

Analyse der Standards zur Ermittlung von R134a Leckageraten bei Kfz - Klimaanlagen in Europa und den USA

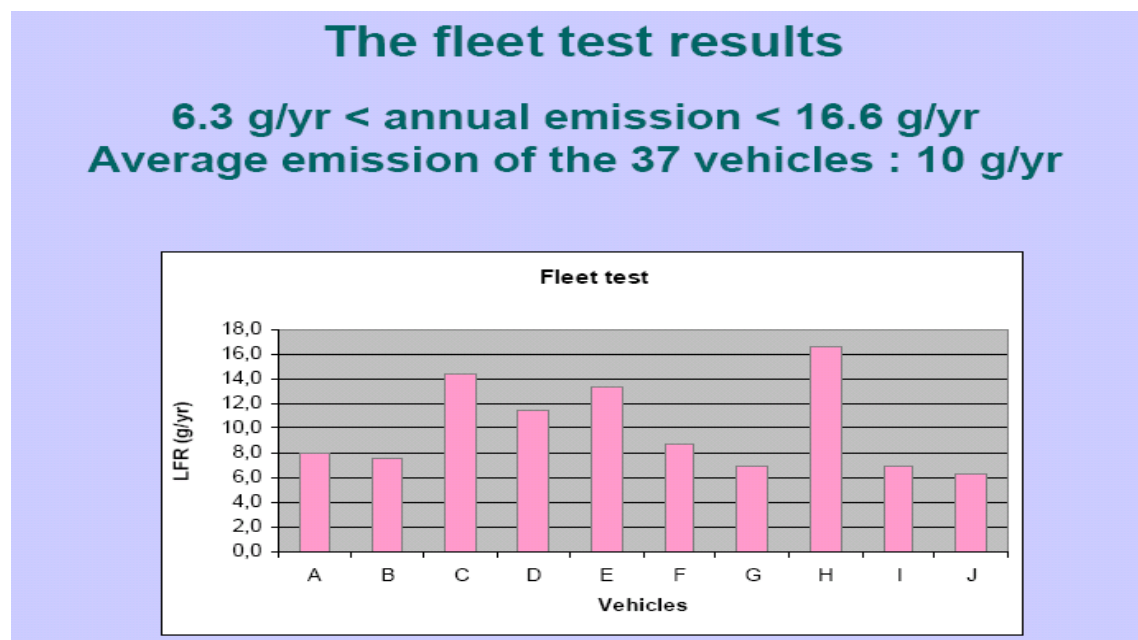
9. Karlsruher Fahrzeugklima-Symposium, 21. September 2006

Reinfried Wobbe, Parker Hannifin GmbH & Co.KG

1. Einleitung

Notwendig wird die Ermittlung der Gesamtleckage durch ein neues EU-Gesetz, welches fordert, dass ab 2007/2008 Fahrzeugklimaanlagen mit einem Verdampfer in neuen Fahrzeugmodellen nicht mehr als 40 Gramm/Jahr des Kältemittels R134a verlieren dürfen. Bei Kfz-Klimaanlagen mit 2 Verdampfern liegt der Grenzwert bei max. 60 Gramm/Jahr. Sollten neue Fahrzeugmodelle diesen Grenzwert überschreiten, könnte dies zur Folge haben, dass sie keine Zulassung bekommen. Grundlage für die festgelegten Grenzwerte bilden empirische Schätzungen die im Auftrag der EU-Kommission im Ergebnis eine Gesamtleckage für Kfz-Klimaanlagen von 57 g/ Jahr aufzeigten.

Erst im Auftrag der European Automotive Manufacturing Association (ACEA) wurde am französischen Institute Ecole des Mines das Leckageverhalten an verschiedenen PKW Typen ermittelt. Die Leckageuntersuchungen erfolgten auf Basis drei verschiedener Tests: einem Feldtest (Dauerfahrversuch), einer Untersuchung der kompletten Klimaanlage in einer Testkammer sowie die Ermittlung der Leckage an einzelnen Klimaanlagekomponenten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigten im Vergleich zu der von der EU ermittelten Leckage nur durchschnittliche Verlustraten von 10 Gramm Kältemittel pro Jahr.



