BINE-Fachbuch

Hans-Martin Henning
Thorsten Urbaneck u. a.

Kühlen und Klimatisieren mit Wärme

2., erweiterte und vollständig überarbeitete Auflage

Fraunhofer IRB Verlag

BINE Informationsdienst

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

BINE-Fachbuch

Hans-Martin Henning, Thorsten Urbaneck u. a.

Kühlen und Klimatisieren mit Wärme

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

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 Thümmler
Ulf Uhlig

Herausgeber
FIZ Karlsruhe
Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB Verlag

BINE Informationsdienst

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

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 9 70-25 00
Telefax +49 7 11 9 70-25 08
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

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

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

4.1.3 Solare Klimatisierung eines Unterrichtraumes 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

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

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	$W/(m^2K)$
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	

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

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.

Raumlufttechnische 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 Raumluftfeuchte einzusetzen. In Kongresszentren, Theatern, Warenhäusern, Hochhäusern usw. lässt sich ein behagliches Raumklima in der Regel nur mit raumlufttechnischen 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

https://doi.org/10.51202/9783816794028-1
Generiert durch IP '3.144.89.238', am 16.06.2024, 06:45:22.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.