

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                                                                          |          |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                                                                                        | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>Physikalische Kenndaten von Kältemaschinenölen</b>                                                                                    | <b>7</b> |
| 2.1      | Bestimmung der Farbe (ASTM-Skala) gemäß DIN ISO 2049                                                                                     | 7        |
| 2.2      | Dichte nach DIN 51 757                                                                                                                   | 7        |
| 2.3      | Kinematische Viskosität gemäß DIN EN ISO 3104                                                                                            | 8        |
| 2.4      | Neutralisationszahl nach DIN 51 558, Teil 1 (Juli 1979)                                                                                  | 8        |
| 2.5      | Gesamtbasenzahl nach DIN ISO 3771 –<br>Bestimmung durch potentiometrische Titration                                                      | 9        |
| 2.6      | Verseifungszahl nach DIN 51 559, Teil 2 (April 2009)                                                                                     | 10       |
| 2.7      | Wassergehalt nach DIN 51 777                                                                                                             | 11       |
| 2.8      | Pourpoint nach DIN ISO 3016                                                                                                              | 11       |
| 2.9      | Bestimmung des Flamm- und Brennpunkts (Verfahren<br>mit offenem Tiegel nach Cleveland) nach DIN EN ISO 2592                              | 12       |
| 2.10     | Kältemittelmischbarkeit, Bestimmung der Mischungslücke<br>von Kältemaschinenöl in Kältemitteln mit dem Druckrohrverfahren,<br>DIN 51 514 | 13       |
| 2.11     | Bestimmung des Flockpunkts von Kältemaschinenölen<br>mit dem Druckrohrverfahren, DIN 51 351 (August 2007)                                | 15       |
| 2.12     | Kältemittelbeständigkeit nach ASHRAE 97-1999                                                                                             | 16       |
| 2.13     | Chemische Stabilität / Hygroskopie von Kältemaschinenölen:                                                                               | 17       |
| 2.14     | Thermische Stabilität                                                                                                                    | 18       |
| 2.15     | Prüfung von Kältemaschinenölen auf Ammoniak-Beständigkeit<br>nach DIN 51 538 (1998)                                                      | 18       |
| 2.16     | Gemischviskosität und Dampfdruck; Daniel-Plot                                                                                            | 19       |
| 2.17     | Dichtungen und Elastomere – Elastomerverträglichkeit von<br>Kältemaschinenölen                                                           | 22       |
| 2.18     | Kennwerte von Basisflüssigkeiten für Kältemaschinenöle für<br>Auslegung und Abschätzung                                                  | 23       |
| 2.18.1   | Spezifische Wärmekapazität                                                                                                               | 24       |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>3 Kältemaschinenöle – Grundöltypen</b>                                                      | 31 |
| 3.1 Mineralöle                                                                                 | 31 |
| 3.2 Synthetische Kältemaschinenöle auf Alkylbenzolbasis (AB)                                   | 34 |
| 3.3 Synthetische Kältemaschinenöle auf Kohlenwasserstoffbasis; Polyalphaolefine (PAO)          | 35 |
| 3.4 Synthetische Kältemaschinenöle auf Polyolesterbasis (POE)                                  | 36 |
| 3.5 Synthetische Kältemaschinenöle auf Polyglykol-Basis (PAG)                                  | 39 |
| 3.6 Synthetische Kältemaschinenöle auf Polyvinylether-Basis (PVE)                              | 42 |
| 3.7 Typische Kennwerte von Kältemaschinenölen auf Basis unterschiedlicher Grundöle – Übersicht | 42 |
| <b>4 Kältemittelverdichter</b>                                                                 | 45 |
| 4.1 Kolbenverdichter                                                                           | 47 |
| 4.2 Scroll-Verdichter                                                                          | 55 |
| 4.3 Schraubenverdichter                                                                        | 57 |
| 4.4 Turboverdichter                                                                            | 60 |
| 4.5 Auswahl von Kältemaschinenölen für Kältemittelverdichter – Übersicht                       | 61 |
| <b>5 Kältemittel</b>                                                                           | 65 |
| 5.1 Kältemittel-Historie                                                                       | 65 |
| 5.2 Kältemittel für Verdichter-Kältemaschinen                                                  | 67 |
| 5.3 Kältemittelgemische                                                                        | 68 |
| 5.3.1 Azeotropes Gemisch                                                                       | 68 |
| 5.3.2 Nichtazeotropes Gemisch                                                                  | 69 |
| 5.3.3 Nahe-azeotropes Gemisch                                                                  | 69 |
| 5.3.4 Temperatur-Glide                                                                         | 69 |
| 5.4 Wichtige Kältemittel auf Basis halogenierter Kohlenwasserstoffe                            | 70 |
| 5.4.1 HFCKW/FCKW – Kältemittel (Fluorchlorkohlenwasserstoffe)                                  | 70 |
| 5.4.2 HFKW/FKW – Kältemittel (Fluorkohlenwasserstoffe)                                         | 71 |
| 5.5 Natürliche Kältemittel                                                                     | 76 |
| 5.5.1 Kältemittel Ammoniak (NH <sub>3</sub> , R717)                                            | 76 |
| 5.5.2 Kältemittel Propan (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> , R290)              | 78 |
| 5.5.3 Kältemittel Propen (Propylen, CH <sub>2</sub> CHCH <sub>3</sub> , R1270)                 | 79 |
| 5.5.4 Kältemittel Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> , R744)                                        | 80 |
| 5.6 Kältemittel – Übersicht                                                                    | 83 |

