

Krafthand-Technik

# Praxiswissen Pkw-Klimaanlagen



**3. erweiterte  
Auflage**

**Technik, Service, Diagnose**

**Torsten Schmidt**

**Krafthand Medien GmbH**

Text und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.  
Eine Verwertung ist ohne Einwilligung des Verlages unzulässig.

© Krafthand Medien GmbH

**ISBN 978-3-87441-190-5**

Torsten Schmidt

# Praxiswissen Pkw-Klimaanlagen

3. erweiterte Auflage

Technik, Service, Diagnose

KRAFTHAND Medien



krafthand **medien**

Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet  
über <http://www.dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-87441-190-5

3. Auflage, Mai 2023

Autor: Torsten Schmidt

Realisierung/Lektorat: Georg Blenk

Titelgestaltung/Layout: Martin Dörfler

Titelbild: TEXA

Bilder/Grafiken: AVA-Cooling, Behr, Behr Hella, Georg Blenk, Mercedes-Benz,  
Robinair, Torsten Schmidt\*, Josef Schweigert, Toyota, Valeo, Vemo, Volkswagen,  
Vulkan Lokring, Waeco, Andreas Zühlke

Druck und Buchbinderische Verarbeitung: Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH, Dornbirn  
Printed in Austria

Alle Rechte vorbehalten

© Krafthand Medien GmbH

Walter-Schulz-Straße 1 · 86825 Bad Wörishofen

Telefon (08247) 3007-0 · Telefax (08247) 3007-70

[info@krafthand-medien.de](mailto:info@krafthand-medien.de) · [www.krafthand.de](http://www.krafthand.de) · [www.krafthand-medien.de](http://www.krafthand-medien.de)

Geschäftsleitung: Steffen Karpstein, Gottfried Karpstein

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

\*Bild- und Grafikmaterial, welches nicht gesondert mit einem Quellverweis versehen ist, ist dem Autor Torsten Schmidt © zuzuordnen.

Vorwort.....	11
<b>1. Aufgaben der Klimaanlage</b> .....	13
1.1 Zusatzaufgaben einer Klimaanlage in Hybrid- und Elektrofahrzeugen .....	14
<b>2. Physikalische Grundlagen zur Kühltechnik</b> .....	15
2.1 Physikalische Gesetzmäßigkeiten .....	15
2.2 Wichtige Begriffe zur Funktion der Klimaanlage .....	16
<b>3. Die Kältemittel</b> .....	19
3.1 Gesetzliche Vorgaben .....	19
3.2 Eigenschaften der Kältemittel R134a und R1234yf .....	20
3.3 Eigenschaften von R744 (CO <sub>2</sub> ) als Kältemittel .....	22
<b>4. Aufbau und Funktion von Fahrzeugklimaanlagen</b> .....	25
4.1 Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Klimaanlagen mit R134a, R1234yf und R744 .....	25
4.2 Grundsätzliches zum Kältemittelkreislauf .....	25
Exkurs zum Aufbau von R744-Klimaanlagen – grundsätzlich gleich, im Detail anders .....	26
4.3 Aufbau und Arbeitsweise einer Klimaanlage mit Expansionsventil .....	27
4.4 Aufbau und Arbeitsweise einer Klimaanlage mit Festdrossel .....	30
4.5 Zweiverdampferanlagen .....	31
4.6 Klimaanlage mit Heizfunktion .....	32
4.7 Standklimatisierung bei Fahrzeugen mit Start-Stopp-Automatik .....	33
4.8 Klimaanlagen/Wärmepumpensysteme in Elektro- und Hybridfahrzeugen .....	34
4.8.1 Intelligentes Thermomanagement unter Einbeziehung der Klimaanlage in E-Autos .....	36
<b>5. Komponenten des Kältemittelkreislaufs (Funktion, Ausfallursachen, Prüfmöglichkeiten)</b> .....	41
5.1 Der Klimakompressor .....	41
5.1.1 Der Taumelscheibenkompressor.....	41
5.1.2 Der Scrollkompressor.....	53
5.1.3 Elektrische Kompressoren in Hybrid- und Elektrofahrzeugen .....	54
5.2 Kondensatortypen (Ausfallursachen, Folgen bei Fehlfunktion, Prüfmöglichkeiten) .....	56