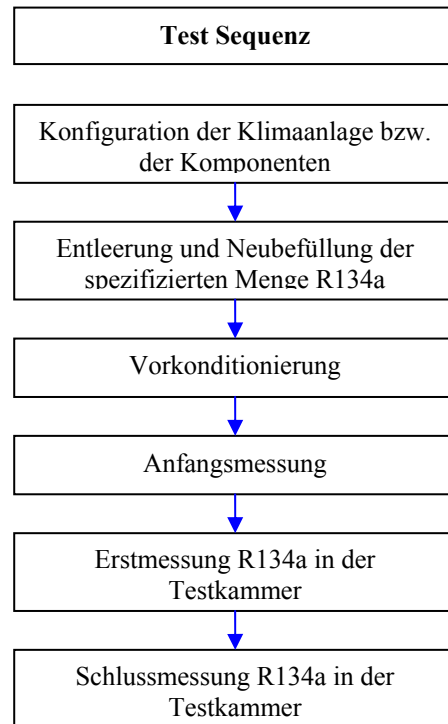
(Quelle: Denis Clodic, VDA Wintermeeting 2006)

2. Testverfahren zur Ermittlung der Gesamtleckage von Kfz-Klimaanlagen

2.1 ACEA Entwurf zur Ermittlung der Leckagen von Kfz-Klimaanlagen

Bei dem von der ACEA und der Japan Automotive Manufacturing Association (JAMA) sowie der European Association of Automotive Suppliers (CLPO) erarbeiteten Entwurf handelt es

sich um ein Testverfahren, welches auf Basis der Untersuchung von gesamten Kfz-Klimaanlagen oder auch einzelner Komponenten durchgeführt werden kann. Die Leckageuntersuchungen erfolgen unter kontrollierten Bedingungen in einer Testkammer. Die zu untersuchende Kfz-Klimaanlage oder einzelne Komponenten werden vorkonditioniert, wobei zwischen 2 Optionen (40°C oder 50°C und anschließend 40°C) mit unterschiedlich langer Verweildauer gewählt werden kann. Der Testablauf wird in der nachfolgenden Skizze aufgezeigt.



Der Test wird unter statischen und stationären Bedingungen bei einer spezifizierten Temperatur von 40°C durchgeführt. Die Berechnung der Leckage basiert auf der Anfangs- und Abschlusskonzentration R134a, der Temperatur, dem Druck in der Testkammer und dem Testkammervolumen.

Die Leckage des Kältemittels R134a berechnet sich wie folgt:

$$\dot{m}_{R-134a} = M_{134a} * \frac{\Delta n_{R-134a}}{\Delta t} = M_{R-134a} * (V_{shed} - V_{MAC}) * \frac{P_{shed}}{R * T_{shed}} * \frac{(C_{R-134ae} - C_{R-134ai}) * 10^{-6}}{(t_e - t_s)}$$

$$\dot{m}_{R-134a} = \text{Leckage R134a} \quad [\text{kg/s}]$$

$$n_{R-134a} = \text{Anzahl Moleküle R134a} \quad [\text{mol}]$$

$$V_{shed} = \text{Volumen der Prüfkammer} \quad [\text{m}^3]$$

$$V_{MAC} = \text{Volumen des Kältemittelsystems oder Komponente} \quad [\text{m}^3]$$

$$T_{shed} = \text{Temperatur in der Prüfkammer} \quad [\text{K}]$$

$$P_{shed} = \text{Druck in der Prüfkammer} \quad [\text{kPa}]$$

$$C_{R-134ae} = \text{R134a Konzentration Erstmessung} \quad [\text{ppm}_v]$$

$$C_{R-134ai} = \text{R134a Konzentration Schlussmessung} \quad [\text{ppm}_v]$$

$$t_e = \text{Schlusszeit} \quad [\text{s}]$$

$$t_i = \text{Anfangszeit} \quad [\text{s}]$$

$$M_{R-134a} = \text{Molare Masse R134a (=102kg/mol)} \quad [\text{kg/mol}]$$

R = Gaskonstante(=8,314x 10⁻³kJ/(kmol*K) [kJ/(kmol*K)]

