions-Kälteanlagen	62
1.13.1 Allgemeine Hinweise	62
1.13.2 Aufbau und Funktion einer Absorptionskälteanlage	64
1.13.3 Elemente der Absorptions-Kälteanlage	66
2. Die optimale Betriebsweise einer Kälteanlage	67
2.1 Grundsätzliche Zusammenhänge	67
2.2 Die optimale Verdampfungs- und Kondensationstemperatur	67
2.3 Unterkühlung des Kältemittels	68
2.4 Mechanische Einflüsse und Energieverbrauch	69
2.5 Zustand der WÜ-Oberflächen	69
2.6 Funktion der Wasserdampfsperre	70
2.7 Ermittlung des Wirkungsgrades einer Kälteanlage	70
2.8 Störungen in der Kälteanlage	71
3. Technologische Voraussetzungen für den optimalen Betrieb von Kälteanlagen	72
3.1 Vorbemerkungen	72
3.2 Die Wechselwirkungen mit der Verfahrensgestaltung in der Brau- und Malzindustrie	72
3.2.1 Allgemeine Bemerkungen	72

3.2.2 Technologische Zusammenhänge	72
3.2.2.1 Gärungsenthalpie	72
3.2.2.2 Anstelltemperatur	76
3.2.2.3 Gestaltung der Würzekühlung	77
3.2.2.4 Gär- und Reifungsverfahren	81
3.2.2.5 Gär- und Lagerdauer	83
3.2.2.6 Lagertemperatur des Bieres	83
3.2.2.7 Abfüllung der Getränke	83
3.2.2.8 Malzherstellung	84
3.2.3 High Gravity Brewing	84
3.3 Optimales Brauereidesign	85
4. Forderungen und Hinweise für die Montage, Inbetriebnahme und Wartung einer Kälteanlage	87
4.1 Allgemeine Hinweise	87
4.2 Allgemeine Montagehinweise	90
4.3 Wichtige Prüfungen vor der Inbetriebnahme	91
4.4 Erforderliche Nachweise vor der Inbetriebnahme	92
4.5 Inbetriebnahme und Betrieb der Kälteanlage	93
4.6 Dokumentationen der Kälteanlage	94
4.7 Wartung von Kälteanlagen	94
5. Wärmedämmungen	95
5.1 Einleitung	95
5.2 Grundsätzliche Überlegungen zur Aufstellung von Gär- und Lagerbehältern	95
5.2.1 Technologische Anforderungen oder Ansprüche	96
5.2.2 Aufstellung „outdoor“ oder mit Umhausung	96
5.2.3 Sonstige Festlegungen	96
5.2.4 Überlegung zur Installation von Gär- und Lagerbehältern	97
5.3 Modellrechnung	98
5.4 Dämmwerkstoffe und -systeme für Gär- und Lagerbehälter	105
5.4.1 Untersuchte Dämmstoffe	105
5.4.2 Einschätzung der Dämmstoffe bezüglich ihrer Eignung	105
5.4.3 Anforderungen an Dämmsysteme für Gär- und Lagerbehälter	107
5.4.3.1 Ermittlung der Dämmschichtdicke nach betriebstechnischen Anforderungen	107
5.4.3.2 Ermittlung der Dämmschichtdicke nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten	107
5.4.3.3 Energieeinsparung / CO <sub>2</sub> -Reduktion	108
5.4.4 Elemente einer ökologischen Bilanzierung	108
5.4.5 Dampfbremse und mechanischer Abschluss der Wärmedämmung	108

5.5 Empfehlungen und Erfahrungen	109
5.5.1 ZKT-Wärmedämmung, optimale Gestaltung	109
5.5.2 Rohrleitungen	112
5.5.3 Gewährleistungen	114
5.6 Normen, Richtlinien und AGI-Arbeitsblätter	114
5.6.1 Angaben zur Baustelle	114
5.6.2 Normen, AGI-Arbeitsblätter, Richtlinien	114
5.7 Checkliste für Ausschreibung, Vergabe und Überwachung von Dämmarbeiten mit PUR-Ortschaum	116
6. Gesetzliche Grundlagen für den Betrieb von Kälteanlagen	119
6.1 Europäisches Recht	119
6.2 Nationale gesetzliche Grundlagen	120
6.3 Technische Regeln	121
6.4 Vorschriften der Berufsgenossenschaften	121
6.5 Normen	122
6.6 VDMA-Einheitsblätter	125
6.7 VDI-Richtlinien	125
6.8 Hinweis für die Beschaffung aktueller Informationen	126
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	131
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 Absperreinrichtungen	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 Kälteträger	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	164
11. Stichwortverzeichnis	167
12. Quellennachweis	174



## 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)
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
FKW	Fluor-Kohlenwasserstoffe
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
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
$p_0$	Verdampfendruck
$p_c$	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
$\vartheta_{\bar{u}}, T_{\bar{u}}$	Überhitzungstemperatur in Grad Celsius bzw. in Kelvin
$\vartheta_u, T_u$	Unterkühlungstemperatur in Grad Celsius bzw. in Kelvin

## Vorwort

Ziel dieser Schrift 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 im Internet zu finden sind.

Die erste Auflage dieser Broschüre wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachausschuss für „Anlagen und Betriebstechnik“ des Technisch-Wissenschaftlichen Ausschusses (TWA) der VLB Berlin, Arbeitsgruppe „Energie“ erstellt. Beteiligt daran waren:

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

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 einer Kälteanlage 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.

Die vorliegende 2. Auflage wurde überarbeitet und aktualisiert.

Berlin, im März 2015

*Hans-J. Manger*