5.3	Kondensatorlüfter (Ausfallursachen, Folgen bei Fehlfunktionen, Prüfmöglichkeiten) .....	59
5.4	(Filter-)Trockner (Montage, Ausfallursachen, Folgen bei Fehlfunktion) .....	61
5.5	Expansionsventil (Ausfallursachen, Folgen bei Fehlfunktion, Prüfmöglichkeiten) .....	64
5.6	Festdrossel (Ausfallursachen, Folgen bei Fehlfunktion, Montage) .....	66
5.7	Verdampfer .....	67
5.8	Akkumulator .....	67
5.9	Kältemittelleitungen und Dichtungen (Reparaturmöglichkeiten, Aufgabe von Leitungsdämpfern) .....	67
<b>6.</b>	<b>Elektrische/elektronische Regelung (Sensoren, Funktion, Aufgabe, Diagnose) .....</b>	<b>71</b>
6.1	Grundprinzip der Systemregelung .....	71
6.2	Druckschalter/-sensor .....	74
6.3	Kältemittel-Temperatursensor .....	77
6.4	Weitere wichtige Temperatursensoren .....	77
6.5	Sonnensensor .....	78
6.6	CO <sub>2</sub> -Sensor .....	79
6.7	Luftgütesensor .....	80
6.8	Bedienteil/Steuergerät .....	80
<b>7.</b>	<b>Der Klimageservice und wichtige Wartungsarbeiten .....</b>	<b>83</b>
7.1	Grundsätzliches zum Klimageservice an R134a- und R1234yf-Anlagen .....	83
7.2	Notwendigkeit des Klimageservice .....	84
7.3	Anforderungen an Servicestationen – worauf ist zu achten? .....	85
7.4	Arbeitsschutz und fachgerechter Umgang mit den Kältemitteln R134a und R1234yf .....	89
7.5	Praxistipps für den Klimageservice .....	91
7.5.1	Eingangs- und Funktionsprüfung .....	91
7.5.2	Absaugen, Evakuieren .....	92
7.5.3	Befüllen .....	95
7.5.4	Kompressoröl .....	97
7.5.5	Innenraumfilter – Qualitätsmerkmale, Aufgabe von Aktivkohlefiltern .....	101
7.5.6	Ausgangskontrolle .....	102
7.6	Desinfizieren des Verdampfers – Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden .....	102
7.6.1	Desinfizieren mittels Reinigungslanze .....	102

7.6.2	Desinfizieren mittels Ultraschallgerät .....	104
7.6.3	Desinfizieren mittels Reinigungsspray .....	104
7.6.4	Desinfizieren mittels Ozonerzeuger .....	105
7.7	Spülen der Klimaanlage – Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden .....	105
7.7.1	Spülen mit Reinigungsmittel .....	106
7.7.2	Spülen mit Kältemittel .....	108
7.7.3	Spülen mit Stickstoff .....	109
7.8	Einsatz von Dichtmittel .....	109
7.9	Der Klimatechnikservice an R744-Anlagen .....	110
<b>8.</b>	<b>Fehlersuche an der Klimaanlage .....</b>	<b>113</b>
8.1	Lecksuche .....	113
8.1.1	Gesetzliche Vorgaben – wann eine Lecksuche zwingend vorgeschrieben ist .....	113
8.1.2	Lecksuche mit Kontrastmittel und UV-Lampe .....	114
8.1.3	Lecksuche mit Formiergas und Lecksuchgerät .....	117
8.1.4	Lecksuche mit Stickstoff .....	119
8.2	Diagnose per Schauglas – Möglichkeiten, Verschmutzungsgrad der Anlage prüfen .....	119
8.3	Fehleranalyse anhand der Systemdrücke und Leitungstemperaturen .....	121
8.3.1	Leitungstemperaturen und Drücke – Ursachen für fehlerhafte Werte .....	121
8.3.2	Spezielle Diagnosegeräte für die Klimaanlage.....	128
	Der Autor.....	131
	Stichwortverzeichnis .....	133

# Vorwort

Das vorliegende Werk „Praxiswissen Pkw-Klimaanlagen“ beschäftigt sich mit allen werkstattrelevanten Themen rund um die Klimatechnik. Das Buch widmet sich dabei der Reparatur und dem Austausch von Systemkomponenten ebenso wie dem Klimatechnikservice und der Fehlerdiagnose, ohne dabei Grundsätzliches zur Funktion einer Klimaanlage außer Acht zu lassen. Die ersten beiden Kapitel befassen sich mit den ureigenen Aufgaben einer Klimaanlage (Besonderheiten bei Elektro- und Hybridfahrzeugen eingeschlossen) und den thermodynamischen Grundlagen. Kapitel 3 gibt den aktuellen Stand zum Thema Kältemittel – inklusive R744 (CO<sub>2</sub>) – wieder, um dann in Buchabschnitt 4 auf die baulichen Unterschiede und Gemeinsamkeiten der klassischen Anlagen und von CO<sub>2</sub>-Systemen einzugehen. Dabei widmet sich das Buch auch ausführlich intelligenten Thermomanagementsystemen mit mehreren Kreisläufen in E-Autos und der zentralen Rolle der Klimaanlage, die sie bei den Wärmepumpen der Stromer spielt.

Die Kapitel 5 und 6 beleuchten die einzelnen Komponenten hinsichtlich Funktion, Diagnose, Ausfallursachen und den Folgen von Fehlfunktionen. Wie die elektronische Regelung von Klimaanlagen funktioniert, welche Sensoren und Aktoren entscheidend mitwirken, ist ebenfalls Bestandteil dieses Abschnitts.

Wie der Kfz-Profi Probleme beim Klimatechnikservice vermeidet, zeigt Kapitel 7. Es finden sich zahlreiche Praxistipps rund um

die Thematik. Welche Eigenschaften muss beispielsweise eine Klimatechnikservicestation haben und welche Möglichkeiten gibt es zum fachgerechten Desinfizieren des Verdampfers? Überdies kommen die Folgen von zu viel Feuchtigkeit in der Anlage sowie von einer Über- und Unterfüllung zur Sprache. Eine Beschreibung des in vielen Punkten anders ablaufenden Klimatechnikservices an Anlagen mit R744 findet sich ebenfalls im Praxisteil.

Im abschließenden Kapitel 8 werden verschiedene Möglichkeiten der Diagnose an klassischen Anlagen aufgezeigt. Dabei nimmt die Fehlersuche anhand der Systemdrücke und Leitungstemperaturen großen Raum ein. Außerdem werden die Möglichkeiten der Prüfung via Schauglas und die Anwendung spezieller Diagnosetools beschrieben. Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich der Lecksuche sowie die verschiedenen Methoden und entsprechenden Tipps ergänzen das Kapitel.

