

T a ANW5 - HEN

Bertram Hense · Martin Baur

# Mechatronik für Kältetechnik

Arbeitsbuch für Praxis, Aus- und Weiterbildung



VDE VERLAG GMBH

ICS 27.200; 91.140.30; 27.080

Alle in diesem Buch enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse usw. wurden von den Verfassern, Herausgebern und sonstigen Beteiligten nach bestem Wissen erstellt und von ihnen und dem Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch sind inhaltliche Fehler nicht völlig auszuschließen. Daher erfolgen die Angaben usw. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie des Verlags, der Verfasser, der Herausgeber oder der sonstigen Beteiligten. Sie übernehmen deshalb keinerlei Verantwortung und Haftung für etwa vorhandene inhaltliche Unrichtigkeiten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbeschreibungen etc. berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und von jedermann benutzt werden dürfen. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebenen Lösungen frei von gewerblichen Schutzrechten (z. B. Patente, Gebrauchsmuster) sind. Eine Haftung des Verlags für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Programme, Schaltungen und sonstigen Anordnungen oder Anleitungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts des Werks ist ausgeschlossen. Die gesetzlichen und behördlichen Vorschriften sowie die technischen Regeln (z. B. das VDE-Vorschriftenwerk) in ihren jeweils geltenden Fassungen sind unbedingt zu beachten.

#### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8007-5373-4 (Print)

ISBN 978-3-8007-5374-1 (E-Book)

Alle Rechte vorbehalten.

Titelbild: Martin Baur

© 2024 VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach  
Bismarckstr. 33, 10625 Berlin

Satz: Reemers Publishing Services GmbH, Krefeld  
Druck: mediaprint solutions GmbH, Paderborn  
Printed in Germany

