

ICS 43.040.60

**Straßenfahrzeuge –
R744-Klimaanlagen –
Kältemittelleitungen und IWT in coaxialer Bauweise;
Text Deutsch und Englisch**

Road vehicles –
R744-Air-conditioning systems –
Refrigerant lines and IHX in coaxial design;
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 99 Seiten

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Abkürzungen	6
5 Allgemeine Anforderungen an das Bauteil	7
5.1 Lebensdauer.....	7
5.2 Lagerfähigkeit	7
6 Funktionsbeschreibung	7
6.1 Funktion der starren Kältemittelleitung	7
6.2 Funktion der flexiblen Kältemittelleitung	7
6.3 Funktion des inneren Wärmetauschers	7
7 Technische Anforderungen	7
7.1 Konstruktive Gestaltung	7
7.2 Anforderungen an Fertigung und Werkstoffe.....	11
7.3 Akustisches Verhalten	12
8 Betriebsbedingungen	12
8.1 Umgebungsbedingungen	12
8.2 Temperaturen	13
8.3 Drücke	13
9 Prüfungen	14
9.1 Allgemeines	14
9.2 Mögliche Toleranzen	14
9.3 Prüfmuster für Schlauch mit Armierung	14
9.4 Prüfmuster der ZB-Kältemittelleitung.....	15
9.5 Einzelprüfungen.....	15
9.6 Gasdichtheit	20
9.7 Statische Prüfungen	23
9.8 Dynamische Prüfungen.....	29
9.9 Korrosionsprüfung	37
9.10 Alterungsprüfungen	39
9.11 Leistungsanforderungen an den inneren Wärmetauscher	42
10 Serienprüfung	43
10.1 Allgemeines	43
10.2 Dichtheitsprüfung	43
Anhang A (informativ) Ermittlung von Leckageraten	44
Anhang B (informativ) Betriebsgrenzen für Drücke und Temperaturen.....	45
Literaturhinweise	47

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 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 Kältemittelleitungen und -schläuche sowie den inneren Wärmetauscher (IWT) in koaxialer Bauweise fest, die in Kältekreisläufen mit dem Kältemittel R744 betrieben werden.

Alle 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. Es gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

DIN 51777-1, *Prüfung von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen und Lösemitteln — Bestimmung des Wassergehaltes nach Karl Fischer — Direktes Verfahren*

DIN 51777-2, *Prüfung von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen und Lösungsmitteln — Bestimmung des Wassergehaltes, nach Karl Fischer — Indirektes Verfahren*

DIN 53508, *Prüfung von Kautschuk und Elastomeren — Künstliche Alterung*

DIN EN ISO 6270-2, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit — Teil 2: Verfahren zur Beanspruchung von Proben in Kondenswasserklimaten*

DIN EN ISO 9227, *Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären*

DIN EN ISO 18279:2004-04, *Hartlöten — Unregelmäßigkeiten in hartgelöteten Verbindungen (ISO 18279:2003); Deutsche Fassung EN ISO 18279:2003*

ISO 554, *Standard Atmospheres for Conditioning and/or Testing — Specifications*

SAE J 2842, *R1234yf and R744 Design Criteria and Certification for OEM Mobile Air Conditioning Evaporator and Service Replacements*

SAE J639, *Safety Standards for Motor Vehicle Refrigerant Vapor Compressions Systems*

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

3.2

Idle

Fahrzeugbetrieb im Stand bei Leerlaufdrehzahl

3.3

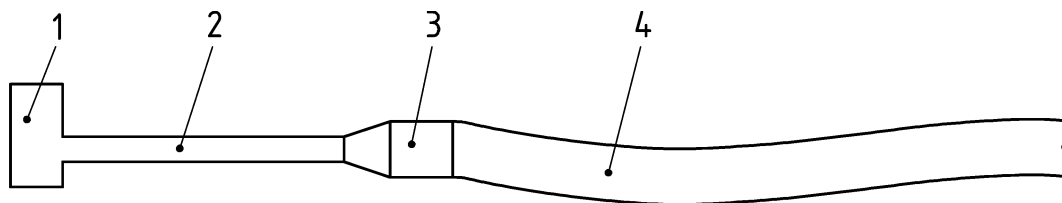
Armierung

Bereich der Kältemittelleitung, der starre mit flexiblen Teilen der Leitung verbindet

3.4 Kältemittelleitung

Rohr- und/oder Schlauchverbindung zum Transport des Kältemittels R744 zwischen den Komponenten des Kältekreislaufs (z. B. Verdichter, Gaskühler, Expansionsorgan, Akkumulator, innerem Wärmetauscher und Verdampfer)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.



Legende

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1 Verbindungselement | 3 Armierung |
| 2 starre Kältemittelleitung | 4 flexible Kältemittelleitung (Schlauch) |

Bild 1 — Kältemittelleitung

Anmerkung 2 zum Begriff: Für die Verbindungstechnik siehe DIN SPEC 74102.

3.5 starre Kältemittelleitung

Rohrleitung ohne flexiblen Schlauchanteil, vorzugsweise aus Aluminium, durch die das Kältemittel strömt

3.6 flexible Kältemittelleitung

Schlauch

Teil einer Kältemittelleitung zur flexiblen Verbindung von Komponenten des Kältekreislaufs, um Bewegungsausgleich im Fahrzeugbetrieb und/oder bei Montage sicherzustellen

3.6 Verbindungselement

Anschlussblock, jeweils am Ende der Kältemittelleitung, zur Verbindung der Kältemittelleitung mit den Komponenten des Kältemittelkreislaufs

4 Abkürzungen

- | | |
|--------|---|
| AC on | Klimaanlage „AN“ |
| AC off | Klimaanlage „AUS“ |
| HD | Hochdruck |
| IWT | innerer Wärmetauscher |
| ND | Niederdruck |
| PAG | Polyalkylenglykol (Kältemaschinenöl) |
| RT | Raumtemperatur (23 ± 2) °C |
| SWAAT | Salzwasser Korrosionsprüfung (en: Sea Water Acidified Test) |
| VBT | Verbindungstechnik |
| 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 der DIN SPEC geforderten Eigenschaften für Kältemittelleitungen und den IWT in coaxialer Bauform sind bis 10 Jahre nach der Fertigung als Beginn der Lebensdauer noch sicherzustellen.

6 Funktionsbeschreibung

6.1 Funktion der starren Kältemittelleitung

Kältemittelleitung sind Rohrleitungen, durch die das Kältemittel im Kreislauf geführt wird.

Je nach Position im Kältekreislauf muss die Kältemittelleitung einen Druck-Temperatur-Sensor bzw. ein Befüllventil aufnehmen.

6.2 Funktion der flexiblen Kältemittelleitung

Die Funktion der flexiblen Kältemittelleitung besteht darin, die motor- und karosseriefesten Kältekreislaufkomponenten bewegungs- und schwingungstechnisch sowie akustisch zu entkoppeln. Die flexible Kältemittelleitung stellt zudem einen Toleranz- und Längenausgleich dar.

6.3 Funktion des inneren Wärmetauschers

Der innere Wärmeaustauscher ermöglicht den systeminternen Austausch von Energie (Wärme) zwischen der warmen HD-Seite (Wärmequelle) und der kalten ND-Seite (Wärmesenke). Das Bauteil ist ND-seitig zwischen Akkumulator und Verdichter sowie HD-seitig zwischen Gaskühler und Expansionsorgan angeordnet.

Es gibt unterschiedliche Ausführungsformen, die je nach Anwendungsfall angepasst werden können. Eine Ausführungsform ist die Klimaleitung in coaxialer Bauweise, d. h. „Rohr im Rohr“, die zwischen den oben genannten Bauteilen eingebunden wird. Sofern nicht explizit erwähnt, wird der innere Wärmetauscher als Kältemittelleitung behandelt. Es gelten die gleichen Anforderungen wie für Kältemittelleitungen.

ANMERKUNG Die Ausführungsform als Kombination bzw. Integration des inneren Wärmeaustauschers im Akkumulator wird in DIN SPEC 74108 beschrieben.

7 Technische Anforderungen

7.1 Konstruktive Gestaltung

7.1.1 Allgemeines

Die Kältemittelleitungen können aus Schlauch- bzw. Rohrleitungen oder einer Kombination dieser Leitungen bestehen, deren Enden mit Verbindungselementen versehen sind.

Die Armierung muss die starren mit den flexiblen Leitungen entsprechend den Dichtheitsanforderungen dauerhaft technisch dicht miteinander verbinden.

Die Verbindungselemente können durch Löten, Schweißen oder eine andere gleichwertige Verbindung mit den starren Leitungen verbunden sein.

Die Gasdichtheit ist bei der Anbindung der Verbindungselemente an die starre Rohrleitung sicherzustellen.

Es muss sichergestellt werden, dass sich das mit dem Kältemittel umlaufende Öl nicht in der Kältemittelleitung bzw. dem IWT ablagert, sondern ein kontinuierlicher Öltransport sichergestellt ist.

Die Kältemittelschläuche sind so zu gestalten, dass die während des Betriebes mit dem Kältemittel oder Öl umlaufenden Partikel und sonstige Fertigungsrückstände, die sich in den Schläuchen ansammeln können, nicht plötzlich bzw. schwallartig ausgeschwemmt werden.