Torsten Schmidt,  
im Mai 2023

## 2. Physikalische Grundlagen zur Kühltechnik

Dieses Kapitel beschreibt die physikalischen Vorgänge, die beim Kühlen und Abkühlen von Umgebungsluft beziehungsweise flüssigen oder gasförmigen Medien im Allgemeinen ablaufen. Diese theoretischen Grundlagen sind notwendig, um das Funktionsprinzip und die Abläufe in einer Klimaanlage zu verstehen. Zudem kann der Kfz-Profi mit diesem Hintergrundwissen Problemen beim Klimagesetz, bei Reparaturarbeiten und vor allem bei der mitunter komplexen Fehlersuche vorbeugen. Denn letztendlich gilt: Ohne grundlegende Kenntnisse zum Aufbau und zur Funktionsweise eines Gesamtsystems, wird die Fehlersuche meistens zur reinen Glückssache.



**Physikalisch gesehen basiert das Kühlen beziehungsweise Abkühlen von Stoffen auf dem Entziehen und Abtransportieren von Wärme. Resultierend daraus gilt: Wärme fließt immer vom wärmeren zum kälteren Stoff.**

### 2.1 Physikalische Gesetzmäßigkeiten

Erreicht wird das Entziehen von Wärme unter anderem, indem Flüssigkeiten beziehungsweise Gase ihren Aggregatzustand von fest in flüssig und von flüssig in gasförmig ändern.

#### Beispiele aus dem Alltag:

1. Schmelzen von Eis: Nimmt man ein Stück Eis in die Hand, geht das ‚gefrorene Wasser‘ aufgrund des Temperaturunterschieds in den flüssigen Aggregatzustand über.

Durch den Schmelzvorgang wird der Hand Wärme entzogen, was zur Abkühlung führt.

2. Verdunstung von Flüssigkeit: Verdunstet auf der Haut befindliche Flüssigkeit, entzieht sie durch Übergang



**2.0 Gesetzmäßigkeit zur Kühlung:** Ändert ein Stoff seinen Aggregatzustand von fest zu flüssig – im Bild das Schmelzen von Eis in der Hand – und von flüssig zu gasförmig, entzieht er der Umgebung Wärme.

## 2 Physikalische Grundlagen zur Kältetechnik

in den gasförmigen Zustand dem Körper Wärme. Ein Effekt über den der menschliche Organismus bei hohen Außentemperaturen und/oder Anstrengungen seine Körpertemperatur regelt. Schließlich wird über die Bildung von Schweiß und dessen Verdunstung Wärme abtransportiert.

### 2.2 Wichtige Begriffe zur Funktion der Klimaanlage

Nachfolgend werden einige grundlegende Begriffe, die zum Verständnis des Wirkprinzips einer Klimaanlage beitragen, erklärt.

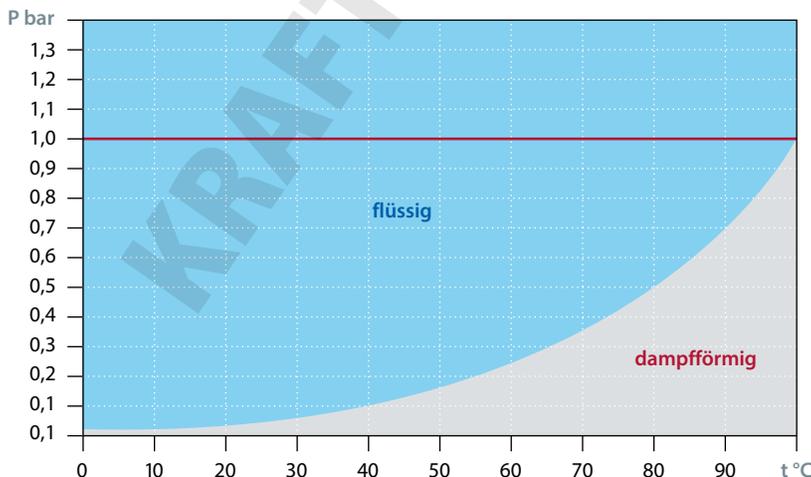
#### Verdampfen

Als Verdampfen wird das Übergehen einer Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand durch Erwärmen bezeichnet. Ob dieser Prozess langsam (Verdunsten) oder

schnell (Sieden) vonstatten geht hängt von der Höhe der Temperatur ab. Verdampft eine Flüssigkeit, entzieht sie bei diesem Vorgang der Umgebung Wärme.

#### Siedepunkt

Der Siedepunkt ist die Temperatur, bei der ein Stoff (zum Beispiel Wasser oder ein entsprechendes Kältemittel in der Klimaanlage) verdampft. Bei welcher Temperatur dies erfolgt, ist vom jeweils herrschenden Druck abhängig. Je höher der Druck, desto höher der Siedepunkt und umgekehrt. Beispielsweise beträgt die Siedetemperatur von Wasser auf Meereshöhe (1,013 bar) 100 °C. Herrscht nur noch ein Druck von 0,023 bar, verdampft Wasser schon bei 20 °C. Senkt man den Druck auf 0,015 bar, liegt der Siedepunkt bei exakt 12,7 °C. Wie im Kapitel 7.5.2 ‚Absaugen, Evakuieren‘ gezeigt wird, spielt diese



**2.1 Im Kontext:**  
Anhand der Dampfdruckkurve von Wasser lässt sich nachvollziehen, in welchem Zusammenhang Siedepunkt und Umgebungsdruck stehen.  
Grafik: Krafthand

Gesetzmäßigkeit beim Entziehen von Feuchtigkeit aus der Klimaanlage eine zentrale Rolle.

