

ICS 43.040.60

**Straßenfahrzeuge –  
R744-Klimaanlagen –  
Expansionsventil (OTB);  
Text Deutsch und Englisch**

Road vehicles –  
R744-Air-conditioning systems –  
Orifice with bypass (OTB);  
Text in German and English

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:  
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer Vornorm erstellt.

Gesamtumfang 34 Seiten

# Inhalt

|                                                               | Seite     |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort .....</b>                                          | <b>3</b>  |
| <b>Einleitung.....</b>                                        | <b>4</b>  |
| <b>1 Anwendungsbereich .....</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>2 Normative Verweisungen .....</b>                         | <b>5</b>  |
| <b>3 Begriffe .....</b>                                       | <b>5</b>  |
| <b>4 Abkürzungen .....</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>5 Allgemeine Anforderungen an das Bauteil .....</b>        | <b>6</b>  |
| 5.1 Lebensdauer.....                                          | 6         |
| 5.2 Lagerfähigkeit .....                                      | 6         |
| <b>6 Funktionsbeschreibung .....</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>7 Technische Anforderungen an das OTB .....</b>            | <b>6</b>  |
| 7.1 Konstruktive Gestaltung .....                             | 6         |
| 7.2 Anforderungen an Fertigung und Werkstoffe.....            | 7         |
| 7.3 Akustisches Verhalten .....                               | 8         |
| <b>8 Betriebsbedingungen und Funktionsanforderungen .....</b> | <b>8</b>  |
| 8.1 Temperatur .....                                          | 8         |
| 8.2 Druck.....                                                | 8         |
| 8.3 Massenstrom .....                                         | 9         |
| 8.4 Ölumlauf .....                                            | 9         |
| 8.5 Regelverhalten .....                                      | 9         |
| 8.6 Kennlinie .....                                           | 9         |
| <b>9 Funktionsabsicherung .....</b>                           | <b>11</b> |
| 9.1 Allgemeines .....                                         | 11        |
| 9.2 Bestimmung der Betriebskennlinien .....                   | 11        |
| 9.3 Charakterisierung des OTB .....                           | 12        |
| 9.4 Charakterisierung des Bypass-Ventils.....                 | 12        |
| 9.5 Gasdichtheit .....                                        | 13        |
| 9.6 Unterdruckfestigkeit.....                                 | 14        |
| 9.7 Berstdruckfestigkeit .....                                | 14        |
| 9.8 Druckwechselfestigkeit.....                               | 14        |
| 9.9 Temperaturwechselfestigkeit .....                         | 15        |
| 9.10 Rüttelfestigkeit .....                                   | 15        |
| 9.11 Resonanz-Schwingprüfung .....                            | 15        |
| 9.12 Korrosionsbeständigkeit .....                            | 15        |
| 9.13 Dekompressionsprüfung .....                              | 16        |
| <b>10 Dichtheitsprüfung als Serienprüfung .....</b>           | <b>16</b> |
| 10.1 Allgemeines .....                                        | 16        |
| 10.2 Dichtheit nach Außen .....                               | 17        |

## Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitskreis NA 052-00-35-51 AK im DIN-Normenausschuss Automobiltechnik (NA Automobil) erstellt.

Dieses Dokument gehört zu einer Gruppe von miteinander zusammenhängenden Spezifikationen mit dem Titel „Straßenfahrzeuge — R744-Klimaanlagen“.

Eine DIN SPEC nach dem Vornorm-Verfahren ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Erfahrungen mit dieser DIN SPEC sind erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an [fritzsche@vda.de](mailto:fritzsche@vda.de) in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Automobiltechnik (NA Automobil), Behrenstr. 35, 10117 Berlin

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

## **Einleitung**

Die Spezifikationsreihe „Straßenfahrzeuge — R744-Klimaanlagen“ dient der Standardisierung von Komponenten des R744-Kältekreislaufs für PKW bzw. der Standardisierung der Anforderungen an diese Komponenten. Ebenso sind Anforderungen für die Prozesse zur Entwicklung und Qualifikation beschrieben. So können die Komponenten in gleicher oder ähnlicher Ausführung in allen R744-Fahrzeugklimaanlagen eingesetzt werden.