2024-01

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Physikalisches Fachwissen</b> .....                                   | <b>11</b> |
| 1.1      | Temperatur .....   | 11        |
| 1.1.1    | Temperaturskalen .....   | 12        |
| 1.2      | Druck .....  | 13        |
| 1.2.1    | Druck durch feste Körper auf den Untergrund .....                        | 14        |
| 1.2.2    | Flüssigkeitsdruck (hydrostatischer Druck) .....                          | 15        |
| 1.2.3    | Druckmessung .....   | 16        |
| 1.2.4    | Pressostate .....  | 20        |
| 1.3      | Ausdehnung durch Temperaturänderung, Temperaturmessung .....             | 30        |
| 1.3.1    | Ausdehnung fester Körper .....   | 31        |
| 1.3.2    | Ausdehnung von Flüssigkeiten .....                                       | 33        |
| 1.3.3    | Ausdehnung von Gasen .....   | 34        |
| 1.3.4    | Temperaturmessung, Thermostate .....                                     | 37        |
| 1.4      | Wärme, Energie, Arbeit .....   | 42        |
| 1.4.1    | Das mechanische Wärmeäquivalent, 1. Hauptsatz der Wärmelehre .....       | 42        |
| 1.4.2    | Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre .....                                    | 43        |
| 1.4.3    | Wärmeübertragung .....   | 44        |
| 1.4.4    | Latente und sensible Wärmemengen .....                                   | 51        |
| 1.4.5    | Enthalpie .....  | 56        |
| 1.4.6    | Entropie .....   | 58        |
| 1.5      | Kreisprozesse in Kälteanlagen .....                                      | 59        |
| 1.5.1    | Aufbau des log p,h-Diagramms .....                                       | 61        |
| 1.5.2    | Der einfache Kältemittelkreislauf im log p,h-Diagramm .....              | 67        |
| 1.5.3    | Reale Kältemittelkreisläufe .....  | 73        |
| <b>2</b> | <b>Kältemittel</b> .....   | <b>77</b> |
| 2.1      | Grundlagen .....   | 77        |
| 2.2      | Chemische Zusammensetzung von Kältemitteln .....                         | 79        |
| 2.2.1    | Kältemittelgruppen .....   | 79        |
| 2.2.2    | Organische Einstoffkältemittel (reine Kältemittel) .....                 | 80        |
| 2.2.3    | Kältemittelgemische .....  | 83        |
| 2.2.4    | Anorganische Kältemittel .....   | 86        |
| 2.2.5    | Organische Kältemittel .....   | 91        |
| 2.3      | Gesetzliche Vorschriften .....   | 92        |
| 2.3.1    | Regelung zu ozonabbauenden Stoffen .....                                 | 93        |
| 2.3.2    | Gesetzliche Vorgaben zur Absenkung der CO <sub>2</sub> -Emissionen ..... | 94        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 2.4      | Sicherheit beim Umgang mit Kältemitteln .....                        | 98         |
| 2.4.1    | Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Kältemitteln .....                   | 99         |
| 2.5      | Übersicht zurzeit verwendeter Kältemittel .....                      | 100        |
| 2.6      | Kältemaschinenöl .....   | 103        |
| <b>3</b> | <b>Hauptteile einer Kälteanlage oder Wärmepumpe .....</b>            | <b>107</b> |
| 3.1      | Kältemittelverdichter .....  | 107        |
| 3.1.1    | Bauformen von Kältemittelverdichtern .....                           | 108        |
| 3.1.2    | Verdichterbauarten .....   | 118        |
| 3.1.3    | Kältemaschinenöl im Verdichter .....                                 | 135        |
| 3.1.4    | Absorption .....   | 140        |
| 3.2      | Verflüssiger .....   | 142        |
| 3.2.1    | Luftgekühlte Verflüssiger .....                                      | 143        |
| 3.2.2    | Wassergekühlte Verflüssiger .....                                    | 146        |
| 3.3      | Verdampfer .....   | 151        |
| 3.3.1    | Verdampfer zur Luftkühlung .....                                     | 152        |
| 3.3.2    | Verdampfer zur Flüssigkeitskühlung .....                             | 157        |
| 3.4      | Drosselorgane .....  | 159        |
| 3.4.1    | Das Kapillarrohr .....   | 160        |
| 3.4.2    | Thermostatische Expansionsventile .....                              | 162        |
| 3.5      | Kältemittelführende Rohrleitungen .....                              | 182        |
| 3.5.1    | Allgemeine Hinweise .....  | 182        |
| 3.5.2    | Rohrleitungsmaterial .....   | 184        |
| <b>4</b> | <b>Fachgerechte Installation einer einfachen Kälteanlage .....</b>   | <b>195</b> |
| 4.1      | Bauteile und Baugruppen einer einfachen ortsfesten Kälteanlage ..... | 195        |
| 4.1.1    | Installation kältemittelführender Rohrleitungen .....                | 195        |
| 4.1.2    | Bauteile für die Funktion und Wartung .....                          | 213        |
| 4.2      | Sicherheiten für den Betrieb von Kälteanlagen .....                  | 222        |
