

*Leitungen und Verbindungselemente von Kraftfahrzeugklimaanlagen*

## 9. Karlsruher Fahrzeugklima-Symposium

Ulrich Adolph, Leipzig

*Am 21. September 2006 fand nun schon das dritte Symposium des Test- und Weiterbildungszentrums Wärmepumpen und Kältetechnik in diesem Jahr statt, insgesamt das 9. in einer erfolgreichen Reihe praxisbezogener wissenschaftlich-technisch hochwertiger Veranstaltungen des TWK. Zunächst ist die Titelergänzung interessant, nämlich „... insbesondere für CO<sub>2</sub>, aber auch für neueste R134a-Anlagen“. Dabei konnte der außenstehende Berichterstatter zunächst kaum nachvollziehen, dass zu dieser Thematik ein hochkarätiges Symposium mit innovativen Lösungen zu erwarten ist. Er wurde aber schnell vom Gegenteil überzeugt und konnte Prof. Reichelt nur beglückwünschen, dieses Thema aufgegriffen zu haben.*

Wie schon bei Karlsruher Symposien üblich, war die Organisation der Veranstaltung in jeder Beziehung perfekt. Prof. Reichelt hatte schon am Vorabend die Referenten und Gäste zum zwanglosen Zusammensein eingeladen und dabei deren gegenseitige Vorstellung veranlasst. So gingen dann die Mitwirkenden am nächsten Morgen ihre Vortragsaufgabe schon in etwas vertrauter Atmosphäre an.

Bei der Eröffnung konnte Prof. Reichelt darauf aufmerksam machen, dass die der Veranstaltung zugrunde liegenden Komponenten für Kraftfahrzeugklimaanlagen nicht von großen Kraftfahrzeugfirmen selbst entwickelt werden, sondern von den Lieferfirmen der Klimatechnik und in vie-

len Fällen auch wieder von deren Komponentenlieferanten. Insofern stehen diese Komponenten kaum im Mittelpunkt der Autosalons oder von Veröffentlichungen der Automobilindustrie, sie sind aber für das Ergebnis einer gut und dauerhaft funktionierenden Klimaanlage von entscheidender Bedeutung. Insbesondere mit Blick auf die eventuell doch bald kommende Periode der Serieneinführung des Kältemittels CO<sub>2</sub> in Kraftfahrzeugklimaanlagen mit der fünffachen Drucklage gegenüber R134a und den Diffusions- und Dekompressionsbedingungen von Kunststoffen unter Hochdruck-CO<sub>2</sub> war bisher ein erheblicher Entwicklungsaufwand zu erbringen und ist in Vorbereitung der Serienein-

führung weiter zu erbringen, vor allem auch auf technologischem Gebiet. Von diesen Entwicklungen gehen natürlich auch Impulse aus auf die aktuellen Serienprodukte mit dem Kältemittel R134a.

Die Referenten des Symposiums waren zumeist Entwicklungs- oder Projektleiter für die Produkte, über die sie sprachen. Daraus folgte auch der kompetente Inhalt der meisten Vorträge. Sie sollen im Folgenden kurz referiert werden. Vielleicht ist das Anlass für die Leser der KK, sich bei eigenen vergleichbaren Problemen mit den Vorträgen umfassender vertraut zu machen oder den Kontakt zu den Experten zu suchen. Insofern ist das Gebotene auch ein „über den Tellerrand“ blicken und durch gegenseitige Einblicke weitere Innovationen zu ermöglichen.

### **CO<sub>2</sub>-Schlauchleitungen – Entwicklungsschritte bis zur Serienreife**

Hierüber berichtete **Klaus Brühne** von **ContiTech Fluid**. Die Entwicklung von neuen Schlauchleitungen kann dann als erfolgreich angesehen werden, wenn unter den spezifischen Testbedingungen eine Fahrleistung von bis zu 300 000 km erreicht wird, was ca. 15 Jahren Lebensdauer entspricht. Wegen der Werkstoffeigenschaften des CO<sub>2</sub> kommt für die Schläuche ein inneres Wellrohr aus Edelstahl zum Einsatz. Das Wellrohr allein längt sich bei Druckbelastung und platzt bei Überlastung. Der Schlauch allein kürzt sich unter vergleichbaren Bedingungen und platzt schließlich auch. Das Wellrohr in der Schlauchleitung bleibt stabil, wird durch den Schlauch dynamisch entkoppelt und dient dadurch hauptsächlich als Sperrschicht gegen CO<sub>2</sub>.