### **Abkühlung durch Entspannung/ Ausdehnung (Expansion) von Gasen**

Entspannt sich ein unter Druck stehendes Gas (zum Beispiel Luft oder das Kältemittel) schlagartig (Volumenänderung), sinkt zum einen der Siedepunkt. Zum anderen kühlt sich das entsprechende Medium durch das abrupte Ausdehnen ab. Beispielsweise dürfte jeder Kfz-Profi beim Luftablassen aus einem Rad schon festgestellt haben, dass sich die dabei austromende Luft kühler anfühlt als die Außentemperatur. Unter Umständen (entsprechende Außentemperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit vorausgesetzt) lässt sich dabei sogar eine minimale Eisbildung am Ventil beobachten.

Bei der Klimaanlage führt das schlagartige Expandieren des Kältemittels zu dessen Abkühlung und zu einem niedrigeren Siedepunkt. Diese beiden Gegebenheiten sind die Voraussetzung, dass es in den gasförmigen Zustand übergehen und der Umgebung Wärme entziehen kann.

### **Kondensieren**

Das Wechseln von Gasen in den flüssigen Aggregatzustand durch Abkühlung wird als Kondensation bezeichnet. Bei der Klimaanlage wird dieser Effekt genutzt, um verdichtetes und stark aufgeheiztes, gasförmiges Kältemittel zu verflüssigen.

## 3. Die Kältemittel

### 3.1 Gesetzliche Vorgaben

Bis Anfang der 1990er-Jahre kam das Kältemittel R12 zur Anwendung. Da der Gesetzgeber das Vertreiben und Einfüllen von R12 seit 1995 respektive 1998 untersagt hat, findet dieses stark zum Treibhaus-effekt und Ozonloch beitragende Kältemittel in diesem Buch keine weitere Berücksichtigung. Zumal durch das EU-weite Verbot Besitzer von Fahrzeugen mit R12-Klimaanlagen gezwungen wurden, eine defekte oder entleerte Anlage auf R134a umzurüsten, da dieses Kältemittel in den 1990er-Jahren R12 in Europa ablöste. Damit etablierte sich dieses Gas als einziges Standardkältemittel in Fahrzeugen bis Mitte der 2010er-Jahre.

#### **EU-Richtlinie 2006/40/EG**

Mit der 2011 wirksam gewordenen EU-Richtlinie 2006/40/EG verfügte der Gesetzgeber, dass Automobilhersteller in ab dem 1. Januar 2011 neu typgeprüften Fahrzeugen kein Kältemittel mehr einfüllen dürfen, dessen GWP (Global Warming Potential) über dem Wert 150 liegt. Zur Erklärung: Der GWP gibt das Treibhauspotenzial von Gasen im Verhältnis zu CO<sub>2</sub> (GWP1) wieder. Weil das GWP des Kältemittels R134a bei 1.430 und somit weit über 150 liegt, müssen die Automobilhersteller in Fahrzeuge, die unter die genannte Richtlinie fallen, ein anderes umwelt-

freundlicheres Kältemittel einfüllen. Eine konkrete Vorgabe, welches Kältemittel zum Einsatz kommen muss, macht der Gesetzgeber nicht.

Als alternatives und natürliches Kältemittel stand somit lange Zeit CO<sub>2</sub> (R744) im Raum, bevor sich die Automobilhersteller dann 2010 auf das Kältemittel R1234yf einigten. Es kommt in seinen Eigenschaften R134a sehr nahe. So wie beim Vorgängergas handelt es sich auch beim R1234yf um ein Kältemittel auf synthetischer Basis, nur dass sein GWP mit 4 viel niedriger ist. Die Einführung von R1234yf bedeutet(e) jedoch nicht, dass werkseitig mit R134a befüllte Anlagen im Rahmen eines Klimaservices oder nach Instandsetzungsarbeiten nicht mehr mit dem „alten“ Kältemittel befüllt werden dürfen. Für diese Zwecke kann R134a nach wie vor und ohne zeitliche Einschränkung seitens des Gesetzgebers verwendet werden.

Deshalb und weil die Automobilhersteller vor dem 1. Januar 2011 homologierte Modelle noch bis Ende 2016 serienmäßig mit R134a befüllen durften, werden sich die Werkstätten noch einige Jahre mit diesem Kältemittel und solchen Anlagen auseinandersetzen müssen. Genauso wie wohl mit CO<sub>2</sub>, das mit dem Durchbruch von E-Autos für Zulieferer und Autobauer wieder ins Spiel kam. Details und Hintergründe dazu sind in den Kapiteln 3.3 und 7.9 zu finden.