Die Kältemittelleitungen und der IWT sollten so gestaltet sein, dass das HD-seitige innere Anlagen-Volumen minimiert ist.

Die in den Kältemittelleitungen enthaltenen Elastomere müssen eine ausreichende Beständigkeit gegenüber explosiver Dekompression aufweisen. Daher sind speziell Kältemittelleitungen mit Elastomerabdichtung bzw. Folienschläuche auf explosive Dekompression zu prüfen.

Die kompletten Kältemittelleitungen müssen bei allen Betriebszuständen sowohl in der Produktion, während des Fahrzeuglebens als auch im Service ohne Versagen oder unzulässige Verformungen einsetzbar sein.

Die Kältemittelleitungen und der IWT sind hinsichtlich der variablen Drücke und Temperaturen bei Betrieb und Stillstand auszulegen. Als Auslegungspunkt für die mechanische Festigkeit der Komponente gelten die in 8.2 und 8.3 festgelegten Temperaturen und Drücke.

Als Berstdruck der Komponenten des R744-Kreislaufs wird der maximale Druck multipliziert mit dem Sicherheitsfaktor 2 festgelegt. Für Bauteile, die aus einem Werkstoff hergestellt sind, der einer Alterung unterliegt, muss nach SAE J639 nach der Alterung ein Berstdruck von mindestens dem 1,5-Fachen des maximalen Drucks bei der maximal zulässigen Temperatur erreicht werden. (siehe 9.7.12)

Alle Befestigungselemente müssen gegen Lösen gesichert und gegen Kontaktkorrosion geschützt sein.

7.1.2 Gewicht

Die Kältemittelleitungen müssen gewichtsoptimiert konstruiert sein.

ANMERKUNG Das Bauteilgewicht für Kältemittelleitungen hängt vom Leitungsverlauf im Fahrzeug ab, daher kann eine Gewichtsvorgabe im Allgemeinen nicht angegeben werden.

7.1.3 Anforderungen an den Schlauchaufbau

7.1.3.1 Allgemeines

Die Innenlage des Schlauches bzw. der Aufbau des Schlauches muss so gestaltet sein, dass eine Permeation von R744 durch den Schlauch auch bei den vorkommenden hohen Drücken und Temperaturen minimiert wird. Das Innenrohr bzw. der Innenmantel des Schlauches muss gegenüber dem Kältemittel R744 und dem freigegebenen Kältemaschinenöl, beständig sein.

Kann der Nachweis nicht erbracht werden, dass äußere Einflüsse (Salz, Öl, Verunreinigungen, Partikel, usw.) zu keiner Schädigung des Schlauches führen, muss der Außenmantel des Schlauches aus einer abriebfesten, ölkontakt- und ozonbeständigen synthetischen Gummimischung (Thermoplast oder Elastomer) bestehen.

7.1.3.2 Metallisch flexible Schläuche

Die metallisch flexiblen Schläuche bestehen aus einer metallischen Innenlage (beispielsweise als metallisches Wellrohr ausgeführt), die als Sperrschicht fungiert, um das Austreten des Kältemittels zu verhindern. Darüber befindet sich ein Festigkeitsträger. Dazwischen kann sich zur Dämpfung noch eine Elastomer- bzw. Silikonschicht befinden.

Der Aufbau des Schlauches ist so zu gestalten, dass er allen im Fahrzeugleben auftretenden Belastungen standhält und die Innenschicht (z. B. Wellrohr) und der Festigkeitsträger während des Fahrzeuglebens nicht beschädigt werden.

7.1.3.3 Sperrschicht-Elastomerschläuche

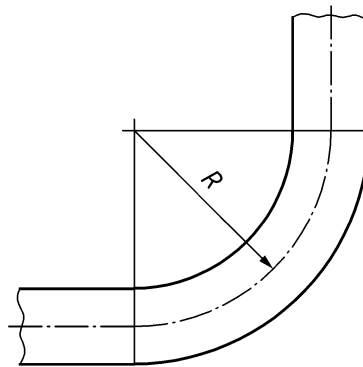
Die Schlauchleitungen sind so zu gestalten, dass zwischen Armierung (Quetschverbindung) und Schlauch eine formschlüssige Verbindung besteht und die Schlauchinnenschicht weder verletzt noch die Verbindung zwischen den einzelnen Schichten zerstört wird. Dazu gehören z. B. Oberflächenfehler wie Risse, Blasen, Einfallstellen, Falten, Wülste und Inhomogenitäten in den einzelnen Werkstoffen oder deren Verbund sowie unsachgemäße Gestaltung der Befestigung der Armierungen.

Der Festigkeitsträger muss gleichmäßig dicht eingearbeitet sein, einen konstanten Faden- bzw. Drahtwinkel aufweisen und ohne Unterbrechung oder Fehlstellen fest an Schlauchseele und -decke haften.

7.1.4 Geometrische Anforderung an die flexible Kältemittelleitung

Für die HD-seite sind bevorzugt die Nennweite 6 mm und für die ND-seite die Nennweite 8 mm zu wählen.

Entsprechend den Nennweiten sind für die Kältemittelschläuche minimal mögliche Biegeradien (Mindestbiegeradius) nach Bild 1 und Tabelle 1 sicherzustellen.



Legende

R Biegeradius

Bild 2 — Biegeradius der flexiblen Kältemittelleitung

Tabelle 1 — Maße für flexible Kältemittelleitung

Nennweite (nomineller Innendurchmesser)	Maximaler Außendurchmesser (Schlauchdurchmesser) mm	Mindestbiegeradius für 90°-Bogen mm		Verwendung
		Elastomerschläuche	Metallisch flexible Schläuche	
4	≤ 17	≤ 75	≤ 90	HD-leitung
6	≤ 19	≤ 75	≤ 100	HD-leitung
8	≤ 19	≤ 75	≤ 100	ND-leitung
9	≤ 20	≤ 75	≤ 100	ND-leitung
10	≤ 22	≤ 90	≤ 100	ND-leitung

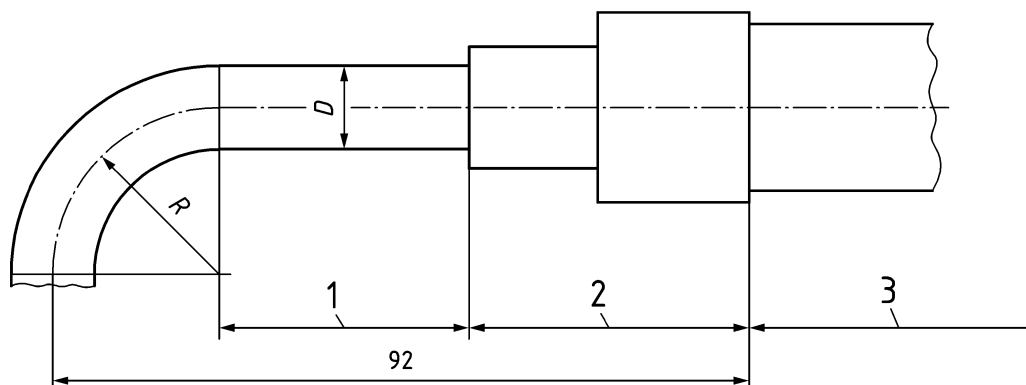
Der Mindestbiegeradius (minimal mögliche Biegeradius einer Kältemittelleitung) wird von dem Lieferanten in Abhängigkeit von den Eigenschaften des jeweiligen Schlauches (Einfall, Stauchung und Dehnung der Sperrschicht) festgelegt. Wenn nicht anders definiert, ist bei allen Prüfungen der Mindestbiegeradius anzulegen.

Alternativ ist der Einsatz von Formschläuchen in Absprache mit dem Fahrzeughersteller möglich.

7.1.5 Geometrische Anforderungen an die Armierung

Der Abstand zwischen der Rohrmitte eines 90°-Bogens einer starren Kältemittelleitung und dem Beginn des flexiblen Teils der Leitung (Armierungsende) darf bei allen Nennweiten nicht mehr als 92 mm betragen.

Maße in Millimeter



Legende

- | | | | |
|---|-----------------------|---|--------------------------------|
| 1 | Spannlänge (etwa 3 D) | D | Außendurchmesser |
| 2 | Armierung | R | starrer Biegeradius (etwa 2 D) |
| 3 | flexible Länge | | |

Bild 3 — Armierung

Im Bereich der Armierung kann eine Querschnittsverengung durch den Übergang vom Schlauch auf die Rohrleitung erfolgen. Der lichte Innendurchmesser ist für die entsprechende Nennweite Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2 — Durchmesser

Nennweite mm	Minimaler lichter Innendurchmesser (Armierung) mm	Maximaler Außendurchmesser (starre Rohrleitung) mm
4	2,8	7
6	4,2	10
8	5,6	11
9	6,3	12
10	7,0	13

7.1.6 Querschnittsverengung bei starren Rohrleitungen

Bei der Einbindung der Befüllventile sowie den Anschlüssen für Sensoren und ggf. von Druckentlastungseinrichtungen in die Kältemittelleitung sind Querschnittsverengungen unzulässig.