Prof. Reichelt eröffnet das Symposium und begrüßt die ca. 120 Teilnehmer



### Kältemittelschläuche

R134a + R744 Design

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

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

Aufbau der CO<sub>2</sub>-Schlauchleitung im Vergleich zur R134a-Leitung

### Schädigungsmechanismen

Eine Verbesserung der Druckfestigkeit von Metallschläuchen ist durch die Erhöhung der Wanddicke und/oder Verminderung der Wellenhöhe möglich.

- Beide Maßnahmen verschlechtern aber die Ermüdungsfestigkeit gegen Verformungen
- Der Metallschlauch muß für diesen Zielkonflikt optimal ausgeleert werden

Schädigungsmechanismus des Metallschlauchs durch Druck und Verformung

### Status - Konzept Studie

**Piflex**

- Umfangreiche FEM Analysen zur Identifizierung von festigkeitsbeeinflussenden Konstruktionsfaktoren:
  - Rohrabmessungen und Materialeigenschaften
  - Durchmesser der Spirale
  - Anzahl der Rohre
  - Decken- (Stütz-) Material
- Strömungssimulationen zur Identifizierung von druckverlustbeeinflussenden Konstruktionsfaktoren
- Optimierung mittels FEM um gleichförmige Spannungsverteilung zu erhalten

Date: 2008-03-15 - Page: 4 - Piflex

Entwicklungsschwerpunkte für die flexible Hochdruckleitung

### Komponenten: Verbindungstechnik

**Visteon VisCO<sub>2</sub>NNECT™**  
**Verbindungstechnik**

- Austauschbare metallische Dichtscheibe
- Vormontierte unverlierbare Dichtscheibe
- Schmutzschutz integriert in Dichtscheibenhalterung
- Keine Querschnittsreduzierung
- Handhabung entsprechend der heute gängigen VBT Lösungen R134a
- Flexibilität für Rohranschlüsse und DBVT möglich

Visteon - all rights reserved 2008  
 Kiz-Klima-Symposium - Karlsruhe

Typische Flanschverbindung und ihre Eigenschaften für CO<sub>2</sub>-Anwendung

Dieses System hält statisch bis ca. 1000 bar aus und besteht die seriensichernden Prüfungen der Impulsdruckbelastung bei Medientemperatur bis 165°C und Umgebungstemperatur bis 130°C bei Druckwechseln von 25 auf 175 bar mit definierter Flankensteilheit des Drucksprungs. Zudem sind Torsionsfestigkeit und Beständigkeit gegen niederfrequente Bewegungen nachzuweisen. Den Abschluss der Prüfungen bilden die Testfahrten auf der ContiTech-Teststrecke ContiDrom und bei den OEM-Kunden mit ihren CO<sub>2</sub>-Prototypfahrzeugen.

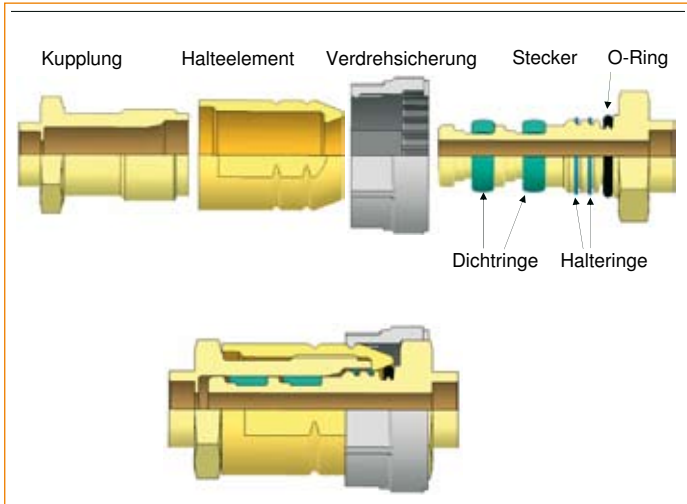
### Metallschläuche als permeationsdichte Sperrschicht für Kältemittel-Leitungen in Pkw

Die Schlauchleitungen in den Kraftfahrzeugklimaanlagen müssen nach Auffassung des Referenten, **Dr. Carlo Burkhard** von der **Witzenmann GmbH**, eine