3 Das Kältemittel

Spezifische und thermodynamische Eigenschaften von R134a und R1234yf		
	R134a	R1234yf
Siedepunkt	-26 °C	-29 °C
Dampfdruck (25 °C)	6,56 bar	6,64 bar
Dampfdruck (80 °C)	25,97 bar	24,38 bar
Dampfdichte	32,4 g/m <sup>3</sup>	37,6 kg/m <sup>3</sup>
Selbstentzündungstemperatur	770 °C	405 °C
GWP	1.430	4
Chemische Bezeichnung	1,1,1,2-Tetrafluorethan oder HFO-134a	2,3,3,3-Tetrafluorpropen oder HFO-1234yf

**3.0** Unterschiede zwischen den Kältemitteln R134a und R1234yf.  
Tabelle: Krafthand

Quelle: Honeywell



Für das Einfüllen von R134a im Rahmen eines Klimaservice oder nach der Reparatur einer serienmäßig mit diesem Kältemittel befüllten Anlage bestehen durch die EU-Richtlinie 2006/40/EG keine zeitlichen oder anderen Einschränkungen. Ein Umstellen von solchen Fahrzeugen auf das neue Kältemittel R1234yf ist demzufolge nicht notwendig. Das Vermischen von Kältemitteln und das Befüllen einer R1234yf-Anlage mit R134a und umgekehrt ist nicht zulässig.

**3.1** *Kein Auslaufprodukt:* Da im Rahmen des Klimaservice kein Einfüllverbot für R134a vorgesehen ist, müssen werksmäßig mit einer solchen Klimaanlage ausgestattete Fahrzeuge weiterhin mit diesem Kältemittel befüllt werden.

### 3.2 Eigenschaften der Kältemittel R134a und R1234yf

Die Kältemittel R134a und R1234yf sind chemisch hergestellte Gase, die farb- und nahezu geruchlos sind. Außerdem verfügen sie über sehr ähnliche thermodynamische Eigenschaften, weshalb hinsichtlich des Druckverhaltens in der Anlage und der Kühlwirkung ebenfalls kaum Unter-

schiede bestehen (siehe Tabelle 3.0). Im Gegensatz zu R134a, das mit einer Selbstentzündungstemperatur von 770 °C als nicht brennbar eingestuft ist, gilt R1234yf mit einer Selbstentzündungstemperatur von 405 °C als hochentzündlich.

Und tatsächlich kam es 2015 bei einem Crashtest von Mercedes-Benz zu einem Fahrzeugbrand durch das Kältemittel, woraufhin die Stuttgarter zunächst verzichteten, R1234yf in ihre Modelle einzufüllen. Andere Autobauer folgten diesem Beispiel nicht. Sicher auch, weil eine Risikoanalyse die Bedenken von Mercedes nicht stützte. Die Ergebnisse der in globaler Kooperation mit Fahrzeugherstellern, Zulieferindustrie und chemischer Industrie (koordiniert durch die SAE = Society of Automotive Engineers) erstellten Untersuchung fasste der VDA 2010 wie folgt zusammen: „Das Kältemittel R1234yf ist in der Praxis schwer entflammbar und unterscheidet sich damit deutlich von anderen brennbaren Kältemitteln. Nur das kaum anzunehmende Zusammentreffen mehrerer, bereits einzeln sehr unwahrscheinlicher Faktoren kann zu einer Kältemittelentzündung führen. Dennoch wurde insbesondere die Entstehung von Verbrennungs- und Zersetzungsprodukten, und dabei in erster Linie die Bildung von Fluorwasserstoff (HF) untersucht. Die maximal gemessene Konzentration, denen Personen (Insassen oder Helfer) unter Worst-Case-Bedingun-



**3.2**  
**Gegen Verwechslung:**  
*Die Anschlüsse der Vorratsbehälter für R1234yf unterscheiden sich in Farbe und Anschluss von den R134a-Flaschen.*  
*Bild: Schmidt*

gen im oder am Fahrzeug ausgesetzt werden können, beträgt 50 ppm. Damit liegt der Wert bei der Hälfte des allgemein anerkannten Grenzwerts von 95 ppm/10 min für eine Fluorwasserstoff-Exposition. Die Wahrscheinlichkeit einer HF-Exposition nach Entzündung von R1234yf ist ausgesprochen gering. Die Vorgehensweise und die Größenordnung der Ergebnisse der SAE-Risikoanalyse wurden durch ein unabhängiges TÜV-Gutachten bestätigt. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, im Lotto einen 6er mit Superzahl zu gewinnen, etwa einhundert Mal größer als eine HF-Exposition.“



**Entzündet sich R1234yf, bildet sich hochgiftige Flusssäure. Dieses Kontaktgift kann schon bei einer handtellergroßen Verätzung zum Tod führen – ohne an der Haut äußerliche Verletzungen zu hinterlassen. Das Tückische: ein warnender Schmerz bei Kontakt mit der Säure tritt oft erst nach Stunden auf. Ein typisches Anzeichen für entstandene Flusssäure durch ausgetretenes und sich entzündetes Kältemittel (zum Beispiel nach einem Unfall) sind milchige Fahrzeugscheiben, aufgrund von Verätzung.**

Die Praxis bestätigt die damalige Risikoanalyse. Von Bränden aufgrund frei gewordenen R1234yf, dass sich etwa am heißen Auspuff oder Motor entzündet hat, gibt es keine Berichte beziehungsweise der Buchautor ist bei seinen Recherchen auf keine gestoßen.

