

Hans-Martin Henning
Thorsten Urbaneck u. a.

Kühlen und Klimatisieren mit Wärme

2., erweiterte und vollständig überarbeitete Auflage



Fraunhofer IRB  Verlag

 **BINE**
Informationsdienst

BINE-Fachbuch

Hans-Martin Henning, Thorsten Urbaneck u. a.

Kühlen und Klimatisieren mit Wärme

BINE-Fachbuch

Kühlen und Klimatisieren mit Wärme

2., erweiterte und vollständig überarbeitete Auflage

Die Autoren:

Hans-Martin Henning

Thorsten Urbaneck

Alexander Morgenstern

Tomas Núñez †

Edo Wiemken

Egbert Thümmeler

Ulf Uhlig

Herausgeber



Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  **Verlag**



BINE Informationsdienst berichtet über Themen der Energieforschung: Neue Materialien, Systeme und Komponenten, innovative Konzepte und Methoden. BINE-Leser werden so über Erfahrungen und Lerneffekte beim Einsatz neuer Technologien in der Praxis informiert. Denn erstklassige Informationen sind die Grundlage für richtungsweisende Entscheidungen, sei es bei der Planung energetisch optimierter Gebäude, der Effizienzsteigerung industrieller Prozesse oder bei der Integration erneuerbarer Energien in bestehende Systeme.

BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe GmbH und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.

Für weitere Fragen steht Ihnen zur Verfügung:

Dr. Franz Meyer (Redaktion)

BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn

Kaiserstraße 185–197, 53113 Bonn

Tel. +49 2 28 9 23 79-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9401-1 | ISBN (E-Book): 978-3-8167-9402-8

Layout: Dietmar Zimmermann | Umschlaggestaltung: Martin Kjer | Herstellung: Angelika Schmid | Satz: Fotosatz Buck, Kumhausen | Druck: Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Titelbild: Thorsten Urbaneck

Umschlagrückseite: Thorsten Urbaneck (links & rechts), Fraunhofer ISE (Mitte)

© FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH, 2015

Verlag und Vertrieb:

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 7 11 970-2500

Telefax +49 7 11 970-2508

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	7
Vorwort	8
1 Warum klimatisieren – warum mit Wärme	9
1.1 Innere und äußere Wärmelasten	9
1.2 Kältebedarf in Deutschland	10
1.3 Verfahren zur Kältebereitstellung und Klimatisierung	11
1.4 Energetischer Vergleich von Kältemaschinen mit mechanischem und thermischem Antrieb	12
1.5 Wärmequellen für thermisch angetriebene Kältemaschinen	14
1.6 Klimatisieren mit Wärme entlastet das Stromnetz	19
2 Technologien zur thermisch angetriebenen Kälteerzeugung und Klimatisierung	21
2.1 Geschlossene Verfahren	24
2.1.1 Generelle Funktionsweise	24
2.1.2 Absorptionskältemaschinen	25
2.1.3 Adsorptionskältemaschinen	33
2.1.4 Aufbau und Funktion von Anlagen	37
2.1.5 Dampfstrahlkälte	41
2.1.6 Rückkühlung	48
2.2 Offene Verfahren	51
2.2.1 Generelle Funktionsweise	53
2.2.2 Verfahren mit Sorptionsrotoren	55
2.2.3 Verfahren mit flüssigen Sorptionsmitteln	61
3 Systeme zur Klimatisierung und Kälteversorgung	63
3.1 Anwendungen im kleinen bis mittleren Leistungsbereich	63
3.1.1 Systemaspekte und Systemkonfigurationen	63
3.1.2 Primärenergetische Betrachtung	70
3.1.3 Systemauslegung und Auslegungsbeispiel	76
3.2 Anwendungen im mittleren bis großen Leistungsbereich	83
3.2.1 Nah- und Fernkälte	83
3.2.2 Systemkonfigurationen	85
3.2.3 Effizienz, Kosten, Wirtschaftlichkeit	99
4 Ausgeführte Anlagen	103
4.1 Nutzung solarer Wärme	103
4.1.1 Weinlagerkühlung in Banyuls, Südfrankreich	107
4.1.2 Sorptionsgestützte Klimatisierung von Seminarräumen der IHK Südlicher Oberrhein, Freiburg	108