Die Gesamtleckage berechnet sich durch die Addition der einzelnen Leckagewerte aller getesteten Komponenten und der Multiplikation eines **Korrelationsfaktors (CF=0.277)**

1. Gesamte Kfz-Klimaanlage getestet

$$\text{Leckage der Klimaanlage L (g/Jahr)} = CF \times m_{R-134a} \text{ (g/Jahr)}$$

2. Einzelne Komponenten getestet

$$\text{Leckage der Klimaanlage L (g/Jahr)} = CF \times \sum m_{R-134a} \text{ (g/Jahr)}$$

Der Entwurf des hier beschriebenen Testverfahrens zur Ermittlung der Gesamtleckage von Kfz-Klimaanlagen wurde der EU-Kommission zur Zertifizierung vorgelegt. Sollte die Kommission diesen Entwurf akzeptieren, stünde einer Einführung der von der EU geforderten Grenzwerte nichts mehr entgegen.

2.2. Entwurf der Society of Automotive Engineers (SAE) J2727r

Die ursprüngliche SAE J2727 wurde auf Basis der in der Vergangenheit ermittelten Leckageraten von Komponenten und der Erfahrung basierend auf verschiedenen Leckageeinflüssen entwickelt. Das in SAE J2727 aufgeführte "System Leakage Chart" zeigte den Grad der Verbesserung unterschiedlicher Kfz-Klimaanlagen aber nicht deren tatsächliche Leckagerate. Untersuchungen der ACEA oder aber auch der JAMA zeigten, dass die Resultate der J2727 im Vergleich zu den Werten aus Dauerfahr- und Labortests viel zu hohe Leckageraten aufwiesen. Auf Grund dieser Ergebnisse wurde die SAE J2727 überarbeitet, indem die Kenntnisse der unterschiedlichen Tests der ACEA sowie der JAMA in der J2727r berücksichtigt wurden. Hierfür wurden z.B. die Faktoren bei den Klimaschläuchen angepasst sowie ein Korrelationsfaktor eingeführt. Bei dem hier gezeigten "System Leakage Chart" handelt es sich um den am 17.09.2006 erstellten Entwurf der dem SAE (ICCC) Komitee diesem Monats zur Abstimmung vorgelegt wird.

Siehe "System Leakage Chart" nächste Seite

Detaillierte Informationen zur Berechnung der einzelnen Leckageraten sind in der SAE Spezifikation zu finden, es soll an dieser Stelle nur darauf hingewiesen werden, dass der Korrelationsfaktor (CF=0,522) bereits in die Formel zur Berechnung eingeflossen ist. Grundlage für die Bewertung bilden die Leckageraten der einzelnen Komponenten und des Systems sowie zu erwartende **Montagefehler**.

SAE J2727 TEMPLATE

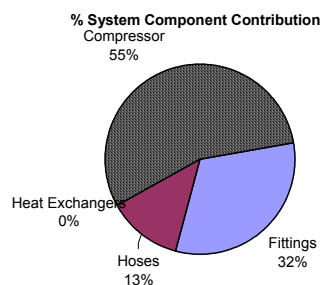
DRAFT FOR SAE BALLOT Revised Sept. 2006 Sample Vehicle

