

CO₂-Schlauchleitungen – Entwicklungsschritte bis zur Serienreife



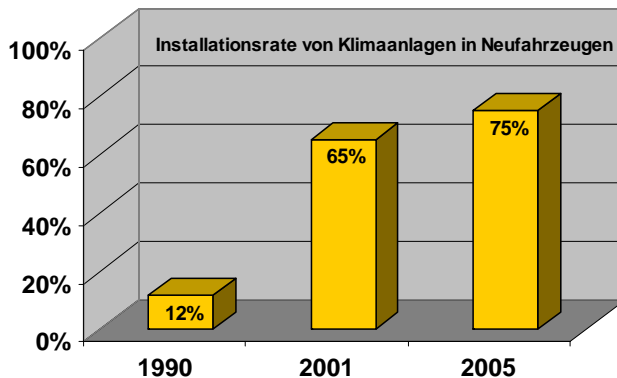
Dipl. Ing. Klaus Brühne
ContiTech Fluid
Korbach, Deutschland

Dipl. Ing. Klaus Brühne hat an der Universität-Gesamthochschule Kassel von 1991 bis 1994 Maschinenbau studiert. Seinen beruflichen Werdegang hat er 1995 in der F+E der ContiTech Schlauch GmbH begonnen, zu seinen ersten Aufgaben gehörte die Entwicklung von Kältemittelschläuchen. Im Jahr 2001 hat er die Projektleitung für die Entwicklung von flexiblen R744-Kältemittelschlauchleitungen übernommen. Seit 2004 leitet er die Entwicklungsbereiche Klimatisierung, Servolenkung und Ölhydraulikanwendungen.

1. Technologische und ökologische Aspekte sowie deren Einfluss auf die Fahrzeugklimatisierung

1.1 Technologische Aspekte

Im Automobil kann man seit Jahren den Trend zu mehr Komfort und mehr Sicherheit beobachten. Ein Bestandteil dieser Entwicklung ist die Fahrzeugklimatisierung, die über die Verdampfung eines Kältemittels die benötigte Kälteleistung zur Verfügung stellt.



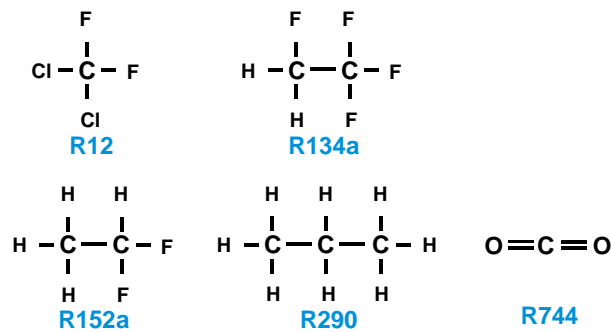
Waren vor wenigen Jahren die Klimaanlage fast ausschließlich der automobilen Oberklasse vorbehalten, gehören sie heute oft schon bei Kompaktautos zur Serienausstattung. Die Technik dieses Kälteprozesses hat in den 80er Jahren mit unregelmäßig angelegten und sich mittlerweile zu einer individuellen und gleichzeitig kaum mehr wahrnehmbaren Klimatisierung entwickelt. So wird heute eine absolut zugfreie, unsichtbare und mit vier Klimazonen arbeitende Klimaanlage als „modernste Klimaanlage der Welt“ präsentiert.

Durch das aerodynamische Design der heutigen Fahrzeuge, mit großen, stark geneigten Scheiben, liegen die Temperaturen im Fahrbetrieb stets ca. 5°C - 15°C über der Außentemperatur. Bei direkter Sonneneinstrahlung können im Kopfraum des Fahrgastraumes Temperaturen bis zu 70°C erreicht werden. Das bedeutet, dass die reine Außenluftkühlung für ein komfortables, gesundes und sicheres Fahren heute nicht mehr ausreicht.