Bei Einbindung der Verbindungstechnik in die jeweilige Gesamtkältemittelleitung darf das in die Leitung gesteckte Ende keine negativen Einflüsse (z. B. Druckverlust, Akustik) auf die Strömungsquerschnitte haben. Bei Querschnittsverengungen sollte der Nippel strömungsgünstig gestaltet werden.

Die durch die äußere Verformung hervorgerufene Verengung des inneren Rohrquerschnittes darf maximal 15 % des Ausgangsquerschnittes betragen.

Die bei allen Arten von Querschnittsverengungen maximal zulässigen Werte für die Durchmesser einschnürung sind in Tabelle 3 festgelegt:

Tabelle 3 — Querschnittsverengung

Nennweite	Maximaler Außendurchmesser mm	Maximale Querschnittsverengung des Innendurchmessers auf mm	Zulässige Länge der Querschnittsverengung mm
HD-Leitung			
4	7	3,4	3
6	10	5,1	5
ND-Leitung			
8	11	6,8	7
9	12	7,65	8
10	13	8,5	9

7.1.7 Innerer Wärmetauscher

7.1.7.1 Anschlüsse

Die Anbindung der Klimaleitungen am inneren Wärmeaustauscher mit Blockanschlüssen ist nach DIN SPEC 74102 auszuführen.

7.1.7.2 Strömungsrichtung

Der R744-Massenstrom ist im Gegenstrom durch den IWT zu leiten. Leitungsanschlüsse sind entsprechend vorzusehen.

7.2 Anforderungen an Fertigung und Werkstoffe

7.2.1 Allgemeines

Die Anforderungen nach DIN SPEC 74102 müssen erfüllt werden.

Etwaige Lötverfahren sind so auszulegen, dass ein nachträglicher Einfluss korrosiver Medien (z. B. Flussmittel) ausgeschlossen ist.

Für die Fertigungsgüte der Lötverbindung gelten die in DIN EN ISO 18279 festgelegten Anforderungen für Unregelmäßigkeiten. Es gilt die Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 18279:2004-04, Tabelle B.2, falls in der Bauteilzeichnung keine hiervon abweichenden Festlegungen getroffen werden.

Flussmitteleinschlüsse dürfen keinen Kontakt zum Leitungsquerschnitt bzw. zur Umgebung haben. Die Einlöttiefe sollte bei den Armierungen mindestens 5 mm betragen. Neben Lötverbindungen sind auch Schweißverbindungen zur Anbindung der Verbindungselemente an die starre Rohrleitung sowie bei der Armierung zulässig.

7.2.2 Medienbeständigkeit und chemische Anforderungen

Die inneren Oberflächen des Bauteiles müssen gegen das Kältemittel R744 und das jeweils freigegebene Kältemaschinenöl beständig sein. Es dürfen keine Unverträglichkeiten sowie Funktionsbeeinträchtigungen mit dem Schmierstoff und der Kombination des Schmierstoffes mit dem Kältemittel auftreten. Im Kältekreislauf kommt Kältemaschinenöl (PAG) zum Einsatz.

Die Oberflächen dürfen keine Fertigungsrückstände aufweisen, die während des Betriebes vom Kältemittel oder Kältemaschinenöl abgelöst werden können und somit zur Verschmutzung des Kältekreislaufs führen.

Die äußere Oberfläche muss allen im Fahrbetrieb auftretenden motorraumseitigen und klimatischen Einflüssen standhalten.

7.2.3 Wassermasse

Die Wassermasse in den Bauteilen darf einen Maximalwert je innere Oberfläche nicht übersteigen. Die Werte sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 — Zulässige Wassermasse

Innere Oberfläche m ²	Zulässige Wassermasse
bis 0,1	bis 5 mg
über 0,1 bis 0,15	bis 12 mg
über 0,15 bis 0,2	bis 14 mg
über 0,2	50 mg/m ²

7.2.4 Technische Sauberkeit

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

Die Kältemittelleitungen müssen so gestaltet und ausgeführt sein, dass keine Rückstände, Ablagerungen, Späne, Fette oder Öle (ausgenommen Kältemaschinenöl) enthalten sind.

Die unlöslichen, abschwemmbar Verunreinigungen dürfen ein maximales Gewicht von 2,7 mg/dm² nicht überschreiten. Die Härte muss < 400 HV und die Größe muss < 200 µm betragen. Staub- und Textilfussel sind bis zu einer Größe von maximal 50 µm × 1 000 µm zulässig. An Dichtflächen sind oben genannte Partikel nicht zulässig.

7.3 Akustisches Verhalten

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

Die Kältemittelleitungen müssen bei allen in einem R744-Fahrzeugkältekreislauf auftretenden Betriebsbedingungen bezüglich Strömungs- und mechanischen Geräuschen akustisch unauffällig sein und über die Lebensdauer bleiben.

Das Bauteil darf keine im Fahrzeuginnenraum hörbaren Geräusche verursachen. Dies gilt für Strömungsgeräusche ebenso wie für tonale Geräuschanteile (z. B. pfeifen). Alle vorkommenden Kältemittelmassenströme und Fahrzeugbetriebsbedingungen sind zu berücksichtigen.

8 Betriebsbedingungen

8.1 Umgebungsbedingungen

Die Kältemittelleitungen sowie der innere Wärmetauscher werden in Kraftfahrzeugklimaanlagen eingesetzt, die mit dem Kältemittel R744 betrieben werden. Die mit Kältemittel in Verbindung kommenden Materialien müssen R744 langzeittauglich sein.

Alle Bauteile müssen über die gesamte Lebensdauer gegen alle äußeren Einflüsse beständig sein.

Der vorgesehene Einbaubereich der Kältemittelleitung bzw. des inneren Wärmetauschers liegt im Motorraum und/oder am Fahrzeugunterboden.

Für die Auslegung des Bauteiles müssen die Belastungen im Motorraum durch Temperatur (Motorwärmeabstrahlung), Witterung (Salzbelastung/Winter) und vergleichbare Faktoren berücksichtigt werden. Dabei darf die Lebensdauer nicht beeinträchtigt werden. Entsprechendes gilt für nieder- und hochfrequente mechanische Belastungen, hervorgerufen z.B. durch Motor-, Schlechtweg- oder Lastwechselanregungen.

ANMERKUNG Das Bauteil ist im Fahrbetrieb Spritzwasser und in der Werkstatt bei Motorwäsche dem Hochdruckwasserstrahl eines Dampfstrahlers ausgesetzt. Weitere Einflüsse können z. B. durch Öl, Staub, Salz entstehen.

8.2 Temperaturen

Für den Betrieb der Kältemittelleitungen muss zwischen der inneren Kältemitteltemperatur und der äußeren Umgebungstemperatur unterschieden werden. Bei der Dichtheitsprüfung werden Bauteiltemperaturen angesetzt.

Tabelle 5 — Betriebs- und Umgebungstemperaturen

		bei Betrieb (AC on) °C	ohne Betrieb (AC off) °C
Umgebungstempe- ratur (Luft)	HD, heiß	–5 bis 125 Kurzzeitbelastung ^a 150	–40 bis 125 Kurzzeitbelastung ^a 150
	HD, kalt	–5 bis 120	–40 bis 120
	ND		
Betriebstemperatur (Kältemittel)	HD, heiß	–5 bis 165 Kurzzeitbelastung ^a 180	n. a.
	HD, kalt	–5 bis 80	
	ND		

^a Für maximal 5 min je Fahrt, insgesamt 168 h über das Fahrzeugleben.

Werden die Komponenten an einer Stelle mit abweichender Temperatur platziert, sind die Temperaturanforderungen mit dem jeweiligen Fahrzeughersteller abzustimmen. Eventuell sind Wärmeschutzmaßnahmen vorzusehen.

8.3 Drücke

Die Kältemittelleitungen müssen den im Kältekreislauf auftretenden maximalen Drücken standhalten (siehe Anhang B). Die Kältemittelleitungen werden den Drücken aus Tabelle 6 ausgesetzt.

Tabelle 6 — Drücke

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

9 Prüfungen

9.1 Allgemeines

Die Prüfungen müssen, falls nichts anderes angegeben, bei RT (23 ± 2) °C nach ISO 554 erfolgen.

Alle folgenden Prüfungen von Kältemittelschläuchen müssen, soweit nicht anders angegeben, ohne Serien-VBT durchgeführt werden. Neben den Prüfmustern (9.3) des Schlauches sind in Einzelfällen auch der ZB der Kältemittelleitungen, d. h. der ZB aus VBT, starrer Rohrleitung und Schlauchanteil einschließlich Armierung, einzelnen Prüfungen zu unterziehen (siehe Tabelle 9).

Eine vorherige Lagerzeit von mindestens 24 h ab Herstelldatum darf nicht unterschritten werden. Zwischen den Einzelprüfungen müssen die Leitungen jeweils mindestens 24 h verschlossen und unbefüllt bei RT gelagert werden. Dies gilt nicht für die Dichtheitsprüfung der Serienüberwachung und die Dichtheitsbewertung der Zwischenprüfung.

Alle Festlegungen zur Definition, zur Vorgehensweise, zum Prüfplan und zum Prüfbericht, sowie zur Anzahl und Typ der für die Prüfung erforderlichen Prüflinge sind Tabellen 9 bis 12 zu entnehmen.