Leakage Chart							Calculated Value
System Component Connections							
Fittings							
Rigid Pipe connections	Single O-ring	Single Captured O-ring	Multiple O-ring	Seal Washer	Seal Washer with O-ring	Metal Gasket	Do Not Enter Data
Total Emissions	125	75	50	10	5	1	
Number of fittings:	9	1		2			6.368
High Side service port							
Total Emissions	60	60	40	10	5	1	
Number of fittings:	1						0.313
Low-Side service port							
Total Emissions	40	40	25	10	10	1	
Number of fittings:	1						0.209
PRV, Switches, Transducers							
Total Emissions	40	40	25	10	10	1	
Number of fittings:	2	1					0.626
						Fittings Total	7.517
						Calculated Value	
Flexible Hoses							
Includes Hose and Hose Coupling Crimps [End Connections included in Component Connection]	Length [mm]	Diameter Inner [mm]	Surface Area Do Not Enter Data	Type of Hose			Do Not Enter Data
				All Rubber Hose	Standard Barrier or Veneer Hose	Ultra-low Perm Barrier or Veneer Hose	
High pressure line 1	650	10	20420		1		0.576
High pressure line 2			0				0.000
High pressure line 3			0				0.000
High pressure line 4			0				0.000
Low pressure line 1	650	16	32673	1			2.456
Low pressure line 2			0				0.000
Low pressure line 3			0				0.000
Low pressure line 4			0				0.000
TOTAL	[place hose size in appropriate cell]			[place a "1" in the appropriate cell]		Hose Total	3.032
Heat Exchangers							
Assumption = 0.01						Heat Exchange Total	0.010
	[heat exchanger value pre-set value 1]				[heat exchanger value pre-set value 1]		
Compressor							
	Type of seal						
	Number of lips on shaft seal	Number of Molded Housing	Number of Gasket Housing	Number of O-Ring Housing Seals			Do Not Enter Data
Number of features in compressor	1	2		2		Belt driven compr total	13.050
Belt Driven compressor	1500	200	100	300			
Number of features in compressor						Electric compr	0.000
Electric driven compressor		200	100	300			
						Total	13.050
	[place a "##" in the appropriate cell Use either electric or belt driven-NOT BOTH]						

Summary	% Contribution	grams/year
Fittings	31.8%	7.5
Hoses	12.8%	3.0
Heat Exchangers	0.0%	0.0
Compressor	55.3%	13.1
	100.0%	23.6

Approximate Total System Refrigerant Emission Grams/Year	23.6
---	-------------

Rating Value	Approximate Grams/Year
1 - Leakage Enhancement Level IV	<10
2 - Leakage Enhancement Level III	10-20
3 - Leakage Enhancement Level II	20-30



3. Gegenüberstellung der unterschiedlichen Methoden und Ausblick

Der Unterschied der beiden Methoden zur Ermittlung der Gesamtleckage von Klimaanlage könnte eigentlich nicht größer sein. Dies bezieht sich zum einen auf die eigentliche Methode (wissenschaftlich ↔ pragmatisch), zum anderen auf die Komplexität der Methoden und den Aufwand bezogen auf die Zeit, das Equipment und damit die Kosten.

Die beiden Methoden verfolgen die Zielstellung international anerkannt zu werden, um komplizierte und unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung zu vermeiden. Ebenso wie der

ACEA Entwurf um internationale Akzeptanz bemüht ist, versucht die SAE J2727r sich für den europäischen Markt (EU) als anerkannte Methode zu etablieren. Aktuell wird über die Vor- und Nachteile der Methoden diskutiert, um diese dann anzupassen bzw. zu modifizieren. Auf das Ergebnis dieses Prozesses der Entscheidungsfindung darf man gespannt sein. Es wäre sicherlich im Sinne aller Beteiligten, sich auf einheitliche Standards zu einigen, um den Aufwand zu reduzieren und damit Kosten zu sparen. Interessant dürfte letztlich die Entscheidung seitens der EU bezüglich der möglichen Grenzwerte für Leckagen sein. Die Festlegung der Grenzwerte von 40 bzw. 50 g/Jahr beruhte auf der Annahme, dass durchschnittlichen Leckagen für Kfz-Klimaanlagen 57 g/Jahr betragen. Die im Anschluss durchgeführten Untersuchungen wiesen eine durchschnittliche Leckage von 10g/Jahr aus und dies könnte die EU zum Anlass nehmen, den Grenzwert weiter zu reduzieren.

4. Möglichkeiten zur Reduzierung von Leckagen in der Verbindungstechnik

Basierend auf den unterschiedlichen Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass die Leckagen bei den Schlauch-/Leitungsverbindungen bis zu 30% der Gesamtleckage einer Fahrzeugklimaanlage betragen. Bei den hier vorgestellten Varianten handelt es sich um:

- Dual Seal - Slim line & O-Ring
- Dual Seal Slim Line
- Metal Seal Design

Die SAE J2727r Bewertung unterschiedlicher Varianten sieht folgende Einstufung vor:

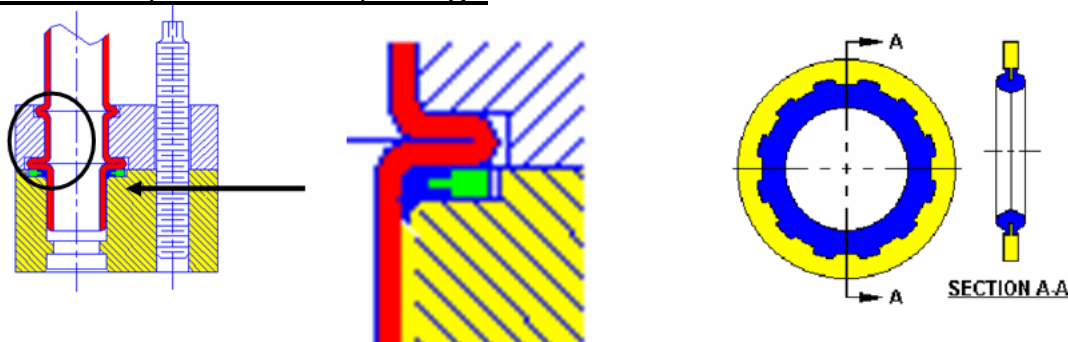
Dual Seal Slim Line *Neu = 5*

Metal Seal Fitting *Neu = 1*

O-Ring = 125; Seal washer = 10; Dual Seal - Slim Line & O ring =5

Fittings	Single O-ring	Single Captured O-ring	Multiple O-ring	Seal Washer	Seal Washer with O-ring	Metal Gasket
Rigid Pipe connections						
Total Emissions	125	75	50	10	5	1
<small>Number of fittings</small>	0	1		2		

Slim Line (Seal Washer) Design

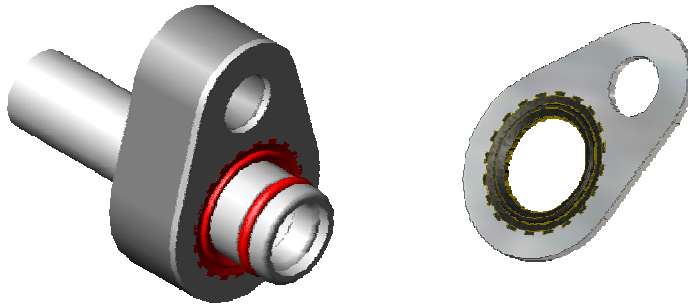


Eigenschaften des Slim Line Designs

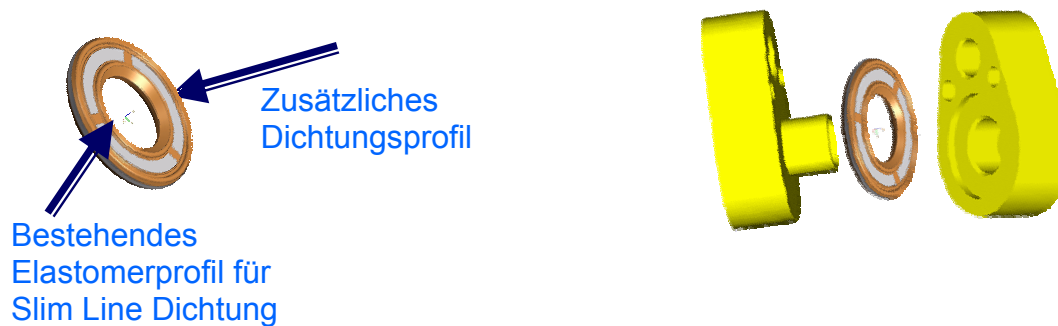
- Primäre axiale Abdichtung, sekundär radiale Abdichtung
- Absolut gewährleistete Elastomerkompression durch Metallring
- Selbstzentrierung bei Montage
- Vereinfachtes Flanschdesign im Bereich der Dichtungsfläche
- Einsatz lötfreier Prozesse