## 1 Anwendungsbereich

Diese DIN SPEC gilt für R744-Klimaanlagen und legt die Funktionen und Anforderungen aus Sicht der Fahrzeughersteller für die Güte, Festigkeit und Lebensdauer und entsprechende Prüfungen für Expansionsventile mit Bypass (OTB) fest, die in Kältekreisläufen mit dem Kältemittel R744 betrieben werden.

Die angegebenen Drücke sind stets absolute Drücke.

**ANMERKUNG** Die DIN SPEC erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit und ersetzt nicht die Entwicklungsverantwortung der Komponentenhersteller.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN SPEC 74102, *Straßenfahrzeuge — R744 Klimaanlagen — Verbindungstechnik*

DIN EN ISO 9227, *Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären — Salzsprühnebelprüfungen*

VDA Band 19, *Prüfung der Technischen Sauberkeit — Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### **Berstdruck**

innerer Druck in einem Bauteil, bei dem die Struktur beschädigt wird und eine Kältemittelleckage eintritt

## 4 Abkürzungen

|                  |                                                           |
|------------------|-----------------------------------------------------------|
| HD               | Hochdruck                                                 |
| HV               | Härte nach Vickers                                        |
| IWT              | Innerer Wärmetauscher                                     |
| $\dot{m}$        | Kältemittelmassenstrom                                    |
| ND               | Niederdruck                                               |
| OTB              | Expansionsventil mit Bypass (en: Orifice Tube mit Bypass) |
| $P_{\text{öff}}$ | Öffnungsdruck des Bypass-Querschnitts                     |
| PAG              | Polyalkylenglykol (KMV-Schmiermittel)                     |
| ZB               | Zusammenbau                                               |

## 5 Allgemeine Anforderungen an das Bauteil

### 5.1 Lebensdauer

Die Funktion des Bauteiles ist für eine mittlere Fahrzeuglebensdauer von mindestens 15 Jahren oder 300 000 km oder 8 000 Betriebsstunden sicherzustellen.

### 5.2 Lagerfähigkeit

Die in dieser Funktionsbeschreibung für OTB geforderten Eigenschaften sind bis 10 Jahre nach der Fertigung noch sicherzustellen.

## 6 Funktionsbeschreibung

Das OTB entspannt das unter hohem Druck stehende Kältemittel mittels einer den Systemanforderungen angepassten Drosselblende auf ein niedriges Druckniveau. Dabei kühlt sich das Kältemittel ab. Beim Entspannen des Kältemittels entsteht am Austritt des OTBs eine 2-Phasenströmung mit niedrigem Dampfanteil, welche in den Verdampfer einströmt.

Der hochdruckgesteuerte Bypass öffnet jenseits eines vorgegebenen HD und vergrößert den engsten Strömungsquerschnitt. Der geöffnete Bypass erlaubt eine erhebliche Erhöhung des Kältemittelmassenstroms (Erhöhung der Kälteleistung), wobei der HD nur noch leicht ansteigt (HD-Begrenzung). Der Bypass ist fähig, Druckspitzen wirksam abzufangen.

Diese Aufgaben und Funktionen des OTB müssen in jedem Betriebszustand des Kältekreis und über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs sichergestellt sein. Bei Änderung während der laufenden Serie muss Austauschbarkeit sichergestellt sein.

## 7 Technische Anforderungen an das OTB

### 7.1 Konstruktive Gestaltung

#### 7.1.1 Allgemeines

Das OTB besteht aus einem Drosselventil mit fixem Querschnitt und einem parallelen, HD-gesteuerten Bypass mit einem variablen Drosselquerschnitt (Bypass).

Der Bypass besitzt einen vorgegebenen, fest eingestellten Öffnungsdruck. Nach dem Öffnen des Bypass vergrößert sich dessen Drosselquerschnitt in Abhängigkeit des HD im Zulauf.

Das OTB ist mit einem Filterelement am Eintritt als Schutz gegenüber Verschmutzung zu versehen.

#### 7.1.2 Gewicht

Das Gewicht sollte so gering wie möglich sein, sollte aber nicht mehr als 200 g betragen.

ANMERKUNG Das Gewicht ist von der verwendeten Verbindungstechnik sowie der konkreten Variante abhängig und kann deshalb je nach Bauform und Packageanforderung auch abweichen.