### 3.3 Eigenschaften von R744 (CO<sub>2</sub>) als Kältemittel

Im Gegensatz zu R134a und R1234yf handelt es sich beim R744 um ein natürliches Kältemittel, das als Bestandteil der Luft nicht aus diversen (chemischen) Substanzen hergestellt werden muss. CO<sub>2</sub>-Kältemittel lässt sich beispielsweise in Anlagen der Chemieindustrie als Nebenprodukt ge-

winnen. Aufgrund dieser Tatsachen gilt R744 als klimaneutral, was sich in dem GWP (Global Warming Potential) 1 widerspiegelt.

Es gibt aber neben der Klimaneutralität noch weitere Aspekte, die für dieses natürliche Kältemittel sprechen. So ist es in Hinblick auf den Wärmetransport pro Kilogramm Flüssigkeit deutlich leistungsfähiger als etwa R1234yf, sodass sich die Anlage und deren Komponenten kompakter auslegen lassen. Darüber hinaus ist es nicht brennbar und bildet keine gesundheitsgefährdenden Dämpfe, wie das bei den synthetischen Klimagasen der Fall ist.

Allerdings gibt es auch Nachteile, aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften, die deutlich von denen der Kältemittel R134a und R1234yf abweichen. Exemplarisch zeigt sich das an der Siedetemperatur, die für CO<sub>2</sub> bei rund  $-78,48\text{ °C}$  liegt, während R134a und R1234yf schon bei  $-26,1\text{ °C}$  beziehungsweise  $-29,4\text{ °C}$  sieden. Alle Werte gelten für einen Umgebungsdruck von 1,013 mbar.

Aufgrund der beschriebenen Eigenschaften müssen in Fahrzeug-CO<sub>2</sub>-Klimaanlagen deutliche höhere Drücke herrschen damit sich R744 in den entsprechenden Abschnitten verflüssigt und verdampft. Das bedeutet aber nicht, dass der Aufbau der Klimaanlage vom Grundsatz her anders gestaltet ist. Um die notwendigen Aggregatzustandsänderungen des Kältemittelgases zu gewährleisten, ist er mit dem bekannten Konzept eines Klimakreislaufs vergleichbar. Allerdings müssen die Komponenten auf die höheren

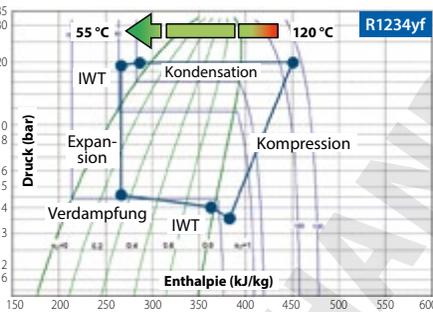


**3.3 Einfach austauschbar:** Anders als bei R134a und R1234yf wird R744 nicht aus den gelieferten Druckflaschen in die Klimaservicestation umgefüllt, sondern der CO<sub>2</sub>-Druckbehälter wird direkt wie bei einer Zapfanlage an die Klimaservicestation angeschlossen.

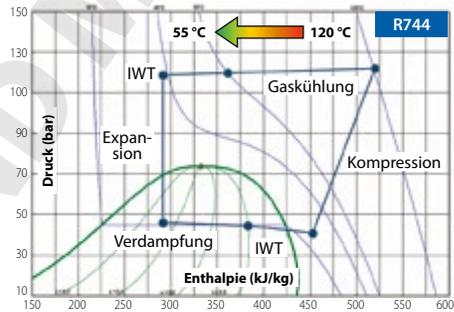


Aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften ist R744 nicht nur effizienter im Vergleich zu R134a und R1234yf, sondern auch besser geeignet für Systeme, in denen die Klimaanlage auch als Wärmepumpe (siehe dazu auch Seite 36ff) fungieren soll. Das kann aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass zum Zeitpunkt dieser Buchaufgabe (2023) außer VW in seinen ID-Modellen kein weiterer Volumenhersteller R744 großflächig in die Serie gebracht hat.

### R1234yf und R744 im Vergleich



Hochdruckniveau: 10–20 bar  
 Niederdruckniveau: 3–5 bar  
 Heißgastemperatur: bis 140 °C  
 Wärmeabfuhr: Kondensation  
 IWT: Innerer Wärmeübertrager



Hochdruckniveau: 60–130 bar  
 Niederdruckniveau: 30–50 bar  
 Heißgastemperatur: bis 165 °C  
 Wärmeabfuhr: Gaskühlung  
 Überkritischer Prozess in Vollast

Quelle: Mahle

Drücke von bis zu 130 bar ausgelegt werden.

Zudem sind bestimmte sicherheitsrelevante Maßnahmen notwendig, wenn es zu Leckagen kommt. Da eine zu hohe Konzentration von CO<sub>2</sub> zu Schwindel bis zur Bewusstlosigkeit führt, sind die Insassen davor zu schützen. Etwa, indem ein CO<sub>2</sub>-Sensor Alarm schlägt und beispielsweise

die Seitenscheiben automatisch heruntergefahren werden, wenn das geruchlose Gas aus der Klimaanlage austritt. Diese Maßnahme ist auch vor dem Hintergrund eines schlagartigen Kältemittelverlusts sinnvoll, da dieser den vorhandenen Luftsauerstoff in der Fahrgastzelle verdrängen und die Insassen in Atemnot bringen könnte.