9.2 Mögliche Toleranzen

Für die zu prüfenden Toleranzlagen sind die Zeichnungstoleranzen bzw. die einzelnen Eingriffsgrenzen für den jeweiligen Fertigungsprozess entsprechend der Prozessfähigkeitsindizes (cpk-Faktoren) ausschlaggebend (siehe Tabelle 7). Dementsprechend sind bei den Kältemittelleitungen, bei denen die Armierung gequetscht wird, mit minimalem und maximalem Quetschverhältnis zu prüfen. Die Darstellung der erforderlichen Toleranzlagen bei diesen Schläuchen kann durch Variation der Quetschmaße und der Nippeldurchmesser erfolgen.

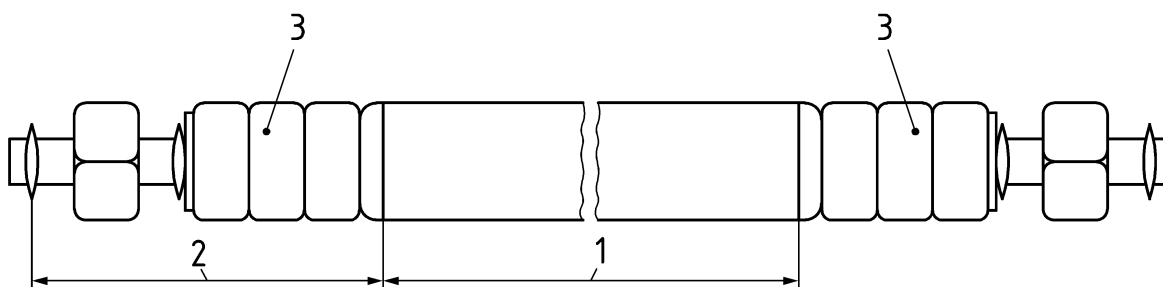
Für alle Prüfungen mit Sperrschicht-Elastomerschlauchleitungen sind zwei verschiedene Chargen zu verwenden. Das Schlauchmaterial ist im Abstand von je 10 m zu entnehmen.

Tabelle 7 — Toleranzen (entsprechend cpk-Faktor der jeweiligen Fertigungsprozesse)

Pressverhältnis (für Sperrschicht-Elastomerschläuche)	Quetschdurchmesser mm	Nippelaußendurchmesser mm
Maximal	Kleinstmaß	Größtmaß
Minimal	Größtmaß	Kleinstmaß

9.3 Prüfmuster für Schlauch mit Armierung

Für die Freigabe des Schlauches bzw. der Armierung ist, sofern nicht anders angegeben, eine Prüfleitung mit geraden Anschlüssen und einer Schlauchlänge nach Bild 4 und Tabelle 8 zu verwenden.



Legende

- 1 Maß 1 nach Tabelle 8
- 2 Maß 2 nach Tabelle 8
- 3 Armierung, beispielhaft dargestellt

Bild 4 — Versuchsmusterleitung

Tabelle 8 — Schlauchlängen der Prüflinge

Nennweiten		Maß 1	Maß 2
	Typ	Freie Schlauchlänge mm	maximale Länge der Armierung mm
4 bis 10	a	200 ± 5	65 ± 5
	b	350 ± 5	65 ± 5
	c	650 ± 5	65 ± 5

Formschläuche müssen mit geraden Armierungen, entspannt in Fahrzeugeinbaulage geprüft werden.

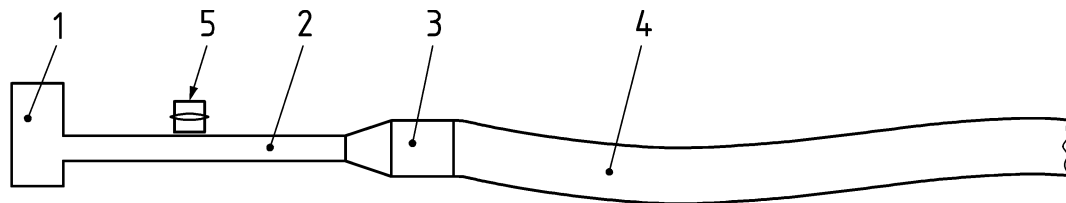
Jede Nennweite muss einzeln geprüft und freigegeben werden. Liegt bei einer Prüfung ein Prüfwert außerhalb des geforderten Grenzwertes, muss diese Prüfung mit der doppelten Anzahl von Prüflingen wiederholt werden.

9.4 Prüfmuster der ZB-Kältemittelleitung

Die Prüfmuster des ZB-Kältemittelleitung bestehen aus Verbindungstechnik, starrer Rohrleitung und/oder Schlauchanteil einschließlich Armierung und allen Anbauteilen (Ventilen usw.) (siehe Bild 5).

Der ZB der Heißgasleitung sollte den Druck-Temperatur-Sensor enthalten.

Der ZB der kalten HD-leitung und der ND-leitung sollte das Befüllventil und ggf. ein Druckbegrenzungselement enthalten.



Legende

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 Verbindungselement | 4 flexible Kältemittelleitung (Schlauch) |
| 2 starre Kältemittelleitung | 5 Ventil oder Druck-/Temperatur-Sensor (p/t-Sensor) |
| 3 Armierung | |

Bild 5 — ZB-Kältemittelleitung

9.5 Einzelprüfungen

Eine Übersicht der einzelnen Prüfungen und deren Zuordnung zu den verschiedenen Ausführungsarten der Kältemittelleitungen bzw. zum IWT bietet Tabelle 9.

Tabelle 9 — Übersicht der Einzelprüfungen

Prüfung		Metallisch flexibler Schlauch	Sperrschicht-Elastomerschlauch	ZB	IWT (ohne Schlauch-anteil)
9.6 Gasdichtheit	9.6.1 Gasdichtheitsprüfung der Prüfmuster für Schlauch mit Armierung	X	X		
	9.6.2 Gasdichtheitsprüfung der ZB-Kältemittelleitung			X	
	9.6.3 Verkürzte Gasdichtheitsprüfung	X	X	X	
	9.6.4 Vereinfachte Gasdichtheitsprüfung mit verschmutztem Prüfling	X	X	X	X
	9.6.5 Gasdichtheitsprüfung innerer Wärmetauscher				X
9.7 Statische Prüfungen	9.7.1 Rissprüfung	X	X		
	9.7.2 Druckprüfung	X	X	X	X
	9.7.3 Verdrehbarkeit der Armierungen	X	X		
	9.7.4 Biegesteifigkeit	X	X		
	9.7.5 Knick- und Formbeständigkeit	X	X		
	9.7.6 Zugfestigkeit	X	X		
	9.7.7 Längenänderung/Winkelabweichung	X	X		
	9.7.8 Schlauchvolumendehnung		X		
	9.7.9 Formbeständigkeit bei angelegtem Vakuum		X		
	9.7.10 Unterdruckfestigkeit			X	X
	9.7.11 Wasserdurchlässigkeit		X		
	9.7.12.2 Berstdruckanforderung für Neuteile	X	X	X	X
	9.7.12.3 Berstdruckanforderung für Heißgasleitung aus Aluminium	X	X	X	X
9.8 Dynamische Prüfungen	9.8.1 Torsionsprüfung	X	X		
	9.8.2 Engine Rock	X	X		
	9.8.3 Resonanz-Schwingprüfung	X	X	X	X
	9.8.4 Kältebeständigkeit bei 20 000 Lastwechseln	X	X		
	9.8.5 Impulsprüfung mit Temperaturwechsel	X	X	X	
	9.8.6 Temperaturwechselfestigkeit	X	X		
	9.8.7.2 Einflussuntersuchung Kriechermüdung (einmalige Prüfung für ein Konstruktions- und Werkstoffsystem)			X (Heißgasleitung mit Aluminiumbauteil)	
	9.8.7.3 Prüfung der Druckwechselfestigkeit			X (Heißgasleitung mit Aluminiumbauteil)	X
9.10 Alterungsprüfungen	9.8.8 Rüttelfestigkeit				X
	9.9 Korrosionsprüfung			X	X
	9.10.1 Künstliche Alterung	X	X	X	X
	9.10.2 Langzeitalterung	X	X		
	9.10.3 Kettenprüfung zur Simulation des Fahrzeuglebens	X (Heißgasleitung mit Aluminiumanteil)	X (Heißgasleitung mit Aluminiumanteil)	X (Heißgasleitung mit Aluminiumanteil)	

Prüfung		Metallisch flexibler Schlauch	Sperrschicht- Elastomerschlauch	ZB	IWT (ohne Schlauch- anteil)
	9.10.4 Dekompressionsprüfung		X	X (mit Elastomer- anteil)	
	9.10.5 Kältebeständigkeit	X	X		
9.11 Leistungs- anforderungen an den inneren Wärmetauscher	9.11.1 Enthitzungsgrad und Leistungsfähig- keit				X
	9.11.2 Druckverlust HD-Seite				X
	9.11.3 Druckverlust ND-Seite				X

Die Prüfung erfolgt in Prüfungsketten, die durch Verknüpfung mehrerer Einzelprüfungen entstehen. Jede Prüfungskette ist in einer Zeile der Verknüpfungspläne (Tabellen 10, 11 bzw. 12) festgelegt. Der am Ende der Tabellenzeile genannte Prüflingssatz muss alle Einzelprüfungen der Prüfungskette in der genannten Reihenfolge durchlaufen.