#### 7.1.3 Einbauort

Das OTB ist stets in der Leitung zwischen dem HD-seitigen Austritt des IWT und dem Eintritt in den Verdampfer positioniert. Die Komponente kann im Motorraum angebracht sein. Die bevorzugte Einbaulage des OTB ist senkrecht. Eine Schräglage von bis zu 90° in alle Richtungen darf die Funktion des Ventils nicht beeinflussen.

#### 7.1.4 Einbindung

Die Schnittstellen des OTB sind durch die Ausführung und Lage der Anschlüsse der Kältemittelleitungen definiert.

Die Art der Kältemittelleitungsanschlüsse ist von der verwendeten Verbindungstechnik abhängig. Diese wiederum ist anwendungsspezifisch und ist in einer gesonderten Funktionsvorschrift beschrieben.

Bei der Auslegung der Komponente ist das Anzugsmoment, das beim Anbringen der Anschlüsse auf die Komponente übertragen wird, zu berücksichtigen. Unter Umständen ist an der Komponente eine Kontermöglichkeit vorzusehen.

Das Anzugsmoment beträgt  $10 \text{ Nm} \pm 20 \%$ .

#### 7.1.5 Geometrie

Die maximale Größe eines OTB für R744 einschließlich Filter beträgt:

- Breite: 30 mm,
- Länge: 40 mm,
- Höhe: 75 mm.

ANMERKUNG Diese Werte können eventuell im spezifischen Fahrzeugprojekt abweichen.

#### 7.1.6 Filter

Das OTB ist mit einem Filterelement am Eintritt als Schutz gegenüber Verschmutzung zu versehen. Die Siebgröße ist den in den Komponentenspezifikationen erlaubten Verunreinigungen anzupassen, so dass Partikel, die Schaden verursachen könnten, sicher vom Sieb zurückgehalten werden. Die Auswahl der freien Siebfläche muss sicherstellen, dass einer erhöhten Drosselung des Kältemittelflusses durch ein Zusetzen des Filterelementes vor der Orifice-Öffnung ausgeschlossen ist.

Die vor dem Filter deponierbare Masse an Verunreinigungen muss mindestens 40 mg betragen.

### 7.2 Anforderungen an Fertigung und Werkstoffe

#### 7.2.1 Allgemeines

Die Anforderungen der DIN SPEC 74102 müssen erfüllt werden.

Die Gasdichtheit ist bei der Anbindung der Verbindungstechnik an das OTB sicherzustellen.

Die Verwendung von Elastomeren ist zu vermeiden. Ist dies nicht möglich, so müssen das OTB und die verbauten Elastomere beständig gegenüber explosiver Dekompression sein. In diesem Fall muss die Dekompressionsprüfung nach 9.13 durchgeführt werden.

#### 7.2.2 Medienbeständigkeit und chemische Anforderungen

Für die Auslegung des OTB müssen die Belastungen im Motorraum wie Temperatur (Motorwärmestrahlung), äußere Bedingungen (Wasser, Salzbelastung im Winter) berücksichtigt werden. Dabei darf die Lebensdauer nicht beeinträchtigt werden.

#### 7.2.3 Chemische Beständigkeit

Die äußeren Oberflächen des OTB müssen allen im Fahrbetrieb auftretenden motorraumseitigen und klimatischen Einflüssen standhalten.

Die inneren Oberflächen des OTB müssen gegen R744-Kältemittel und das Kältemaschinenöl (PAG-Öl) in allen Betriebszuständen des R744-Kältekreislaufs beständig sein, es darf dadurch keine Funktionsbeeinträchtigung auftreten.

#### **7.2.4 Wassergehalt**

Der Wassergehalt im OTB darf max. 5 mg betragen.

Das Prüfverfahren sollte zwischen Fahrzeughersteller und Lieferant abgestimmt werden.

#### **7.2.5 Technische Sauberkeit**

Die technische Sauberkeit der inneren Oberflächen ist nach VDA Band 19 zu bestimmen.

Das Bauteil muss so gestaltet und ausgeführt sein, dass keine Rückstände, Ablagerungen, Späne, Fette oder Öle (ausgenommen Kältemaschinenöl) enthalten sind.