Moderne Klimaanlage ermöglichen eine konstante, körperfreundliche Fahrzeuginnentemperatur von ca. 22°C und bieten somit neben dem Wohlfühleffekt klare Vorteile im Bereich der Fahrzeugsicherheit, die gegebenenfalls sogar Leben retten kann. Die Regulierung der Temperatur verhindert, dass bei steigendem Wärmegrad die Reaktionszeit zunimmt. Zum einen steigt die Reaktionszeit mit dem Wärmegrad an, zum anderen nimmt mit zunehmender Wärme auch die Neigung zu „hitzigem Verhalten“ zu, wie die Arbeitsmedizinerin Barbara Bernhard vom Privaten Institut für Mobile Arbeitsmedizin (PIMA) in Mainz in zahlreichen Testreihen festgestellt hat.

Etwa 20% aller Verkehrsunfälle könnten, so die verbreitete Ansicht von Verkehrsexperten und Medizinern, mit einem klimatisierten Auto vermieden werden. Besonders gefährdet sind Autofahrer mit Herz-Kreislaufkrankungen.

1.2 Ökologische Aspekte



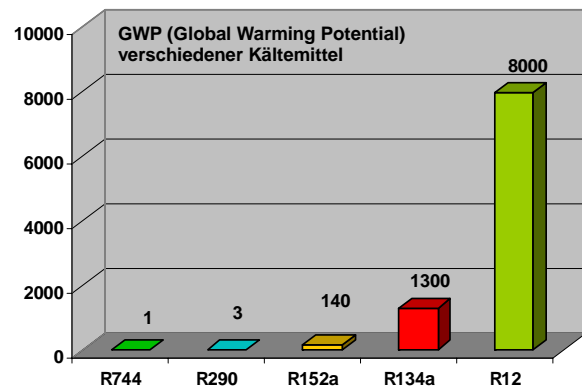
Kältemittel für Klimaanlage in der Automobilindustrie

ozonschädigende FCKW - R12 durch das HFKW - R134a in mobilen Klimaanlage ersetzt. Ende der 90er Jahre und mit Beginn des neuen Jahrtausends ist der globale Erwärmungseffekt immer stärker in den Mittelpunkt der Diskussion gerückt. Das derzeit verwendete Kältemittel R134a ist im Kyoto-Klimaschutzprotokoll als unerwünschte Substanz ausgewiesen, da es zur Gruppe der florierten Kohlenwasserstoffe gehört und mit einem GWP (Global Warming Potential) von 1300, also dem 1300-fachen von CO₂ (Technische Bezeichnung R744), zu den Treibhausgasen zählt.

Auf dem Hintergrund dieser Tatsache wurde 1995, in dem gleichen Jahr in dem FCKW-haltige Kältemittel per Gesetz verboten wurden, das European RACE-Project von den Automobilherstellern ins Leben gerufen, um CO₂ als Kältemittel für eine neue Generation von Klimaanlage zu etablieren.

Parallel zu dieser technischen Entwicklung findet auch der ökologische Aspekt bereits in der Entwicklung neuer Fahrzeuggenerationen Berücksichtigung. Gesetzesvorgaben schaffen weitere Rahmenbedingungen die in den Entwicklungsabteilungen der Automobilindustrie in den Lastenheften für Neuentwicklungen mit aufgenommen werden müssen.

Im Bereich der Fahrzeugklimatisierung waren zu Beginn der 90er Jahre die verwendeten Kältemittel aufgrund ihrer ozonschädigenden Wirkung in der Diskussion. Als Folge dieser Umweltdiskussion wurde u.a. das



2. Kältemittelschläuche und Schlauchleitungen für Klimaanlage im Pkw

2.1 Kältemittelschläuche und Schlauchleitungen für R134a-Anlagen

ContiTech Schlauch GmbH
Produktentwicklung

CONTITECH
FLUID

Kältemittelschläuche für R134a

Konstruktionen und Permeationsraten im Vergleich

Permeationsraten 240h / 90°C	Materialien
ca. 100 kg/m²xa	HNBR, NBR, IIR
ca. 120 kg/m²xa	Aramid, PVA, PVA
ca. 20 kg/m²xa	HNBR, CR, CR
ca. 0,5 - 1 kg/m²xa	PA6 (biaxial), PAM 53, PAM 53, PAM 53
ca. 1 - 4 kg/m²xa	HNBR, EPDM, EPDM, EPDM
dto.	Aramid, PES, Aramid, Aramid
dto.	HNBR, CSM, EPDM, HNBR