Die Prüflinge haben die Prüfungskette bestanden, wenn alle im Verknüpfungsplan genannten Einzelprüfungen ohne Beanstandungen durchgeführt wurden.

Tabelle 10 — Verknüpfungsplan der Prüfmuster für Schlauch mit Armierung

Künstliche Alterung (9.10.1)	Prüfung	Verknüpfung 1	Verknüpfung 2	Verdrehbarkeit (9.7.3)	Dichtheit (9.6.3 / 9.6.4)	Rissprüfung (9.7.1)	Typ / Anzahl Prüflinge
X	9.6.1 Gasdichtheitsprüfung der Prüfmuster für Schlauch mit Armierung	9.10.4 Dekompressionsprüfung	9.7.2 Druckprüfung	X	X	X	Typ b: 4
	9.7.6.1 Ermittlung maximaler Zugfestigkeit bis Bauteilversagen						Typ a: 4
	9.7.7 Längenänderung/Winkelabweichung			X	X		Typ b: 4
	9.7.8 Schlauchvolumendehnung			X	X		Typ b: 4
	9.7.11 Wasserdurchlässigkeit						Typ b: 4
	9.8.1 Torsionsprüfung			X	X		Typ b: 6
	9.8.2 Engine Rock			X	X		Typ b: 6
	9.7.4 Biegesteifigkeit	9.7.4 Biegesteifigkeit nach Alterung		X	X		Typ b: 2
	9.7.9 Formbeständigkeit bei angelegtem Vakuum			X	X	X	Typ b: 4
X	9.8.5 Impulsprüfung mit Temperaturwechsel	9.8.3 Resonanz-Schwingprüfung		X	X	X	Typ b: 6
	9.7.12.2 Berstdruckanforderung für Neuteile						Typ b: 4
	9.10.3 Kettenprüfung zur Simulation des Fahrzeuglebens						Typ b: 4
X	9.8.6 Temperaturwechselfestigkeit	9.7.2 Druckprüfung		X	X		Typ b: 6
X	9.10.5 Kältebeständigkeit	9.7.6.2 Zugprüfung als Funktionsprüfung	9.7.2 Druckprüfung	X	X	X	Typ b: 6
	9.8.4 Kältebeständigkeit bei 20 000 Lastwechseln	9.7.6.2 Zugprüfung als Funktionsprüfung		X	X	X	Typ b: 6
	9.10.2 Langzeitalterung	9.8.5 Impulsprüfung mit Temperaturwechsel	9.7.6.2 Zugprüfung als Funktionsprüfung		X	X	Typ b: 6
	9.7.5 Knick- und Formbeständigkeit			X	X		Typ c: 4
	7.2.4 Technische Sauberkeit						Typ c: 4

Tabelle 11 — Verknüpfungsplan der Prüfmuster ZB-Kältemittelleitung

Künstliche Alterung (9.10.1)	Prüfung	Verknüpfung 1	Verknüpfung 2	Verdrehbarkeit (9.7.3)	Dichtheit (9.6.4)	Rissprüfung (9.7.1)	Typ / Anzahl Prüflinge
X	9.6.2 Gasdichtheitsprüfung ZB-Kältemittelleitung (Entwicklungsprüfung)	9.10.4 Dekompressionsprüfung (nur ZB mit Elastomeranteil)	9.7.2 Druckprüfung	X	X		ZB: 4
X	9.8.5 Impulsprüfung mit Temperaturwechsel	9.8.3 Resonanz-Schwingprüfung		X	X		ZB: 3
	9.7.10 Unterdruckfestigkeit	9.7.2 Druckprüfung			X		ZB: 4
	9.8.7.2 Einflussuntersuchung Kriechermüdung (einmalige Prüfung für ein Konstruktions- und Werkstoffsystem)						ZB: 20
	9.8.7.3 Prüfung der Druckwechselfestigkeit				X	X	ZB: 5
	9.10.3 Kettenprüfung zur Simulation des Fahrzeuglebens						ZB: 4
	9.9.2 SWAAT	9.7.2 Druckprüfung			X	X	ZB: 5
	9.9.3 Klima-Korrosionswechsel-Test	9.7.2 Druckprüfung			X	X	ZB: 5
	7.2.3 Wassermasse						ZB: 4
	7.2.4 Technische Sauberkeit						ZB: 4

Tabelle 12 — Verknüpfungsplan IWT

Künstliche Alterung (9.10.1)	Prüfung	Verknüpfung 1	Verknüpfung 2	Typ / Anzahl Prüflinge
	7.2.3 Wassermasse			IWT: 4
	7.2.4 Technische Sauberkeit			IWT: 4
	9.7.10 Unterdruckfestigkeit	9.7.2 Druckprüfung	9.6.4 Vereinfachte Gasdichtheitsprüfung mit verschmutztem Prüfling	IWT: 4
	9.7.12.2 Berstdruckanforderung für Neuteile			IWT: 4
X	9.8.7.3 Prüfung der Druckwechselfestigkeit	9.8.3 Resonanz-Schwingprüfung	9.6.4 Vereinfachte Gasdichtheitsprüfung mit verschmutztem Prüfling	IWT: 4
	9.11.1 Enthitzungsgrad und Leistungsfähigkeit	9.6.5 Gasdichtheitsprüfung innerer Wärmetauscher		IWT: 4
	9.8.8 Rüttelfestigkeit	9.6.5 Gasdichtheitsprüfung innerer Wärmetauscher		IWT: 4
	9.11.2 Druckverlust HD-Seite			IWT: 4
	9.11.3 Druckverlust ND-Seite			IWT: 4
	9.9.2 SWAAT	9.7.2 Druckprüfung	9.6.4 Vereinfachte Gasdichtheitsprüfung mit verschmutztem Prüfling	IWT: 5
	9.9.3 Klima-Korrosionswechsel-Test	9.7.2 Druckprüfung	9.6.4 Vereinfachte Gasdichtheitsprüfung mit verschmutztem Prüfling	IWT: 5

9.6 Gasdichtheit

9.6.1 Gasdichtheitsprüfung der Prüfmuster für Schlauch mit Armierung (Entwicklungsprüfung)

Die Messung erfolgt mit reinem R744. Die Prüfung ist in der angegebenen Reihenfolge der Messpunkte hintereinander durchzuführen, beginnend mit Nr. 1.

Jeder Lastzustand ist solange zu halten, bis sich über 2 Zeitintervalle von 1 h ein Beharrungszustand der Leckagerate (< 10 % Abweichung) einstellt, mindestens jedoch 48 h.

Die Leckagebestimmung hat in einer entsprechend evakuierten Anlage oder Spülgas-Anlage zu erfolgen. Die Bestimmung der R744-Leckagerate erfolgt mit einem dem Stand der Technik entsprechenden und zur Bestimmung von Gasmolekülströmen geeigneten Messgerät.

BEISPIEL Massenspektrometer, Gaschromatograph oder Infrarotspektrometer

Die Eignung des Messverfahrens und des Messgerätes einschließlich Messgenauigkeit ($\leq 0,05$ g/a) ist nachzuweisen.

Die mittlere Verlustrate ist wie folgt zu ermitteln:

$$VR_m = \sum_{i=1}^6 VR_i \cdot Gew_i$$

Dabei ist

VR_m die mittlere Verlustrate des Prüflings;

VR_i die Verlustrate des Prüflings bei dem jeweiligen Lastzustand;

Gew_i der Gewichtungsfaktor des jeweiligen Lastzustands.

Tabelle 13 — Statisches Lastkollektiv für R744-ND-Seite

Nr.	Lastzustand	Spezielle Füllmenge (R744) kg/m ³	T °C	p resultierender Druck MPa	Gewichtung %
1	Stillstand –30 °C	250	–30	1,43	4
2	Stillstand 0 °C	250	0	3,5	16
3	Stillstand 30 °C	250	30	6,9	70
4	Betrieb 0 °C Verdampfung	95	30	4,2	3
5	Betrieb 10 °C Verdampfung	95	45	4,5	2
6	Nachheizung	95	100	5,8	5

Tabelle 14 — Statisches Lastkollektiv für R744-HD-Seite (nach Gaskühler)

Nr.	Lastzustand	Spezielle Füllmenge (R744) kg/m ³	T °C	p resultierender Druck MPa	Gewichtung %
1	Stillstand –30 °C	250	–30	1,43	4
2	Stillstand 0 °C	250	0	3,5	16
3	Stillstand 30 °C	250	30	6,9	70
4	Fahrzustand	250	40	7,7	4
5	Leerlauf	250	60	9,3	1
6	Nachheizung	95	100	5,8	5

Tabelle 15 — Statisches Lastkollektiv für R744 Heißgasseite

Nr.	Lastzustand	Spezielle Füllmenge (R744) kg/m ³	T °C	p resultierender Druck MPa	Gewichtung %
1	Stillstand –30 °C	250	–30	1,43	4
2	Stillstand 0 °C	250	0	3,5	16
3	Stillstand 30 °C	250	30	6,9	70
4	Nachheizung	185	100	9,9	5
5	Fahrzustand	185	130	11,4	4
6	Leerlauf	185	165	13	1

Tabelle 16 — Dichtheitsanforderungen

	maximale Leckagerate	Prüfbedingung
Kältemittelleitung mit metallischen Innenlage als Sperrschicht (z. B. Metallwellrohr)	0,1 g/a	Belastung entsprechend den Lastkollektiven für ND-Leitungen in Tabelle 13, für HD-Leitungen nach dem Gaskühler in Tabelle 14 und für Heißgasleitungen in Tabelle 15.
Sperrschicht-Elastomerschlauch (Schlauch inklusive Armierung)	14 g/a je Meter freier Schlauchlänge	Belastung entsprechend den Lastkollektiven für die ND-Leitung in Tabelle 13 und für die HD-Leitung nach dem Gaskühler in Tabelle 14.