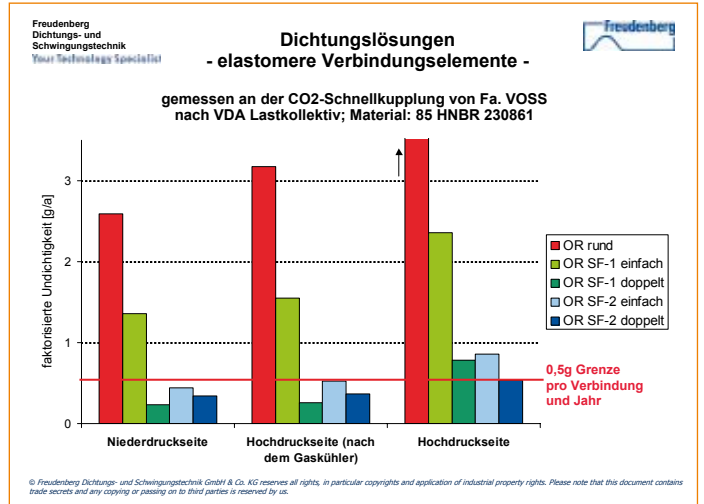
Schwingungsentkopplung zwischen den chassisfesten Komponenten und den motorfesten Komponenten bei Drücken bis 140 bar und bei Temperaturen bis 180°C gewährleisten. Die konstruktive Ausführung mit Metallwellenschlauch im Inneren resultiert wie beim ersten Referenten aus den Werkstoffbedingungen und erforderte eine umfassende Untersuchung der Details des Metallkörpers hinsichtlich Wellenhöhe, Wellenlänge, Wanddicke und Schlauchlänge. Die Dichtheitsbedingungen sind wegen der geringen CO<sub>2</sub>-Füllmenge der Anlagen sehr streng mit Gesamtlecks von <10 g CO<sub>2</sub>/a und Einzellecks von <1 g/a. Eine besondere Rolle spielten im Vortrag die Herstellungstechnologie und der Schädigungsmechanismus für die Metallschläuche. Die bisherige Erfahrung zeigt, dass die Materialermüdung der dominierende Schädigungsmechanismus ist. Die Ermüdungsfestigkeit wird in einem Betriebslasten-Nachfahrversuch abgebildet.

### Flexible Hochdruckleitungen aus Aluminium

Eine ungewöhnliche und verblüffende Innovation eines Unternehmens wurde im Vortrag von **Carsten Post, Piflex P/S**, vorgestellt, das aus einem Joint Venture von Danfoss und Hydro Aluminium besteht. Danfoss weiß, was Kapillarrohre sind, und Hydro kann mit Aluminium umgehen. Daraus folgert das neue Metallschlauchkonzept, das aus dünnen sechslagig und schraubenförmig gewickelten Aluminiumrohren besteht und dadurch sehr elastisch ist, s. Bild. An den Enden sind die Rohre in Verteilerköpfe eingelötet. Die Stabilität wird durch einen innen liegenden Silikonkern gewährleistet. Fast alle kundenspezifischen Verbiegungen können realisiert werden. Der Berstdruck liegt bei 160°C über 480 bar. Mit den Leitungen wurden die schon genannten Druckimpulstests und andere übliche Prüfungen bestanden. Die Druckverluste sind bei CO<sub>2</sub> mit



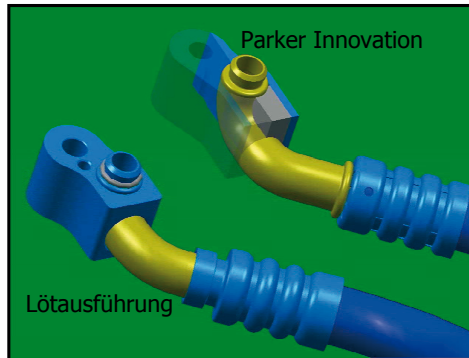
CO<sub>2</sub>-Steckverbindung SV280 mit radialer Elastomerdichtung



Prüfergebnisse zur Leckage von neuen Dichtringen für CO<sub>2</sub> im Kältekreislauf



Anordnung und Wirkung der Elastomerdichtung im Füllventil



Lötfreie Flanschgestaltung „90°-Lock-Block-Design“ von Parker Hannifin

0,9 bis 2,2 bar zwar höher als bei den Wellrohrschläuchen, können aber bei CO<sub>2</sub> in dieser Höhe beherrscht werden.

### Leitungssysteme für R744-Pkw-Klimatisierung

Auch in diesem Vortrag, der von **Dominik Prinz** und **Florian Wieschollek** vom Hersteller **VISTEON** gehalten wurde, standen die Flanschverbindungen im Mittelpunkt, allerdings aus der Sicht des Anwenders, das ist hier der Klimaanlagenentwickler. Hinzu kommen die vielen anderen Komponenten in den Leitungssystemen. Das sind die Schlauchleitungen selbst, die Befüllventile, die Berstscheibe, das Druckentlastungsventil und das Expansionsventil sowie die Druck- und Temperatursensoren. Bei allen Komponenten gibt es neue Lösungen für CO<sub>2</sub>, aber immer mit Blick auf R134a. Am Ende stand die wichtige Aussage einer vereinfachten Leitungs montage durch Komponentenintegration und das Erreichen einer geringeren Masse des Systems sowie eines geringeren bis höchstens gleichen Geräuschpegels.