Dual Seal Design

Slim Line + O-Ring



Dual Seal Slim Line Design



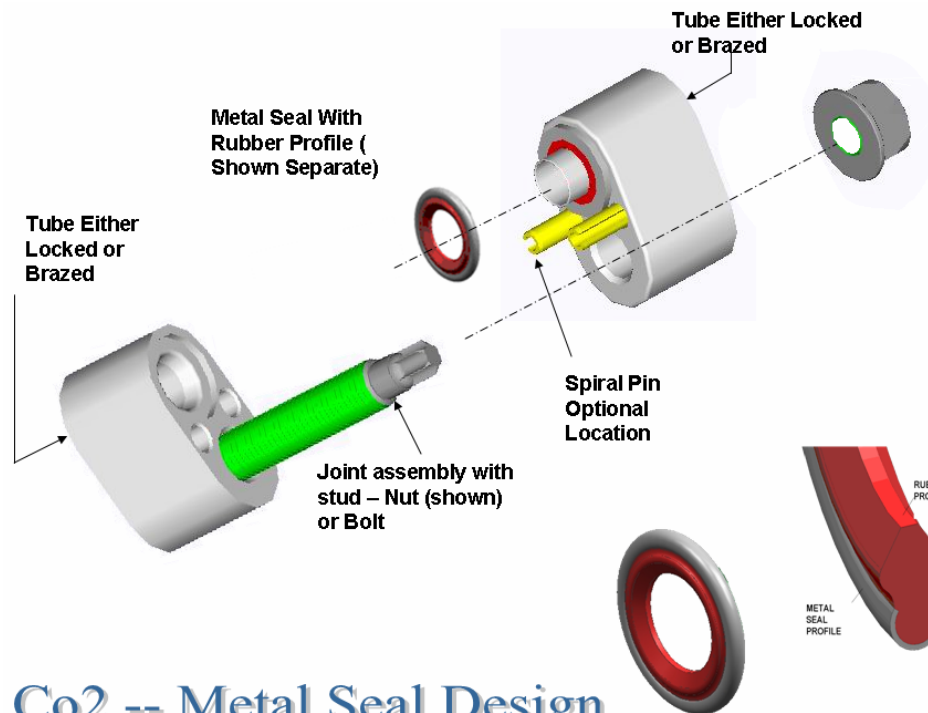
Dual Seal Design ermöglicht:

- Geringere Permeation / Leckagerate vs. Standard Slimline Dichtung
- Funktion als sekundäre Ersatzdichtung
 - gewährleistet vollständige axiale Dichtung
 - Flanschdesign vergleichbar zu Slim Line Design (bekannte Technologie)

Vergleich: Dual Slim Line vs. Slim Line + O-Ring

- Dual Slim Line – eine Komponente
- Dual Slim Line – erfordert kein Gleitmittel
- Slim Line + O-Ring – O-Ring erfordert Gleitmittel vor Montage
- Slim Line + O-Ring - erfordert zusätzliche Bearbeitung (O-Ring Nut)
- Slim Line + O-Ring – O-Ring kann während der Montage beschädigt werden und wird durch Verschmutzung beeinträchtigt
- Dual Slim Line – kann in bestehende Flanschverbindungen ohne Modifizierung eingesetzt werden welche bereits Slim Line Dichtungen verwenden.

Metal C-Ring mit Elastomer Dichtung



Co2 -- Metal Seal Design

Eigenschaften des Metal C-Ring Dichtungsdesigns

- Metal “C-Ring” Dichtung reduziert signifikant die Permeation
- Weniger Komponenten im Montageprozess
- Gewährleistet langfristige Performance unter hohen Temperaturen
- Entwickelt für R134a und R744