Unlösliche, ablösbare und/oder schwemmable Verunreinigungen dürfen eine maximale Masse von 0,3 mg nicht überschreiten, wobei die Härte  $< 400$  HV und die Größe der Partikel  $< 200 \mu\text{m}$  sein muss. Staub- und Textilfussel bis zu einer Größe von maximal  $50 \mu\text{m} \times 1\,000 \mu\text{m}$  sind zulässig. An Dichtflächen sind oben genannte Partikel nicht zulässig.

Die Bestimmung der löslichen und unlöslichen Verunreinigungen muss in Absprache zwischen Fahrzeughersteller und Lieferant erfolgen.

### **7.3 Akustisches Verhalten**

Das OTB wird mit unterschiedlichem R744-Massenstrom, wechselnden Temperaturen und Drücken, verschiedener Kältemittel-Dampfqualität und Kältemaschinenöl-Anteilen durchströmt. Die Bedingungen treten stationär und instationär auf.

Das OTB muss bei allen in einem R744-Fahrzeugkältekreislauf auftretenden Betriebsbedingungen bezüglich Strömungs- und mechanischen Geräuschen akustisch unauffällig sein und über die Lebensdauer bleiben.

Die Resonanzfrequenzen des OTB müssen zum Vergleich mit anregenden Frequenzen so abgestimmt werden, dass einem Aufschwingen des Feder-Masse-Systems im Fahrzeug vorgebeugt wird.

## **8 Betriebsbedingungen und Funktionsanforderungen**

### **8.1 Temperatur**

Die Funktion des OTB muss bei folgenden Temperaturen dauerhaft sichergestellt sein:

— im ausgeschalteten Zustand:  $-40\text{ °C}$  bis  $120\text{ °C}$

Dies entspricht den zulässigen Umgebungstemperaturen, wobei sowohl externe Einflüsse (Wetter, Motorraum) als auch interne Einflüsse zu berücksichtigen sind.

— im Betrieb: Umgebungstemperatur:  $-5\text{ °C}$  bis  $120\text{ °C}$ ;

HD-seitig: Dauerlast:  $5\text{ °C}$  bis  $50\text{ °C}$ , kurzzeitig:  $70\text{ °C}$ ;

ND-seitig: Dauerlast:  $-5\text{ °C}$  bis  $20\text{ °C}$ , kurzzeitig:  $-12\text{ °C}$ .

### **8.2 Druck**

Das OTB ist den Drücken nach Tabelle 1 ausgesetzt.

Tabelle 1 — Drücke

|                                                                          | HD-Seite | ND-Seite |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| maximaler Druck, MPa<br>(max. Öffnungsdruck Druckentlastungseinrichtung) | 17       | 13       |
| maximal zulässiger Druck, MPa                                            | 16       | 12       |
| maximaler Betriebsdruck / Ruhedruck, MPa                                 | 14       | 9,5      |
| minimaler Betriebsdruck, MPa                                             | 3        | 3        |

### 8.3 Massenstrom

Das OTB muss für Massenströme im Dauerbetrieb bis 300 kg/h ausgelegt sein.

### 8.4 Ölumlauf

Der umlaufende Schmierstoff muss bei der Auslegung des fixen und variablen Drosselquerschnittes berücksichtigt werden.

Der inkompressible Schmierstoff versperrt einen Teil des Drosselquerschnittes, so dass entsprechend größer dimensioniert werden muss, um diesen Effekt zu kompensieren.

### 8.5 Regelverhalten

Dynamische Veränderungen im Kältekreislauf müssen vom OTB verarbeitet werden, das OTB darf dabei keine kritischen Druckschwankungen erzeugen oder den Kältekreislauf zum Schwingen anregen.

### 8.6 Kennlinie

#### 8.6.1 Beschreibung der Kennlinie

Die Auslegung der Drosseleigenschaften des OTB muss zu einer zweitstufigen Massenstrom-Kennlinie führen. Sie ist in Bild 1 für eine konstante Kältemittel-Eintrittsdichte und einen konstanten Niederdruck (4 MPa) dargestellt. Der erste Abschnitt der Kennlinie wird durch die Drosseleigenschaften einer Blende definiert. Der zweite Abschnitt wird durch die mechanischen Eigenschaften des Bypass-Mechanismus und dessen Drosseleigenschaften bestimmt.