Produktentwicklung CT Schlauch, Klaus Brühne

Konzernbereich ContiTech der Continental AG

Die erste Generation von Klimaanlage wurde noch mit dem ozonschädlichen FCKW-haltigen Kältemittel R12 betrieben. Neben den ungünstigen ökologischen Eigenschaften wurden anfangs Kältemittelschläuche (NBR/CR oder HNBR/HNBR) und Verbindungstechniken eingesetzt, die mit einer Permeationsrate von ca. 100-125 kg/m²xJahr um den Faktor 50 über heutigen modernen Sperrschichtschläuchen liegen. Mit der Umstellung von R12 auf das nicht ozonschädigende Kältemittel R134a wurden fast zeitgleich Schläuche mit einer PA-Sperrschicht eingesetzt, die eine Permeationsrate, je nach

Hersteller, zwischen 1-10 kg/ m²xJahr aufweisen.

Parallel zur Entwicklung einer PA-Sperrschichtfolie etablierte sich die Butyl-Innenschicht (IIR) als kostengünstige Alternative zum „Folienschlauch“. Die Permeationsrate liegt zwar mit ca. 20-40 kg/m²xa unter den Verlusten anderer „Gummischläuche“ aber immer noch weit über den Werten moderner Sperrschichtschläuche. Neben der geringeren Temperaturbeständigkeit ist dies auch der Grund, warum in den aktuellen Fahrzeugsystemen der Butylschlauch immer mehr an Bedeutung verliert.

Je nach Art und Schichtdicke können die Permeationsraten der jeweiligen Folien- bzw. Butylschläuche schwanken. Beim Folienschlauch kann z.B. durch eine biaxiale Verstreckung der Folie die Permeation nochmals verringert werden. Durch die Orientierung der PA-Moleküle während der Verstreckung wird das freie Volumen verringert und dadurch die Sperrwirkung erhöht.

2.2 Kältemittelschläuche und Schlauchleitungen für R744-Anlagen

ContiTech Schlauch GmbH
Produktentwicklung

CONTITECH
FLUID

Kältemittelschläuche

R134a + R744 Design

R134a
HP: max. 30 bar / 150°C
LP: max. 4 bar / 80°C

Sperrschicht mit min. Permeation

PA-Folie, EPDM, Aramid / PES, HNBR/EPDM/CSM

R744
HP: max. 145 bar / 200°C
LP: max. 100 bar / 120°C

tight by design gegen überkritisches CO₂

Edelstahlwellrohr, FPM / HNBR, Stahldraht, FPM / HNBR

Produktentwicklung CT Schlauch, Klaus Brühne

Unternehmensgruppe ContiTech

Bei der Entwicklung von Kältemittelschläuchen und Schlauchleitungen für CO₂ (technische Bezeichnung R744) mussten komplett neue Wege beschritten werden, um ein funktionierendes Konzept für dieses neue, umweltfreundliche Kältemittel zu finden. Neben den hohen Temperaturen mit Spitzen bis zu 200°C und einem Betriebsdruck von bis zu 145 bar lag das Hauptproblem darin eine Sperrschicht gegen CO₂ zu finden.

Kohlendioxid hat seinen kritischen Punkt bei 31,06°C und 73,8 bar. Darüber befindet es sich im überkritischen Zustand und

erweist sich dann durch seine geringe Oberflächenspannung als sehr gutes Lösungsmittel. Technisch genutzt wird das z.B. bei der Entkoffeinierung von Kaffee oder Tee, der Reduzierung von Nikotin im Tabak für Leichtmarken und der Herstellung von Pflanzenextrakten von Hopfen und anderen Gewürzen.

Neben diesem guten Lösungsvermögen hat CO_2 eine hohe Permeationsfähigkeit durch nichtmetallische Werkstoffe. Aus diesem Grund kam nach längeren Grundlagenuntersuchungen nur ein metallischer Werkstoff als Sperrschicht in Frage. Mit einem metallischen Wellrohr als Innenschicht wurde das Problem der stark unterschiedlichen E-Module gegenüber einem Elastomer-Verbundkörper gelöst.