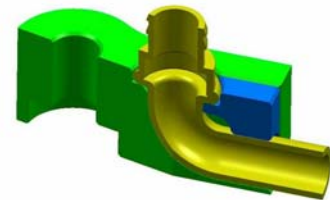
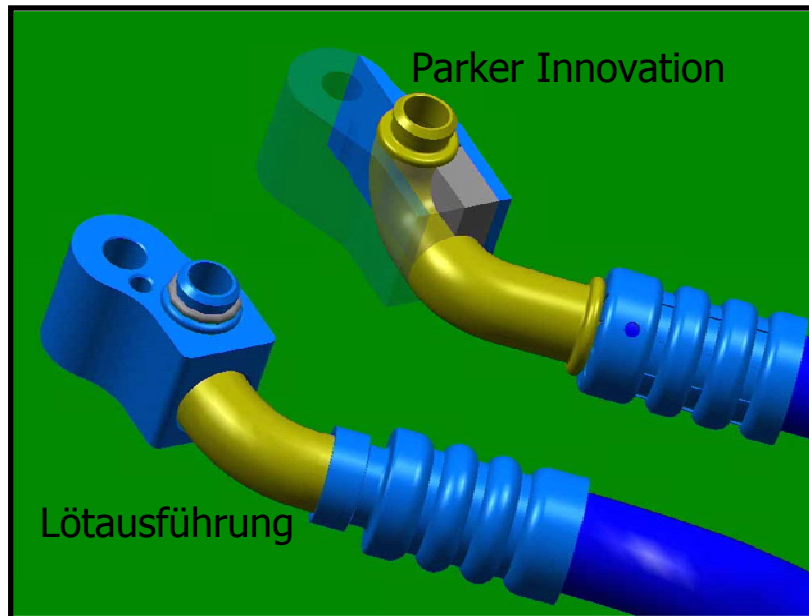
Leckage in g/Jahr errechnet unter Verwendung des Korrelationsfaktors für stationäres Testverfahren

- Dual Seal slimline – **0,103 g/Jahr** bei 40°C für 4 Stunden
- Slim Line+ O ring – **0,122 g/Jahr** bei 40°C für 4 Stunden

Die Arbeit des IMAC Teams 1 basiert auf der Annahme, dass die Verbindungstechnik für ungefähr 30% der Gesamtleckage verantwortlich ist. Diese Leckage kann über 50% reduziert werden bei Verwendung einer Dual Seal Dichtung an Stelle einer O-Ring Dichtung. Die Metal C-Ring Dichtung getestet unter CO2 Bedingungen bei 160°C ermöglicht eine sehr geringe Leckagerate von unter 0,2 g/Jahr. Bei Einsatz einer Metal C-Ring Dichtung für das Kältemittel R134a lässt sich fast keine Leckagerate messen.

Parker 90° Lock Block Design

Durch die Entwicklung eines 90° Lock Block Designs ist es möglich, die gegenwärtig überwiegend gelötete Verbindung zwischen Rohr und Flansch durch einen Umformungsprozess zu ersetzen.



Eigenschaften des 90° Lock Block Designs

- Eliminierung des Lötprozesses
- Reduzierung des Leckagepotentials
- Vereinfachte Flanschgeometrie
- Kostenreduzierung durch möglichen Einsatz von Druckgussflanschen
- Kostenreduzierung durch Wegfall der Leckageprüfung oder SPC

Bei dem von Parker entwickelten 90° Lock Block Design handelt es sich um den Ansatz, alle Lötprozesse bei der Herstellung von Klimaleitungen zu eliminieren und damit eine Reduzierung möglicher Leckagestellen zu erreichen. In der Praxis ist es bereits in Zusammenarbeit mit einem OEM gelungen den Nachweis zu erbringen, dass eine 100% Leckagekontrolle für die komplette Klimaleitung nicht erforderlich ist. In diesem Zusammenhang wurde auf eine 100% Kontrolle verzichtet und stattdessen eine statistische Überprüfung vereinbart, die es ermöglicht, die Kosten zu reduzieren.

Parker hat sich zum Ziel gesetzt die Leckageraten für Kfz-Klimaanlagen drastisch zu senken, um dem OEM beim Erreichen der erforderlichen Grenzwerte behilflich zu sein. Dies erfolgt zum einen durch Lösungen im Bereich der Flanschverbindungen aber auch im Bereich der Klimaschläuche mit der Entwicklung von "Low Perm" Schläuchen, die eine sehr geringe Permeation gewährleisten. Sollten Sie Fragen zum Thema Reduzierung der Gesamtleckage von R134a Klimaanlagen oder Entwicklung von Komponenten für die CO2 Klimaanlage haben, stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Reinfried Wobbe
Parker Hannifin GmbH & CoKG
Freiherr vom Stein Strasse
35325 Mücke
Tel: 06400 922 511
E-mail: rwobbe@parker.com