Die Überprüfung der Kennlinie erfolgt durch Erreichen von fahrzeugprojektspezifisch zu definierenden Kältemittelmassenstromwerten (ölumlaufbereinigt) bei den folgenden Referenz-Drücken:

- $P_{O1} = P_{\text{öff}} - 4 \text{ MPa}$ ;
- $P_{O2} = P_{\text{öff}} - 1 \text{ MPa}$ ;
- $P_{B1} = P_{\text{öff}} + 0,2 \text{ MPa}$ ;
- $P_{B2} = 12,2 \text{ MPa}$ .

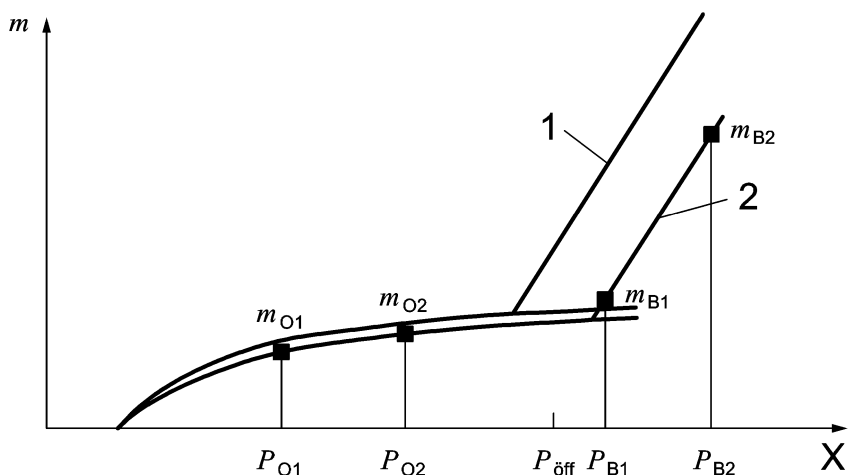
$P_{\text{öff}}$  ist der Öffnungsdruck des Bypasses.

ANMERKUNG  $P_{max}$  am Kompressorausgang = 13,3 MPa – 0,8 MPa max. Druckabfall über die HD-Seite – Toleranz für den p-Sensor. Die Öffnung des Ventils bei  $P_{B2}/\dot{m}_{B2}$  stellt nicht die maximale Öffnung des Bypassquerschnitts dar. Um Druckspitzen zu vermeiden, ist ein um mindestens 20 % höherer Massenstrom als  $\dot{m}_{B2}$  erforderlich.

Die für die Drücke  $P_{O1}$ ,  $P_{O2}$ ,  $P_{B1}$  bzw.  $P_{B2}$  geltenden Massenströme werden wie folgt definiert:

- $\dot{m}_{O1}$  = fahrzeugprojektspezifischer Nominalwert;
- $\dot{m}_{O2}$  = fahrzeugprojektspezifischer Nominalwert, wobei  $\dot{m}_{O2} > \dot{m}_{O1}$ ;
- $\dot{m}_{B1} \geq \dot{m}_{O2} + 15 \text{ kg/h}$ ;
- $\dot{m}_{B2} \geq \dot{m}_{O2} + 200 \text{ kg/h}$ .

Die Toleranz für die fahrzeugprojektspezifischen Kältemittelmassenstromwerte  $\dot{m}_{O1}$  und  $\dot{m}_{O2}$  beträgt  $\pm 10 \%$ . Die derzeit beschriebenen Werte für Druck und Massenstrom sind beispielhaft für einen Anwendungsfall. Die obere Grenzkennlinie ergibt sich aus Toleranzen von Durchmesser und  $p_{\text{öff}}$ .