|           |                                                                                                                             |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>6</b>  | <b>Schmierstoffe für natürliche Kältemittel</b>                                                                             | 89  |
| 6.1       | Schmierstoffe für Ammoniak (NH <sub>3</sub> , R717)                                                                         | 89  |
| 6.2       | Schmierstoffe für Kohlenwasserstoffe (Propan R290, Propan R1270, Isobutan R600a, u.a.)                                      | 91  |
| 6.3       | Schmierstoffe für CO <sub>2</sub>                                                                                           | 93  |
| <b>7</b>  | <b>Klassifizierung von Kältemaschinenölen</b>                                                                               | 101 |
| 7.1       | Anforderungen an Kältemaschinenöle – DIN 51 503, Teil 1                                                                     | 101 |
| 7.2       | Beurteilung gebrauchter Kältemaschinenöle (gemäß DIN 51 503, Teil 2)                                                        | 104 |
| <b>8</b>  | <b>Ausstieg aus der Verwendung des Kältemittels R22. Was ist zu beachten?</b>                                               | 109 |
| 8.1       | Die gesetzliche Lage                                                                                                        | 109 |
| 8.2       | Ausgangssituation                                                                                                           | 111 |
| 8.3       | Auswahl von Kältemittel für den R22-Ersatz                                                                                  | 112 |
| 8.4       | Kältemaschinenöle für R22-Nachgekaltemittel (Drop-In oder Retrofit)                                                         | 113 |
| 8.5       | Kältemittelmischbarkeit                                                                                                     | 115 |
| 8.6       | Ölviskosität und Verschleißschutz                                                                                           | 119 |
| 8.7       | Hygroskopie                                                                                                                 | 120 |
| 8.8       | Ablagerungsneigung und Abreinigungseffekte                                                                                  | 121 |
| 8.9       | Ölanalysen                                                                                                                  | 121 |
| 8.10      | Arbeitssicherheit                                                                                                           | 122 |
| 8.11      | Umweltaspekte                                                                                                               | 122 |
| 8.12      | Ablaufdiagramm Umrüstung von R22/Mineralöl auf R507/POE-Öl                                                                  | 123 |
| <b>9</b>  | <b>Kältemaschinenöle Technische Daten – Übersicht</b>                                                                       | 125 |
| <b>10</b> | <b>Mischbarkeit und Löslichkeit von Kältemitteln und Kältemaschinenölen</b>                                                 | 131 |
| 10.1      | Kältemaschinenöle auf Mineralölbasis – spezielle Kältemaschinenöle für das Kältemittel Isobutan (R600a)                     | 131 |
| 10.2      | Kältemaschinenöle auf Mineralölbasis – spezielle naphthenbasierte Sonderraffinate                                           | 137 |
| 10.3      | Teilsynthetische Kältemaschinenöle auf Basis von Mineralöl / Alkylbenzol für HFCKW-Kältemittel und für Übergangskältemittel | 148 |

|                                   |                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.4                              | Vollsynthetische Kältemaschinenöle auf Basis von Alkylbenzol .....                                                      | 152        |
| 10.5                              | Vollsynthetische Kältemaschinenöle auf Polyolesterbasis (POE) .....                                                     | 164        |
| 10.6                              | Vollsynthetische Kältemaschinenöle auf Basis synthetischer Kohlenwasserstoffe (Polyalphaolefine – PAO).....             | 232        |
| 10.7                              | Vollsynthetische Kältemaschinenöle auf Basis von Polyalkylenglykol (PAG) für NH <sub>3</sub> -Anwendungen .....         | 237        |
| 10.8                              | Vollsynthetische Kältemaschinenöle auf Basis von Polyalkylenglykol (PAG) für R134a-Anwendungen .....                    | 244        |
| 10.9                              | Vollsynthetisches Kältemaschinenöl auf Basis spezieller Polyalkylenglykole (PAG) für CO <sub>2</sub> -Anwendungen ..... | 254        |
| 10.10                             | Vollsynthetische Kältemaschinenöle auf Polyolesterbasis (POE) für stationäre CO <sub>2</sub> -Anwendungen.....          | 257        |
| <b>Stichwortverzeichnis .....</b> |                                                                                                                         | <b>269</b> |