### Verbindungstechnik mit elastomerer Weichdichtung für CO<sub>2</sub>-Klimaanlagen

Die Firma **VOSS Automotive** entwickelt, fertigt und liefert Aggregatanschlüsse für die Einbindung der Komponenten in den Kältekreislauf. Auf der Basis der Erfahrungen mit dem Kältemittel R134a wurden entsprechende Lösungen für CO<sub>2</sub> geschaffen. Diese wurden von **Marcus Göbel** vorgestellt. Die Ansprüche für Dichtheit, Schwingungstechnik usw. entsprechen den schon für andere Komponenten genannten Werten. Da bei den VOSS-Bauteilen zur Abdichtung Elastomere zum Einsatz kommen, verdiente bei der Entwicklung die hohe Permeationsneigung und in deren Folge die explosive Dekompression besondere Beachtung. Für Steckverbinder mit vielen Wiederholmontagen wurde die radiale Abdichtung durch Vorspannung einer elastomeren Weichdichtung erforderlich. Im Bild ist die serienreife Steckverbindung SV280 in Einzelteilen und montiert gezeigt. Die Montage erfolgt werkzeuglos von Hand;

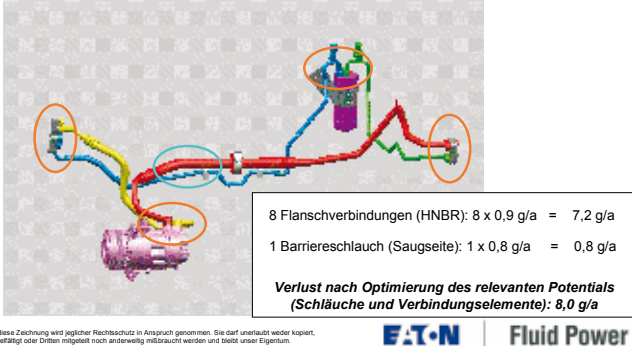
für die Demontage ist ein Werkzeug erforderlich. Der stark verformbare Dichtungswerkstoff und die Form wurden von der Firma **Freudenberg** zielgerichtet für diese Anwendung entwickelt und alle erforderlichen Prüfungen konnten nachgewiesen und bestanden werden.

### Dichtungslösungen für CO<sub>2</sub>-Kfz-Klimaanlagen

Die Ausführungen von **Dr. Gerhard Hube**, **Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik**, bestätigten umfassend erweitert die Schlusseinschätzung von **Markus Göbel** zu den Elastomerdichtungen im CO<sub>2</sub>-System, wobei aus Sicht der Dichtungsentwickler das CO<sub>2</sub> ähnlich wie bei den schon genannten Verbindungselementen als Technologietreiber eingestuft werden kann. Bei der Vielzahl der Abdichtungsstellen liegt der Schwerpunkt der Entwicklung auf der Medienverträglichkeit, d. h. in der Resistenz gegen explosive Dekompression. Dichtungen für das Kältemittel CO<sub>2</sub> stehen für den Verdichter (O-Ringe, Gleitringdichtungen, Flachdich-

Anwendung der Messergebnisse - realer Kreislauf

Betrachtung eines realen Kreislaufes (Verbesserter Zustand):



Abgeschätzte Leckverluste des verbesserten realen Kältekreislaufs



Die Referenten des 9. Karlsruher Fahrzeugklima-Symposiums

tungen, PTFE-Kolbenringe) und für die weiteren Komponenten (O-Ringe, Sonderformen und Verbundteile für Drucksensoren, Serviceventile, Schutzkappen, Expansionsventile, Sammler und Trockner) beständig zur Verfügung.