#### Legende

- |   |                  |           |                        |
|---|------------------|-----------|------------------------|
| 1 | oberer Kennlinie | $\dot{m}$ | Kältemittelmassenstrom |
| 2 | untere Kennlinie | X         | Druck vor Ventil       |

**Bild 1 —Massenstromkennlinie eines OTB (beispielhaft bei nominal ND 4 MPa)**

### 8.6.2 Öffnungsdruck

Der Öffnungsdruck definiert den nominalen Druckwert, ab dem der Bypass-Mechanismus öffnet. Dieser Wert ist von der Druckdifferenz am Ventil im Moment des Öffnens abhängig, deshalb muss bei der Angabe des Öffnungsdruckes immer ein Referenz-ND genannt werden, z. B.  $P_{\text{öff}} (4 \text{ MPa}) = 11,5 \text{ MPa}$ . Der Ventillieferant muss durch geeignete, entweder mathematische oder experimentelle Methoden den Einfluss des ND auf den Öffnungsdruck quantifizieren und validieren. Die Öffnungsdruckverschiebung zwischen 3 MPa und 9 MPa darf maximal 0,42 MPa betragen.

### 8.6.3 Hysterese

Der Bypass-Mechanismus muss möglichst reibungsarm konzipiert sein, um ein adäquates dynamisches Ansprechverhalten zu ermöglichen. Die Hysterese, gemessen auf einem Systemprüfstand, wird als die Druckabweichung verstanden, die sich wegen der inneren Ventilreibung ergibt, wenn man das Ventil im Bypass-Modus betreibt und für gleiche Massenstromwerte sich unterschiedliche HD-Werte einstellen, je nachdem, ob der HD steigt oder fällt.

## 9 Funktionsabsicherung

### 9.1 Allgemeines

Die Prüftemperatur bei den folgenden physikalischen Prüfungen beträgt, soweit nicht anders angegeben,  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Falls nicht anders angegeben, sind für die Einzelprüfungen jeweils vier Teile erforderlich.

Das OTB wird teilweise vom Hoch- und teilweise vom Niederdruck beaufschlagt, die Trennung der beiden Bereiche ist aber nicht praktikabel. Daher sind die Dauerfestigkeitsprüfungen auf dem höheren Druckniveau durchzuführen.

### 9.2 Bestimmung der Betriebskennlinien

#### 9.2.1 Allgemeines

In Abhängigkeit von Druck und Temperatur vor und nach dem OTB wird eine Kältemittel-Massenstromkennlinie (öllumlaufbereinigt) versuchstechnisch ermittelt. Die gemessenen Massenstromwerte werden grafisch oder tabellarisch in Abhängigkeit des Drucks vor dem Expansionsorgan (bei konstanter Dichte am Eintritt des Expansionsorgans und konstantem Druck am Austritt des Expansionsorgans) dargestellt. Folgende kältemittelseitigen Randbedingungen gelten:

- Eintrittsdichte:  $850 \text{ kg/m}^3$ ;
- ND :  $4 \text{ MPa}$ .

Für die Sensorik am Prüfstand gelten folgende Genauigkeiten:

- Temperaturmessung:  $\pm 0,5 \text{ K}$ ;
- Druckmessung:  $\pm 50 \text{ kPa}$ ;
- Massenstrommessung:  $\pm 2,5 \text{ kg/h}$ .

#### 9.2.2 Durchführung

Die Ventilkennlinien müssen mit einem komplett aufgebauten Kältekreislauf vermessen werden (einschließlich Mess- und Hilfseinrichtungen). Dabei muss die im Kältekreislauf umlaufende Ölmenge durch Vorversuche bestimmt werden, die ermittelten Werte sind aufzuzeichnen.

Der Kältemittelmassenstrom wird von  $10 \text{ kg/h}$  bis maximal  $300 \text{ kg/h}$  in  $10\text{-kg/h}$ -Schritten oder kontinuierlich erhöht (Abbruch bei  $12,5 \text{ MPa}$  oder  $300 \text{ kg/h}$  am Eintritt des OTB). Durch Anpassung der luftseitigen Leistungen am Verdampfer und Gaskühler ist der Saugdruck ( $\pm 0,1 \text{ MPa}$ ) und die Eintrittsdichte ( $\pm 25 \text{ kg/m}^3$ ) am OTB näherungsweise konstant zu halten.

Anschließend wird der Massenstrom wieder in  $10\text{-kg/h}$ -Schritten oder kontinuierlich erniedrigt, um die Hysterese des gemessenen Ventils (Bypass) zu ermitteln.