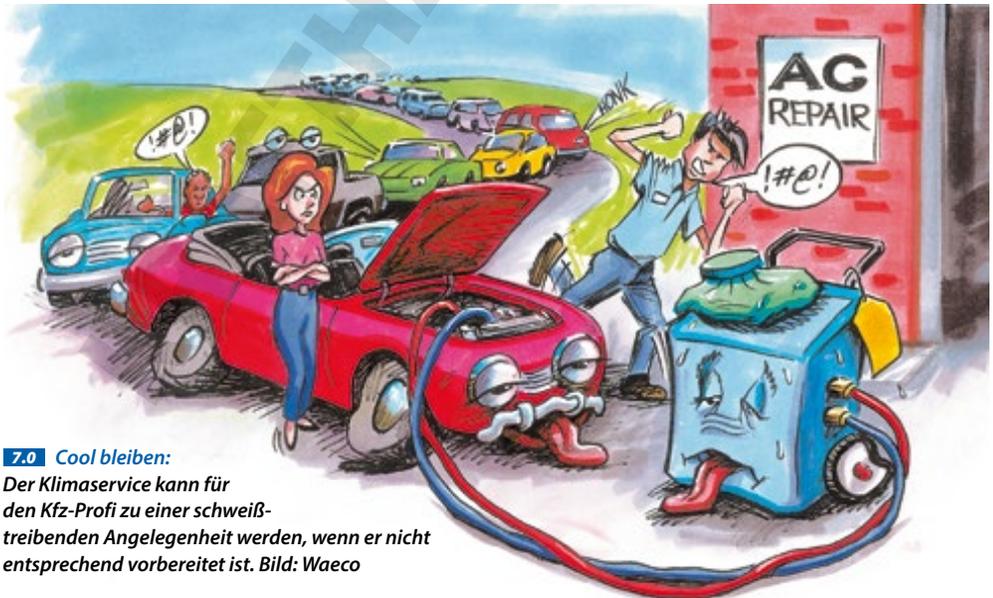
## 7. Der Klimaservice und wichtige Wartungsarbeiten

### 7.1 Grundsätzliches zum Klimaservice an R134a- und R1234yf-Anlagen

Der Klimaservice gehört zu den Routinearbeiten in Kfz-Werkstätten. Nichtsdestotrotz oder gerade deswegen werden dabei oft (unbewusst) Fehler begangen, die über kurz oder lang Folgeschäden an der Anlage nach sich ziehen können. Welche Fehler das sind, was ein gutes Servicegerät ausmacht, worauf es beim Klimaservice zu achten gilt und wie sich Probleme vermeiden lassen, sind die Schwerpunkte dieses Kapitels.



Einen Klimaservice dürfen ausschließlich Fachkräfte durchführen, die über einen Sachkundenachweis nach der Verordnung (EG) Nr. 307/2008 verfügen. Dieser berechtigt sowohl zum Klimaservice an R134a- als auch an R1234yf-Anlagen (Stand: Frühjahr 2011).



#### 7.0 Cool bleiben:

Der Klimaservice kann für den Kfz-Profi zu einer schweiß-treibenden Angelegenheit werden, wenn er nicht entsprechend vorbereitet ist. Bild: Waeco

7 Der Klimatechnikservice und wichtige Wartungsarbeiten

**Hinweis zu E- und Hybridautos**

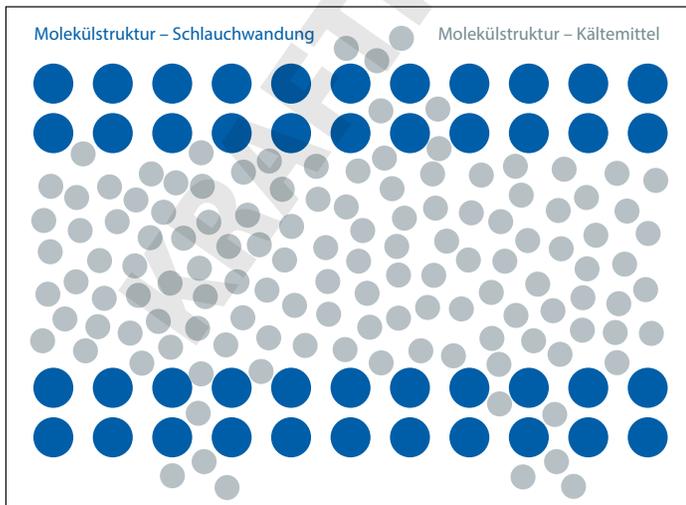
Auch wenn sich der Klimatechnikservice bei E- und Hybridfahrzeugen mit klassischen Kältemitteln nicht von dem konventioneller Automobile unterscheidet und dafür kein spezieller Sachkundenachweis für E-Autos notwendig ist, gilt: Muss der Kfz-Profi den elektrischen Klimakompressor, über den E- und Hybridfahrzeuge verfügen, demontieren und dafür die Hochvoltleitungen abklemmen, benötigt er dafür eine Qualifikation zur Elektrofachkraft (siehe dazu Abschnitt 5.1.3), da er zuvor das HV-System spannungsfrei schalten muss.

Zu E-Autos, die CO<sub>2</sub> als Kältemittel haben, finden sich ab Seite 110 detaillierte Informationen.