**Herausforderung Befüllventil für CO<sub>2</sub>-Klimaanlagen als externe Schnittstelle**

Es ist für einen Außenstehenden kaum zu vermuten, welche Entwicklungsanforderungen an ein Füllventil gestellt werden und welche Kreativität für die Lösung der Aufgabenstellung einzubringen ist. **Ventrex Automotive** hat für die Kunden des CO<sub>2</sub>-Klimaanlagensektors die Entwicklung so weit gedeihen lassen, dass eine konstruktive Serienlösung verfügbar ist, die jederzeit von der Handfertigung in die automatische Serienfertigung überführt werden kann. Die Abdichtungsproblematik wurde dabei auf der Basis der im vorhergehenden Vortrag beschriebenen elastomeren Dichtungslösungen beherrscht. Die Weichdichtung wirkt dabei in Verbindung mit einem metallischen Anschlag des Kegels auf dem Sitz durch die optimale Formgebung des Elastomers. In einem Video wurde durch den vortragenden Referenten **Peter Pfaffenwimmer** die Wirkung der Dichtung anschaulich dargestellt. Das Füllventil ist die entscheidende externe Schnittstelle der Klimaanlage und muss auch nach vielfacher Betätigung noch dicht sein. Es muss in den Abmessungen zu den geringen Abmessungen der CO<sub>2</sub>-Leitungen passen und darf nicht zu große Betätigungskräfte erfordern. Es muss eine

Kappe haben, diese dient aber nicht zum Dichten, sondern soll gegen Umwelteinflüsse schützen.

**Analyse der Standards zur Ermittlung von R 134a-Leckageraten bei Kfz-Klimaanlagen**

Die Ermittlung der Leckageraten erfolgte nach Darstellung **Reinfried Wobbe**, **Parker Hannifin**, mit neuer technischer Ausrüstung im Zusammenhang mit der Entwicklung einer neuartigen Flanschgestaltung und außer für R 134a auch für CO<sub>2</sub>. Eine neuartige Runddichtung aus Metall mit Elastomer kombiniert, dient der deutlichen Reduzierung der Permeation, erleichtert den Montageprozess, verträgt die hohen CO<sub>2</sub>-Temperaturen und ist für beide Kältemittel R 134a und CO<sub>2</sub> gleichsam nutzbar. Die Undichtheit liegt bei ca. 0,2 g/a für CO<sub>2</sub> auf der Hochdruckseite, bei allen anderen Anwendungen darunter.

In Verbindung mit dem 90°-Lock-Block-Design für den Flansch ergibt sich eine optimale Verbindungslösung ohne zu löten und mit Potenzial zur Kostenreduzierung. Mit derartigen Verbindungen wird eine große Montagesicherheit erreicht, so dass eine vollständige Prüfung aller Serienelemente zugunsten einer Stichprobenkontrolle nicht mehr erforderlich wird.

**Verbesserung der Systemdichtigkeit von modernen R 134a-Schlauchleitungen**

Für den Nachweis der geringen Leckageraten der modernen Barriere-Schlauchleitungen wurde ein neues hochempfind-

liches Messverfahren entwickelt, das statisch und dynamisch benutzt werden kann und das zwischen Permeabilität und echten Leckagen unterscheidet. Hierzu referierten **Stefan Welle** und **Bernd Leisenheimer** vom Hersteller **EATON FCD Engineering Centre Europe**.

Testleck und Spektrometer sind die Herzstücke der Messkammer. Als Testbedingung wurde ein Lastkollektiv gewählt, das dem Fahrverhalten in Frankfurt a.M. entspricht. Der Wechsel vom Gummischlauch zum Barrierschlauch ergibt das größte Verbesserungspotenzial durch Reduzierung der Leckverluste auf ca. 1/10. Der reale R 134a-Kreislauf wird mit 21,2 g/a dem verbesserten Kreislauf mit Barrierschlauch und HBNR-O-Ringen anstelle der EDPM-O-Ringe mit 8,0 g/a gegenübergestellt. Das bedeutet, dass die durchschnittliche Verlustrate eines Systems von 52 g/a auf 39 g/a reduziert werden kann. Für CO<sub>2</sub> mit 15 Verbindungsstellen, zwei Befüllventilen und 2 Wellrohrschläuchen wird bei elastomeren Dichtungen ein Leck von 20,6 g/a bestimmt und mit metallischen Dichtungen von 8 g/a. Nach VDA-Lastenheft soll 18,5 g/a erreicht werden, d.h. das Ziel ist nahezu erreicht.

Abschließend konnte Prof. Reichelt den Referenten für ihre Vorträge mit hohem technischen Niveau danken und mit einer Würdigung von Gustav Lorentzen als Wiederentdecker des CO<sub>2</sub> als Kältemittel seine Überzeugung ausdrücken, dass dieses Kältemittel für die Zukunft der Kraftfahrzeugklimatisierung unter Einbeziehung aller Randbedingungen das optimale Kältemittel sein wird. Dem schließt sich der Autor an. ■