4.1.3	Solare Klimatisierung eines Unterrichtsraumes im Solarturm an der Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule in Freiburg (Demonstrationsanlage im Projekt SolCoolSys)	111
4.1.4	Adsorptionskälteanlage im kleinen Leistungsbereich am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg	112
4.1.5	Solar unterstützte Klimatisierung im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie 2000plus	113
4.2	Nutzung der Abwärme von Blockheizkraftwerken	113
4.2.1	Beispiel: DEC-System im Gebäude der AMG Energia S. p. A in Palermo (Italien) – Abwärmenutzung	113
4.3	Nutzung der Abwärme von Heizkraftwerken	114
4.3.1	Übersicht für Deutschland	114
4.3.2	LiquiSorp-Pilotanlage zur sorptionsgestützten Klimatisierung mit flüssigen Sorbentien in der Medizinischen Klinik Freiburg	116
4.3.3	Fernkälte Gera	117
4.3.4	Fernkälte Chemnitz	118
4.3.5	Nahkälte Klinikum Chemnitz	131
4.3.6	Umweltaspekte, Emissionsminderung durch KWKK am Beispiel der Stadt Chemnitz	136
5	Perspektiven der solaren Kühlung	139
5.1	Vergleichsstudie Solare Kühlung	140
5.2	Bewertung	143
5.3	Ergebnisse	144
6	Ausblick	149
6.1	Forschung und Entwicklung	149
6.2	Internationale Situation	151
7	Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis	152
7.1	Zitierte Literatur	152
7.2	Abbildungsverzeichnis	156
8	Forschungsvorhaben der Bundesregierung	158
8.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	158
8.2	Forschungsberichte	160
9	Weiterführende Literatur	162
9.1	Literatur	162
9.2	BINE Informationsdienst	165
9.3	Forschungsportale des BMWi	165
10	Autorenangaben	166
10.1	Anschrift der Autoren	167

Symbolverzeichnis

Lateinische Buchstaben		
Zeichen	Bedeutung	Einheit
A	Fläche	m ²
c	spezifische Wärmekapazität	J/(kgK)
m	Masse	kg
\dot{m}	Massenstrom	kg/s
n	Anzahl	–
p	Druck	Pa
\dot{q}	Wärmestromdichte	W/m ²
Q	Wärme	J
\dot{Q}	Wärmestrom	W
t	Zeit	s
T	Temperatur	°C
S	Entropie	J/K
u	spezifische innere Energie	J/kg
U	innere Energie	J
V	Volumen	m ³
\dot{V}	Volumenstrom	m ³ /s
Griechische Buchstaben		
Zeichen	Bedeutung	Einheit
α	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² K)
Δ	Differenz	–
η	dynamische Viskosität	kg/(ms)
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(mK)
ν	kinematische Viskosität	m ² /s
ρ	Dichte	kg/m ³
Indizes und Abkürzungen		
Zeichen	Bedeutung	
a	Außen	
AbKM	Absorptionskältemaschine	
AdKM	Adsorptionskältemaschine	
aus	Austritt	
BES	Be- und Entladesystem	
BHKW	Blockheizkraftwerk	
DSK	Dampfstrahlkältemaschine	
eff	Effektiv	
ein	Eintritt	
HKW	Heizkraftwerk	
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung	
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung	
m	Mittlere	
max	Maximum, maximal	
min	Minimum, minimal	
Umg	Umgebung	
Ver	Verlust	

Vorwort

Saubere, frische und angenehm temperierte Luft ist entscheidend für die Behaglichkeit von Räumen. Auch die Feuchte der Raumluft und die Temperatur der umgebenden Raumflächen sind wichtige Parameter für Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit von Menschen. Aufgabe der Klimatechnik ist es, solche Raumbedingungen aufrecht zu erhalten.

Raumluftechnische Anlagen – gleich welcher Art – erhöhen den Energiebedarf, das Investitionsvolumen und die Betriebskosten eines Gebäudes. Ziel jeder Gebäudeplanung sollte es daher sein, den Kühlungsbedarf zu minimieren. Dennoch ist es in vielen Fällen notwendig, aktive Systeme zur Regelung von Temperatur und Raumluftheuchte einzusetzen. In Kongresszentren, Theatern, Warenhäusern, Hochhäusern usw. lässt sich ein behagliches Raumklima in der Regel nur mit raumluftechnischen Anlagen zuverlässig aufrechterhalten.

Bisher werden für die Gebäudeklimatisierung hauptsächlich elektrisch angetriebene Kompressionskältemaschinen eingesetzt. Wenn diese ohne Kältespeicher betrieben werden, belasten sie das Netz oftmals gerade zu Spitzenlastzeiten mit einem hohen Leistungsbedarf.

In den USA und Japan erreichen mit Gas befeuerte Absorptionskältemaschinen große Marktanteile. Diese nutzen im Sommer freie Kapazitäten des Gasnetzes und reduzieren so die Spitzenlasten des Stromnetzes. Mit dem hohen Temperaturniveau der Gasfeuerung sind Kälteleistungen bis zum 1,7-fachen der eingesetzten Wärmeleistung erreichbar.

In den letzten Jahren wächst das Interesse an wärmegetriebenen Kühl- und Entfeuchtungsverfahren, die Wärme auf niedrigem Temperaturniveau wie z. B. Fernwärme, Abwärme und insbesondere auch solare Wärme für die Klimatisierung zu nutzen. Das vorliegende BINE-Fachbuch soll einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Verfahren geben, die Wärme als Antriebsenergie für die Kälteerzeugung zu nutzen.

FIZ Karlsruhe GmbH
BINE Informationsdienst