2.3 Kältemittelschläuche und Schlauchleitungen für R744-Anlagen

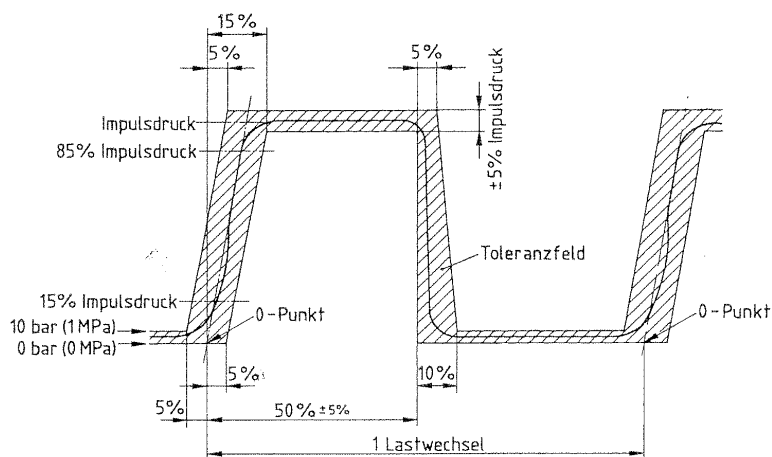
Durch ein spezielles Armaturen-Schlauchkonzept mit dem das Wellrohr dynamisch entkoppelt wird und dadurch „nur“ als Sperrschicht gegen CO_2 dient, konnte das anfangs sehr große Problem der dynamischen Leistungsfähigkeit gelöst werden.

Darüber hinaus ist es unumgänglich parallel eine Verbindungstechnik zu entwickeln, die sicherstellt, dass die flexiblen Schlauchleitungen ohne Undichtigkeiten in das Gesamtsystem der Klimaanlage integriert werden können.



2.4 Qualifizierung zur Serienreife

Mit der Auswahl einer metallischen Innenschicht in Form eines Wellrohrs als Permeationssperre für CO_2 stellte sich die Frage, wie diese in einem elastomeren Verbundkörper nach den Regeln der Technik zu prüfen ist, um eine Lebensdauer von mind. 300.000 km bzw. 15 Jahren in einem Kraftfahrzeug zu garantieren.



Impulsdruckprüfung gem. EN ISO 6803

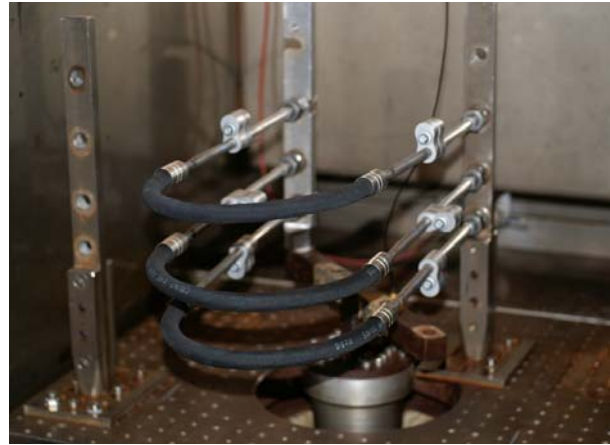
Die R744-Wellrohrschlauchleitung ist eine Kombination aus einem metallischen Wellrohr und einem elastomeren Verbundkörper-schlauch als Druckträger. Eine solche Werkstoffkombination war für flexible Schlauchleitungen ein Novum. Aus diesem Grund stellt sich hier die konkrete Frage wie man einen solchen „Verbundkörper“ so absichert, dass er die geforderte Lebensdauer erreicht.

Erste Prüfungen und Untersuchungen haben gezeigt, dass man die bekannten Regeln der Technik für Elastomerschläuche erweitern muss, um die neue Komponente Wellrohr mit abzusichern.

Eine entscheidende Lebensdauerprüfung ist die dynamische Impulsdruckprüfung gem. EN ISO 6803, diese Prüfung ist ebenso wie die Schwingungsprüfung aus dem VDA-Lastenheft für R134a Kältemittelschläuche bekannt.



Engine Rock Prüfung



Torsions Prüfung

Zusätzlich musste der Nachweis erbracht werden, dass die Leitungen gegen Torsion und niederfrequente Bewegungen beständig sind. Diese beiden Prüfungen stellen für einen reinen Elastomerverbundkörper kein Problem dar, sind aber für ein Wellrohr als kritisch anzusehen. Aus diesem Grund erfolgte diese Absicherung im nächsten Schritt.