9.6.2 Gasdichtheitsprüfung ZB-Kältemittelleitung (Entwicklungsprüfung)

Die Bestimmung der Leckagerate des ZBs muss, nachdem die maximalen Leckageraten für die Prüfmuster erfolgreich nachgewiesen wurden, erfolgen.

Die Gegenstücke der Verbindungsstelle sind in einer mittleren Toleranzlage mit dem Prüfling zu prüfen. Bei der Prüfung ist die Verbindungstechnik mit dem minimal zulässigen Anzugsmoment der jeweiligen Verbindungstechnik zu verschrauben.

Tabelle 17 — Dichtheitsanforderungen für den ZB-Kältemittelleitung

	Maximale Leckagerate	Prüfbedingung
ZB-Kältemittelleitung einschließlich aller Teile (wie oben beschrieben)	Die maximale Leckagerate setzt sich zusammen aus der Summe der zul. Leckageraten der Einzelkomponenten des ZB — je VBT 0,3 g/a — Befüllventil 0,5 g/a — p/T-Sensor 0,5 g/a — Elastomerschlauch 14 g/a je m — metallisch flexibler Schlauch 0,1 g/a	Der Prüfablauf erfolgt analog zu der Entwicklungsprüfung der Prüfmuster (9.6.1).

9.6.3 Verkürzte Gasdichtheitsprüfung

Die wiederholte Prüfung der Gasdichtheit nach den folgenden Einzel- und Kettenprüfungen beschränkt sich auf jeweils einen Lastzustand der in 9.6.1 aufgeführten Lastkollektive, siehe Tabelle 18.

Tabelle 18 — Lastzustände

	Lastzustand	spezielle Füllmenge (R744) kg/m ³	T °C	p resultierender Druck MPa
ND /HD, kalt	Nachheizung	95	100	5,8
HD, heiß	Leerlauf	185	165	13

Zur Bewertung der Messung wird eine Grundleckage (mittlere Leckagerate) definiert. Dieser Wert darf bei sämtlichen folgenden Gasdichtheitsprüfungen um nicht mehr als 20 % überschritten werden.

Diese mittlere Leckagerate wird ermittelt aus den Ergebnissen der zuvor erfolgten Prüfung der Dichtheitsanforderung (nach 9.6.1 und 9.6.2) für Prüflinge des gleichen Typs. Die Berechnung erfolgt aus den Leckageraten im entsprechenden Lastzustand (ND) Tabelle 13, Nr. 6; HD, kalt: Tabelle 14, Nr. 6; HD, heiß: Tabelle 15, Nr. 6) mit folgender Formel:

$$VR_m = \frac{\sum_{i=1}^z VR_i}{z}$$

Dabei ist

VR_m die mittlere Leckagerate der Prüflinge im jeweiligen Lastzustand aus Prüfung der Dichtheitsanforderung;

VR_i die Leckagerate des einzelnen Prüflings im jeweiligen Lastzustand aus Prüfung der Dichtheitsanforderung;

z die Anzahl der Prüflinge.

Der Prüfaufbau und die Durchführung der Prüfung sind identisch zur Entwicklungsprüfung in 9.6.1. Als Prüfmedium für diese Prüfung kann R744 oder Helium eingesetzt werden.

Die Umrechnung der Leckagerate zwischen Prüfgas und R744 ist in Anhang A erläutert.

9.6.4 Vereinfachte Gasdichtheitsprüfung mit verschmutztem Prüfling

Sind die Prüflinge nach vorhergegangener Prüfung (z. B. Korrosionsprüfung) verschmutzt, kann die verkürzte Gasdichtheitsprüfung nach 9.6.3 durch eine Unterwasserprüfung nach SAE J 2842, 5.7.2.1 ersetzt werden.

Dabei werden die mit R744 gefüllten Prüflinge über einem Zeitraum von mindestens 20 min unter Wasser einem Druck von 6,4 MPa ausgesetzt.

ANMERKUNG Eine Leckagerate von 3 g/a R744 entspricht annähernd einer Gasblase mit dem Durchmesser von 2 mm innerhalb von 2 min bis 3 min.

9.6.5 Gasdichtheitsprüfung innerer Wärmetauscher

9.6.5.1 Allgemeines

Der innere Wärmetauscher selbst sowie auch reine starre Leitungen ohne Schlauchanteil gelten als technisch dicht und müssen deshalb nicht über ein Lastkollektiv geprüft werden. Über eine Funktionsdichtheitsprüfung wird der Nachweis der Entwicklungsprüfung erbracht. Leckagen dürfen nur an den Verbindungsstellen auftreten.

Diese Anforderungen müssen auch nach allen Funktionsprüfungen sichergestellt sein. Sie sind über die gesamte Fahrzeuglebensdauer hinweg zu erfüllen.

9.6.5.2 Prüfaufbau und -durchführung

An die vier Verbindungsstellen des inneren Wärmetauschers werden Verbindungselemente mit speziellen (nicht serienmäßigen) Dichtelementen, die leakagefrei sind, angebracht. Diese sind auf der HD- und auf der ND-seite an der jeweiligen Ausgangsseite zu verschließen. Auf der jeweils zu prüfenden Eintrittsseite erfolgt die Druckbeaufschlagung, während die andere Eintrittsseite geöffnet bleibt, um gleichzeitig eine äußere und eine innere Leckage detektieren zu können.

Die Messung erfolgt mit R744 oder Helium.

Der Prüfdruck beträgt zunächst

HD-seitig: 20,8 MPa ($1,3 \times 16$ MPa) bei RT für 1 h und anschließend

ND-seitig 15,6 MPa ($1,3 \times 12$ MPa) bei RT für 1 h.

Es darf keine Leckage auftreten (Grenzwert: 0,1 g/a).

9.7 Statische Prüfungen

9.7.1 Rissprüfung

Die Schlauchleitungen (Elastomere) einschließlich Armierungsbereich sind in Längsrichtung aufzuschneiden und auf Rissbildung zu untersuchen. Sie dürfen keine Riss- oder Bruchstellen oder sonstige Beschädigungen aufweisen.

9.7.2 Druckprüfung

Bei der Prüfung ist PAG-Öl oder ein gleichwertiges Medium zu verwenden. Dabei ist auf eine vollständige Entlüftung des Gesamtsystems zu achten.

Der Enddruck muss jeweils innerhalb von 20 s erreicht werden.

Die Prüflinge müssen über je 2×5 min folgenden Druckbelastungen standhalten:

— HD-seitig: 20,8 MPa ($1,3 \times 16$ MPa);

— ND-seitig: 15,6 MPa ($1,3 \times 12$ MPa).

9.7.3 Verdrehbarkeit der Armierungen

Die Armierungen müssen konstruktiv gegen Verdrehen zum Kältemittelschlauch geschützt sein.

Das Verdrehmoment (Schlauch gegen Armierung/Fassung) muss nach allen Prüfungen bei RT (23 ± 2 °C) noch mindestens 6,5 Nm betragen.

Dieses Mindestverdrehmoment ist auch bei 130 °C (für ND-leitungen und HD-leitungen nach Gaskühler) und 165 °C (für Heißgasleitungen) zu dokumentieren.

Erfolgt die Anbindung von Schlauch an Rohr durch Löten oder Schweißen ist ein Verdrehmomentnachweis nicht nötig.

9.7.4 Biegesteifigkeit

Die Prüfleitungen sind in eine geeignete Prüfvorrichtung (siehe Bild 6) vertikal einzuspannen. Jede Leitung ist in alle 4 Richtungen aus der vertikalen in die horizontale Lage zu biegen. Nach 3 s Haltedauer ist die benötigte Zugkraft an einer geeigneten Federwaage abzulesen (die Haltekraft ist rechtwinklig zur Schlauchachse am Angriffspunkt auszuüben). Es sind jeweils 2 Leitungen je Nennweite zu prüfen.

Die Werte aus Tabelle 19 dürfen nicht überschritten werden.