**7.2 Notwendigkeit des Klimatechnikservice**

Die Klimaanlage ist zwar ein geschlossenes System, dennoch entweicht technisch bedingt über die Kältemittelschlauchleitungen und O-Dichtringe im Laufe der Zeit Kältemittel in die Atmosphäre. Der Fachmann nennt diesen Vorgang Diffusion. Ein Begriff, der im Prinzip das Vermischen/Durchdringen von Molekülen unterschiedlicher Stoffe beschreibt. Übertragen auf die Klimaanlage bedeutet das: Weil die Moleküle des Kältemittels kleiner sind als die der Schlauchleitungen und Gummidichtungen, diffundiert beziehungsweise entweicht das Kältemittel an diesen Stellen. Als Faustregel gilt, dass im Jahr bis zu 10 Prozent des Kältemittels aus einer intakten Anlage entweichen können. Allerdings hat der Gesetzgeber seit 2007 für Pkw mit

einem Verdampfer eine von den Fahrzeugherstellern für die Typgenehmigung einzuhaltende Obergrenze von 40 g festgesetzt. Bei Fahrzeugen mit zwei



**7.1 Vereinfacht dargestellt:** Kältemittel entweicht/diffundiert aufgrund der unterschiedlichen Molekülstruktur über Schläuche und Dichtungen aus der Klimaanlage. *Grafik: Krafthand*



**Argumente für den Klimatechnische Diffundieren/Entweichen von Kältemitteln aus der Anlage. Vielmehr gilt: Um Komponenten wie den Kompressor vor Schäden zu schützen, muss dem Kältemittelkreislauf regelmäßig Feuchtigkeit entzogen werden.**

Verdampfern dürfen maximal 60 g pro Jahr entweichen.

Weil zu wenig Kältemittel nicht nur die Leistungsfähigkeit der Klimaanlage beeinträchtigt, sondern auch Langzeitschäden am Kompressor durch erhöhte Temperaturen hervorrufen kann, ist alle zwei Jahre ein Klimatechnische vorzunehmen. In der Anlage befindliche Feuchtigkeit, die kostspielige Schäden an den einzelnen Komponenten des Kältemittelkreislaufes verursacht, ist ein weiteres wichtiges Argument für den regelmäßigen Klimatechnische. Nur mit dem intervallmäßigen Austausch des Trockners, der sich alle zwei Jahre empfiehlt, ist die Anlage davor geschützt.

### 7.3 Anforderungen an Servicestationen – worauf ist zu achten?

Ein qualitativ hochwertiger Service steht und fällt mit einer geeigneten Servicestation, die den Vorgaben der SAE J 2788 entsprechen muss. Allerdings sollte die Werk-

statt nicht nur diese Richtlinie und den Preis der Station, sondern auch Angaben zur Füllgenauigkeit sowie zur Kältemittel-Rückgewinnungsrate im Auge haben.

#### Füllgenauigkeit

Im Vergleich zu Fahrzeugen, die in den 1990er-Jahren oder auch noch Anfang des Jahrtausends auf den Markt kamen, haben sich die Kältemittelfüllmengen von heutigen Automobilen stark reduziert. Aus diesem Grund hat die Füllgenauigkeit einer Klimatechnicestation wesentlich an Bedeutung gewonnen. Dazu folgendes Beispiel: Wird in eine Anlage mit 850 g Sollfüllung aufgrund einer sehr ungenauen Servicestation 80 g zu wenig eingefüllt, hat dies auf die Leistung der Anlage kaum Auswirkungen. Geschieht dies bei einer Anlage mit 450 g Sollfüllung, wie sie in modernen Fahrzeugen inzwischen durchaus üblich sind, fehlen immerhin knapp 18 Prozent Kältemittel. Eine nicht akzeptable Größenordnung. Zum einen, weil die Fahrzeughersteller meist Füllgenauigkeiten von etwa  $\pm 15$  g und weniger vorschreiben. Zum anderen und vor allem, weil sich schon diese Minderbefüllung bei Anlagen mit solchen Sollfüllmengen negativ auf deren Wirkungsgrad auswirkt. Eine weitere mögliche Folge: Wie mehrmals in diesem Buch erwähnt, kann es auch passieren, dass sich der Kompressor aufgrund einer zu geringen Kältemittelmenge mehr als normal erwärmt. Außerdem erhöht sich dessen Förderleistung, um das fehlende Kältemittel zu kompensieren. Umstände, die den Verschleiß am Verdichter fördern.

## Praxiswissen Pkw-Klimaanlagen

### Technik, Service, Diagnose

3. erweiterte Auflage

Das Fachbuch ‚Praxiswissen Pkw-Klimaanlagen‘ beschäftigt sich mit der aktuellen Technik, der Diagnose und Wartung moderner Klimasysteme. Der Autor Torsten Schmidt beschreibt das Gesamtsystem sowie die Einzelkomponenten einer modernen Klimaanlage und liefert die physikalischen Grundlagen. Weitere Schwerpunkte liegen auf der Einbettung der Klimaanlage in moderne Thermomanagement-Systeme sowie auf Wärmepumpen von Elektrofahrzeugen.

Den praktischen Teil bilden werkstatt-relevante Aspekte wie Prüf- und Diagnosemöglichkeiten. Im Detail geht Schmidt auf die elektronische Regelung, die Sensoren und Aktoren des Klimakreislaufs sowie auf Systemdrücke und Temperaturen ein. Er erörtert Probleme, die beim Klimageservice (inklusive R744-Anlagen) in der Kfz-Werkstatt auftreten und liefert Beispiele zur Fehlersuche.

Die 3. erweiterte Auflage wurde durch zahlreiche Neuerungen ergänzt und überarbeitet.



Torsten Schmidt

ISBN 978-3-87441-190-5



9 783874 411905 >

ISBN 978-3-87441-190-5