Bei ContiTech wurde zusätzlich die Möglichkeit des ContiDroms als Prüfstrecke genutzt, dazu wurden mit einem Fahrzeug die verschiedenen Lastzustände der Schlauchleitung in der Praxis aufgenommen, so wurden in diesem Fall folgende Fahrzustände als Messwerte aufgenommen:

- Schlechtwegestrecke
- Anlassen / Ausschalten des Motors
- Volle Beschleunigung von 0 – 100 km/h
- Vollbremsung aus 100 km/h

Diese ermittelten Daten wurden dann auf einen Mehrachsschwinger übertragen und geprüft. Da es

sich bei der R744-Schlauchleitung um ein komplett neues System handelt, diente diese Prüfung als zusätzliche Absicherung, bevor eine Serienfreigabe für den OEM stattfand.

Mit dem vorläufigen VDA-Lastenheft für R744-Kältemittelschlauchleitungen ist die Rotationsprüfung (teilweise auch Whip-Test genannt) in die Reihe der dynamischen Prüfungen mit aufgenommen worden. Eine ähnliche Prüfung gibt es für Bremsschlauchleitungen, dabei wird die dynamische Bewegung des Rades mit dem Bremsschlauch simuliert.

In wieweit eine solche Prüfung zur Absicherung der Lebensdauer von R744-Kältemittelschlauchleitungen heranzuziehen ist, sollte man meiner Meinung nach nochmals genauer prüfen, zumal die R744-Schlauchleitungen nicht einer vergleichbaren Belastung ausgesetzt sind. Darüber hinaus werden die Kosten für eine Freigabepfung erhöht, was sich letztendlich auch auf den Preis des Gesamtleitungssystems auswirkt.

Nach positivem Abschluss dieser Lebensdauerprüfungen sollte grundsätzlich für neue Modelle eine Fahrerprobung stattfinden, dies ist insbesondere im Fall der R744-Klimaanlagen unerlässlich, da es sich um ein komplett neues Produkt handelt.



Rotationsprüfung / Whip-Test

Wenn auch diese letzte Hürde genommen ist steht aus technischer Sicht einem Serieneinsatz nichts mehr im Wege.

3. Ausblick

Neben den beschriebenen Entwicklungen in der automobilen Klimatechnik ist für Schläuche und Schlauchleitungen im Kfz allgemein der Trend zu höheren Anforderungen in den Bereichen Druck, Temperatur und Sperrschichtwirkung zu erkennen. Durch engere Motorräume, Leistungsverdichtung und Kapselung des Motorraums entstehen generell höhere Temperaturen, zusätzlich werden durch höherwertige technische Systeme (z.B. Turboaufladung, Kraftstoffdirekteinspritzung, Servolenkung, aktive Fahrwerkssysteme, CO₂-Klimaanlagen, etc.) Druck- und Temperaturanforderungen erhöht. Für die Entwicklungsabteilungen ergeben sich dadurch völlig neue Herausforderungen, die nur mit qualifizierten Teams zu bewältigen sind.

Referenzen:

- [1] R. Mager, J. Wertenbach, H. Hammer, VDA Alternate Refrigerant Meeting, Saalfelden Österreich
- [2] Firma BEHR, Produktbereich Klimatisierung, Siemensstr. 164, Stuttgart
- [3] DIN-Taschenbuch 174, Schlauchleitungen für die Fluidtechnik, 4. Auflage, Beuth Verlag, Oktober 2002
- [4] http://www.volkswagen-umwelt.de/_content/praxis_195.asp
- [5] <http://portale.web.de/Schlagzeilen/News>, dpa Meldung vom 25.06.2002 09:31 Uhr
- [6] Kohlendioxid (CO₂) als Kältemittel für Kfz-Klimaanlagen, Jostein Pettersen und Gustav Lornetzen, Forschungsstiftung SINTEF an der Norwegischen Technischen Hochschule N-7034 Trondheim, Norwegen
- [7] Mike Eismann, ContiTech Kühner, Oppenweiler