Tabelle 19 — Biegesteifigkeit für metallisch flexible Schläuche und Elastomerschlauch

Nennweite	Maximaler Prüf-wert
4	17 N
6	17 N
8	13 N
9	13 N
10	13 N

Nach einer thermischen (künstlichen) Alterung (mit 2 kPa, 72 h, 120 °C ND/165 °C HD) gelten die Werte aus Tabelle 20:

Tabelle 20 — Biegesteifigkeit nach thermischer Belastung für metallisch flexible Schläuche und Elastomerschläuche

Nennweite	Maximaler Prüf-wert
4	18 N
6	18 N
8	13 N
9	13 N
10	13 N

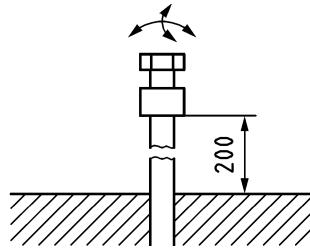


Bild 6 — Prinzipskizze Versuchsaufbau Biegefestigkeit

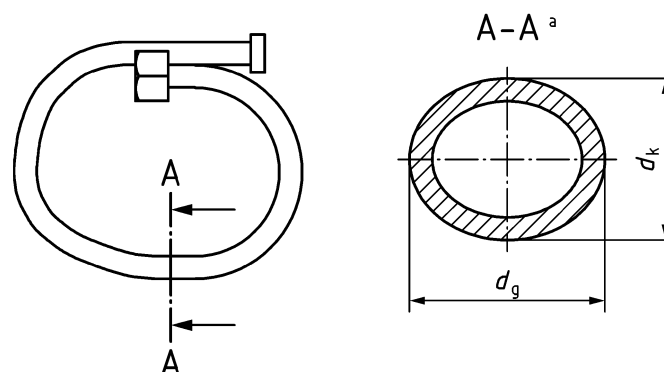
9.7.5 Knick- und Formbeständigkeit

Die Prüfleitungen sind ringförmig zu biegen (bei überlappenden Armierungen, siehe Bild 7, links). In diesem Zustand ist jeweils der kleinste (d_k) und der größte (d_g) Außendurchmesser des Schlauches, nach einer Haltezeit von 10 min, zu ermitteln.

Die Abweichungen aus Tabelle 21 dürfen gegenüber dem Solldurchmesser nicht überschritten werden.

Tabelle 21 — Durchmesseränderung

Nennweite DN	Zulässige Abweichung mm
4 bis 6	$\pm 0,5$
8 bis 10	$\pm 0,6$



Legende

d_g größter Außendurchmesser

d_k kleinster Außendurchmesser

Bild 7 — Knickbeständigkeit

9.7.6 Zugfestigkeit

9.7.6.1 Ermittlung maximaler Zugfestigkeit bis Bauteilversagen

Die Schlauchleitungen mit Armaturen müssen mindestens den in Tabelle 22 angegebenen Zugkräften ohne Versagen widerstehen.

Tabelle 22 — Zugfestigkeit

Nennweiten DN	Zu ertragende Zugkraft N
4 bis 6	2 000
8 bis 10	2 500

Bei der Zugprüfung wird der Prüfling einer zunehmenden Zugbelastung in einer geeigneten Prüfmaschine ausgesetzt, bis entweder der Schlauch sich von der Armierung trennt oder bis er reißt. Der in die Prüfmaschine eingespannte Schlauch wird mit einer Geschwindigkeit von 25 mm/min auf Zug beansprucht. Die Zugkraft ist bis zum Versagen aufzubringen.

Der Zugkraftverlauf ist in einem Kraft-Weg-Diagramm (N/mm) zu dokumentieren. Stelle und Art der Zerstörung müssen im Prüfbericht dokumentiert werden.

9.7.6.2 Zugprüfung als Funktionsprüfung

Die Durchführung erfolgt wie in 9.7.6.1 beschrieben, jedoch nur bis zur einer Zugkraft von 80 % der in Tabelle 22 geforderten Werte.

9.7.7 Längenänderung/Winkelabweichung

Nach Einwirken des jeweils maximalen Betriebsdrucks über mindestens 2 min auf den Prüfling, dürfen die in Tabelle 23 angegebenen Längenänderungen und Winkelabweichungen nicht überschritten werden. Die Änderungen sind bei Druckbeaufschlagung zu messen.

Tabelle 23 — Längenänderung / Winkelabweichung

Druck	maximale Längenänderung	Maximale Winkelabweichung (Verdrillung)
(13 ± 0,2) MPa Saugdruckleitung	metallisch flexibler Schlauch: -1,5 % / +2 %	5°
(17 ± 0,2) MPa HD-Leitung	Elastomerschlauch: -4 % / +2 %	

9.7.8 Schlauchvolumendehnung

Die Prüfung wird als Kontrolle der Gewebelagenfestigkeit verwendet. Die Berechnung des Innenvolumens der Kältemittelleitungen erfolgt im Bereich der freien Schlauchlänge.

Der Prüfling wird senkrecht in einen Sicherheitsbehälter eingeschraubt, an eine Hydraulikpumpe angeschlossen und entlüftet bis das Kältemaschinenöl oder geeignetes Medium blasenfrei oben austritt. Danach wird das obere Absperrventil verschlossen und der Prüfling mit 17 MPa bei HD-leitungen und 13 MPa bei ND-leitungen für 1 min beaufschlagt.

Nach 1 min wird das untere Absperrventil zwischen Pumpe und Schlauch geschlossen. Der im Schlauch befindliche Überdruck wird am oberen Schlauchventil abgelassen und die dadurch austretende Prüfflüssigkeit in einem Messzylinder aufgefangen.

Die Volumendehnung wird wie folgt berechnet:

- Freie Schlauchlänge L
- Schlauchinnendurchmesser d_i

- Innenvolumen $V_i = \frac{d_i^2}{4} \cdot \pi \cdot L$
- Dehnungsvolumen V_d
- Volumendehnung in % $D = \frac{V_d}{V_i} \cdot 100$

Die maximal zulässige Volumendehnung beträgt < 5 %.

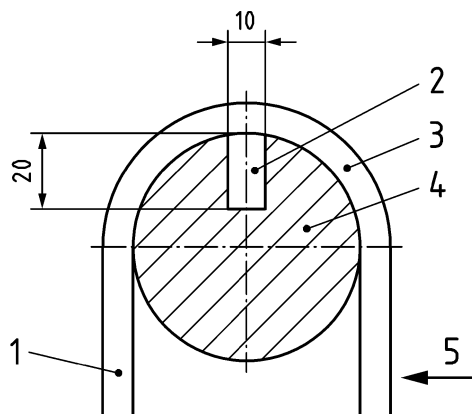
9.7.9 Formbeständigkeit bei angelegtem Vakuum

Die Prüflinge werden der natürlichen Schlauchkrümmung Bild 8 um einen Dorn mit einem Durchmesser entsprechend Tabelle 24 zu einem „U“ gebogen. Danach werden sie auf einen absoluten Druck von 0,5 kPa evakuiert.

Nach einer Dauer von 5 min darf die Minderung des Außendurchmessers der Schlauchleitungen nicht mehr als 5 % des ursprünglichen Außendurchmessers in ungebogenem und vakuumfreiem Zustand betragen, es ist ein maximaler Druckanstieg von 0,5 kPa in 30 min zulässig. Diese Prüfung ist 3-mal mit demselben Prüfling zu wiederholen.

Nach der Prüfung ist der Schlauch auf Dichtheit und auf Folienhaftung bzw. Rissfreiheit der Seele zu prüfen.

Maße in Millimeter



Legende

- | | |
|--------------------------|--------------|
| 1 feste Einspannung | 4 Dorn |
| 2 Freischnitt zum Messen | 5 Biegekräft |
| 3 Schlauchleitung | |

Bild 8 — Prinzipskizze Versuchsaufbau Vakuumbeständigkeit

Tabelle 24 — Dorndurchmesser

Nennweite NW	Dorndurchmesser
alle	150 mm

9.7.10 Unterdruckfestigkeit

Der Prüfling ist mit einem Unterdruck von 0,5 kPa absolut zu beaufschlagen und über 5 min konstant zu halten. Der zulässige Druckanstieg darf innerhalb von 30 min maximal 0,5 kPa betragen.

Bei dieser Prüfung darf keine Funktionsbeeinträchtigung entstehen.

Die Prüfung ist insgesamt 3-mal durchzuführen.

Der innere Wärmeaustauscher ist zunächst auf der HD-Seite und im Anschluss auf der ND-Seite zu prüfen.

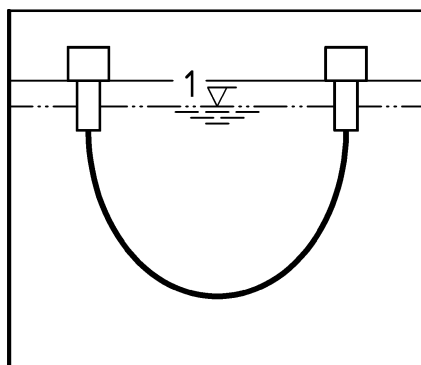
9.7.11 Wasserdurchlässigkeit

Vor Prüfbeginn ist der Wassergehalt der Prüfflüssigkeit (PAG-Öl) nach DIN 51777-1 und DIN 51777-2 zu bestimmen. Als Prüfflüssigkeit muss PAG-Öl (in Absprache zwischen Lieferant und Fahrzeughersteller) mit einem Wassergehalt $< 500 \cdot 10^{-6}$ nach Herstellerangabe verwendet werden.