| 4.2.1    | Schutz der Kälteanlage gegen überhöhten Druck .....                  | 222        |
| 4.3      | Olauflangsystem .....  | 233        |
| 4.4      | Einfache Kälteanlage im Pump-Down-Betrieb .....                      | 234        |
| <b>5</b> | <b>Inbetriebnahme von Kälteanlagen und Anlagenteilen .....</b>       | <b>239</b> |
| 5.1      | Prüfungen bei Inbetriebnahme ohne Kältemittelfüllung .....           | 239        |
| 5.1.1    | Sichtprüfung .....   | 239        |
| 5.1.2    | Druckfestigkeitsprüfung .....  | 240        |
| 5.1.3    | Dichtheitsprüfung .....  | 241        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2      | Befüllen der Anlage mit Kältemittel  | 243        |
| 5.2.1    | Fachgerechtes Evakuieren   | 243        |
| 5.2.2    | Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Kältemitteln   | 245        |
| 5.2.3    | Einfüllen von Kältemitteln   | 246        |
| 5.3      | Prüfungen bei Inbetriebnahme mit Kältemittelfüllung                                  | 247        |
| 5.3.1    | Funktionsprüfung und Einstellen der Anlagenparameter                                 | 247        |
| 5.3.2    | Prüfung aller Sicherheitsbauteile  | 249        |
| 5.3.3    | VDE-Messung  | 250        |
| 5.3.4    | Messprotokoll, Dokumentation und Kennzeichnung                                       | 250        |
| 5.3.5    | Übergabe an den Kunden mit Einweisung  | 251        |
| <b>6</b> | <b>Instandhaltung von Kälteanlagen</b>   | <b>253</b> |
| 6.1      | Wartung als vorbeugende Instandhaltung   | 254        |
| 6.1.1    | Sichtprüfung   | 254        |
| 6.1.2    | Reinigung  | 255        |
| 6.1.3    | Funktionsprüfung   | 255        |
| 6.1.4    | Prüfung der Sicherheitsbauteile  | 256        |
| 6.1.5    | Dokumentation  | 256        |
| 6.1.6    | Wiederkehrende Dichtheitsprüfung   | 257        |
| 6.2      | Reparaturen (Instandsetzung) als korrektive Instandhaltung                           | 258        |
| 6.3      | Anforderungen an Rückgewinnung, Wiederverwendung und Entsorgung                      | 259        |
| 6.3.1    | Wiederverwertung und Entsorgung von Kältemittel                                      | 260        |
| 6.3.2    | Wiederverwertung und Entsorgung von Kältemaschinenöl                                 | 261        |
| <b>7</b> | <b>Kälteanlagen mit Fallbeispielen, Berechnungsgrundlagen und Komponentenauswahl</b> | <b>263</b> |
| 7.1      | Kältebedarf oder Kühllastberechnung  | 263        |
| 7.1.1    | Leistungszahl <i>EER</i>   | 266        |
| 7.1.2    | Betriebskostenberechnung   | 268        |
| 7.2      | Auswahl des Verflüssigungssatzes   | 269        |
| 7.3      | Auswahl des Luftkühlers mit TEV  | 273        |
| 7.3.1    | Verdampferauswahl nach Katalog   | 274        |
| 7.3.2    | Verdampferauswahlprogramm  | 278        |
| 7.3.3    | Schnellauswahl thermostatisches Expansionsventil (TEV)                               | 278        |
| 7.3.4    | TEV-Auswahlprogramm  | 283        |
| 7.3.5    | Auswahl elektronisches Expansionsventil (AKV und ETS)                                | 284        |
| 7.4      | Zusatzunterkühler für Kältemittelflüssigkeit   | 286        |
| 7.4.1    | Zusatzunterkühlung   | 288        |
| 7.5      | Rohrdämmung  | 299        |
| 7.5.1    | Rohrdämmung zum Kondensationsschutz  | 300        |
| 7.5.2    | Brandschutz bei der Rohrdämmung  | 302        |
| 7.5.3    | Montagehinweise zur Rohrdämmung  | 306        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 7.6      | Einsatz von Druckreglern in Kälteanlagen .....                 | 309        |
| 7.6.1    | Verdampfungsdruckregler .....                                  | 313        |
| 7.6.2    | Verflüssigungsdruckregler .....                                | 315        |
| 7.6.3    | Sammlerdruckregler .....                                       | 317        |
| 7.6.4    | Startdruckregler .....   | 317        |
| 7.6.5    | Heißgasbypassregler .....                                      | 319        |
| <b>8</b> | <b>Kälteanlagen mit mehreren Verdichtern .....</b>             | <b>323</b> |
| 8.1      | Verbundsysteme .....   | 323        |
| 8.1.1    | Regelung der Verbundanlage .....                               | 324        |
| 8.1.2    | Olmanagement in Verbundanlagen .....                           | 326        |
| 8.2      | Zweistufige Kälteanlagen .....                                 | 331        |
| 8.2.1    | Kaskade .....  | 331        |
| 8.2.2    | Booster .....  | 334        |
| 8.3      | CO <sub>2</sub> -Anlagen .....                                 | 339        |
| 8.3.1    | Kaskade als subkritische CO <sub>2</sub> -Anlage .....         | 339        |
| 8.3.2    | Transkritische CO <sub>2</sub> -Anlagen .....                  | 340        |
|          | <b>Verzeichnis der zitierten Normen und Vorschriften .....</b> | <b>345</b> |
|          | <b>Stichwortverzeichnis .....</b>                              | <b>347</b> |