Die Prüflinge werden zuerst bei 80 °C in einem Wärmeofen über einen Zeitraum von 2 h getrocknet. Anschließend sind die Leitungen bis 5 mm unterhalb der Schlauchenden mit Prüfflüssigkeit zu befüllen und mit den im Kältemittelkreislauf üblichen O-Ringen gasdicht zu verschließen.

Die befüllten Prüflinge sind – U-förmig gebogen – bis zur Hälfte der Quetschhülse in einem Wasserbad mit (40 ± 2) °C zu lagern (siehe Bild 9). Die Lagerzeit beträgt 500 h. Es ist darauf zu achten, dass während der Lagerung der Wasserstand nicht mehr als 10 mm unter die Quetschhülse absinkt.

Nach der Entnahme werden die Prüflinge 10-mal geschwenkt, um Vermischen der Prüfflüssigkeit zu erreichen. Unmittelbar danach ist der Wassergehalt nach DIN 51777 zu bestimmen. Er darf nicht mehr als 1,5 % betragen.



Legende

1 Wasserstand

Bild 9 — Prinzipskizze Versuchsaufbau Wasserdurchlässigkeit

9.7.12 Berstdruckprüfung

9.7.12.1 Allgemeines

Der Prüfling wird mit Prüfmedium (Öl) ohne Lufteinschlüsse gefüllt.

Der Druckaufbau erfolgt zunächst gleichmäßig mit maximal 1,0 MPa/s bis zu 50 % des Berstdrucksollwertes und anschließend mit 0,1 MPa/s bis zum Berstdrucksollwert.

Der Prüfling (Kältemittelleitung oder innerer Wärmetauscher) muss dem Berstdrucksollwert über einen Zeitraum von 1 min ohne Austreten des Prüfmediums standhalten.

Anschließend ist der Druck mit 0,1 MPa/s bis zum Versagen zu erhöhen. Das Versagen der Komponente ist zu dokumentieren. Bei Versagen der Kältemittelleitung dürfen sich keine Teile lösen.

Die Prüfung der Berstdruckfestigkeit beim inneren Wärmetauscher ist mit separaten Bauteilen für den HD-Bereich und den ND-Bereich durchzuführen.

9.7.12.2 Berstdruckanforderung für Neuteile

Der Berstdruck für die Komponenten des R744-Kreislaufs beträgt das Doppelte des maximalen Drucks.

Die Bauteile müssen bei RT mindestens folgenden Drücken standhalten:

- ND-seitig 26 MPa (2×13 MPa);
- HD-seitig 34 MPa (2×17 MPa).

9.7.12.3 Berstdruckanforderung für Heißgasleitung aus Aluminium

Die HD-Leitung der Heißgasseite (Kompressor-Austritt – Gaskühler-Eintritt) aus Aluminium (bzw. einem Werkstoff, deren Festigkeitseigenschaften in Folge Druck- und Temperaturbelastungen abnehmen (altern)), muss am Lebensende (nach Alterung) einem Berstdruck von mindestens dem 1,5-Fachen des maximalen Drucks bei der maximal zulässigen Temperatur standhalten.

Die Heißgasleitung muss (nach Alterung) mindestens folgendem Druck standhalten:

- 25,5 MPa ($1,5 \times 17$ MPa) bei 180 °C.

Zur Simulation der Alterung werden die Kältemittelleitungen den Betriebsbedingungen eines typischen Fahrzeuglebens wie Temperatur, Druck, Druckwechsel, Schwingungen und Korrosion ausgesetzt, die der Fahrzeugnutzung entsprechen. Dieser künstliche Alterungsprozess wird durch die Verkettung einzelner Prüfungen zu einer das Fahrzeugleben simulierenden Kettenprüfung (siehe 9.10.3) erreicht.

9.8 Dynamische Prüfungen

9.8.1 Torsionsprüfung

Die Prüflinge werden mit Kältemaschinenöl gefüllt und mit einem Druck von 14 MPa (HD-Leitung) bzw. 9,5 MPa (ND-Leitung) beaufschlagt.

Jeweils 3 Prüflinge müssen im 90°-Bogen im Mindestbiegeradius eingebaut bei einer Verdrehung von $\pm 5^\circ$ (Elastomerschlauch) bzw. $\pm 3^\circ$ (metallisch flexible Leitung) jeweils mindestens 10^6 Lastspiele bei einer Frequenz von 10 Hz ohne Leckage überstehen.

9.8.2 Engine Rock

Die „Engine Rock“-Prüfung simuliert die Bewegungen des Motors. Dazu werden die Prüflinge im 180°-Bogen im Mindestbiegeradius verbaut.

Die Befüllung erfolgt jeweils mit einem Helium-Luftgemisch, wobei der Fülldruck der Kältemittelleitungen unabhängig vom Verbauort, 10 MPa beträgt.

Bei der Einspannung ist zu beachten, dass ein Ende des Prüflings fixiert und das andere Ende fest mit dem Prüfstand/Prüflingsaufnahme verbunden ist (siehe Bild 10).

Mit einer Frequenz von 12 Hz wird das bewegte Ende in x- und y-Richtung ± 10 mm und in z-Richtung ± 15 mm belastet.

Drei Prüflinge müssen jeweils 200 000 Lastspiele je Richtung/Raumachse ohne Leckage überstehen.

9.8.3 Resonanz-Schwingprüfung

Jeweils 3 Prüflinge der Kältemittelleitungen sind im 180°-Bogen im Mindestbiegeradius zwischen einer festen und einer schwingenden Aufhängung horizontal einzuspannen (siehe Bild 10).

Bei der Einspannung ist zu beachten, dass ein Ende des Prüflings fixiert und das andere Ende fest mit dem Prüfstand/Prüflingsaufnahme verbunden ist (siehe Bild 10).

Die Einspannung des ZB-Kältemittelleitung erfolgt über die Verbindungstechnik, wobei der jeweilige väterliche Teil der Verbindungstechnik mit der Kältemittelleitung fest verbunden ist und der mütterliche Teil der Verbindungstechnik fest mit dem Prüfstand/Prüflingsaufnahme verbunden ist.

Der Aufbau des IWT entspricht den Randbedingungen der Prüfung der Rüttelfestigkeit (siehe 9.8.8).

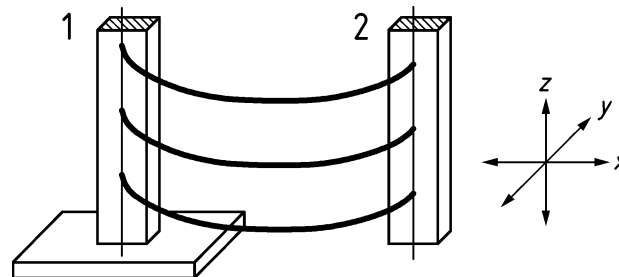
Die Befüllung erfolgt jeweils mit einem Helium-Luftgemisch, wobei der Fülldruck der Kältemittelleitungen unabhängig vom Verbauort, 10 MPa beträgt.

Die Leitungen werden mit nachstehend angegebener Beschleunigung und veränderlicher Amplitude einer Vibration ausgesetzt. Von den dabei auftretenden Resonanzstellen sind die 4 größten auszuwählen und deren Frequenz je 4 h weiter zu prüfen.

- Frequenzbereich: 5 Hz – 50 Hz – 5 Hz
- Frequenzdurchlauf: 1 Oktave/min
- Beschleunigung (max.): $\pm 1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Die Überprüfung der Resonanzstellen hat in allen 3 Raumrichtungen (x, y, z) zu erfolgen. Beim Auftreten von weniger als 4 Resonanzfrequenzen in einer Richtung ist nur die jeweilig auftretende Anzahl je 4 h abzutesten bzw. bei keiner Resonanzstelle in einer Raumrichtung kann die Prüfung in der Richtung ganz entfallen.

Es dürfen keine Beschädigungen auftreten. Anschließend ist die Prüfung der Gasdichtheit (9.6.3) durchzuführen und die ermittelte Leckagerate zu dokumentieren.



Legende

- 1 feste Seite
- 2 schwingende Seite

Bild 10 — Prinzipskizze Versuchsaufbau Schwingprüfung für Kältemittelleitungen

9.8.4 Kältebeständigkeit bei 20 000 Lastwechseln

Jeweils 3 Schlauchleitungen sind an einer Seite mit einem Verschlussstück, auf der anderen Seite mit einem Verschlussstück mit Füllventil zu verschließen.

Die so vorbereiteten Kältemittelleitungen sind bei RT mit R744 zu füllen (Füllmenge $0,19 \text{ g/cm}^3$). Die Schlauchleitungen sind in einem U-Bogen zwischen einer festen und einer schwingenden Aufhängung einzuspannen (siehe Bild 10). Der horizontale Abstand der Prüflingsenden entspricht dem doppelten Mindestbiegeradius. Formschläuche werden unverspannt eingebaut. Die Amplitude beträgt $\pm 12,5 \text{ mm}$ in z-Richtung bei einer Frequenz von 10 Hz. Die Prüftemperatur liegt bei -30 °C . Nach jeweils 500 Schwingungen ist 1 h Pause einzulegen. Die Gesamtschwingungszahl beträgt 20 000 Lastwechsel.