

TEKOINFO



Handbuch zur Kältemittelumstellung.

Umstellung von R 404A und R 134a auf alternative Kältemittel. Detaillierte Vergleiche zu Kälteleistungen, Verdampfung und Verflüssigung sowie hilfreiche Tipps in der Anwendung.



04 F-Gase-Verordnung. Aktueller Stand.

05 Kältemittel. Allgemeine Daten.

06 / 07 Alternativen zu R 134a.

08 / 09 Auswirkungen der Alternativen zu R 134a.

10 / 11 Alternativen zu R 404A.

12 / 13 Auswirkungen der Alternativen zu R 404A.

14 / 15 Temperaturgleit.

16 – 19 Ermittlung der Taupunkttemperaturen.

Die seit dem 01.01.2015 geltende Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase (F-Gase-Verordnung) soll die Emission von F-Gasen reduzieren. Kältemittel mit einem hohen GWP (>2500) werden ab 2030 bei einer Verwendung in Anlagen mit einer Füllmenge größer als 40 t CO₂-Äquivalent (GWP x Füllmenge) komplett verboten. Das Inverkehrbringen von Kältemitteln, die diesen Grenzwert nicht überschreiten, wird in einem Phase-Down-Szenario stufenweise reduziert. Aus diesen Gründen haben Kältemittelhersteller eine Reihe von Kältemitteln auf den Markt gebracht. Die in diesem Handbuch betrachteten Kältemittel sind R 407F, R 448A, R 449A, R 450A sowie R 513A. Hierbei handelt es sich um Gemische, die als Alternativen von R 404A oder R 134a zum Einsatz kommen.

Einige Hersteller kältetechnischer Komponenten haben die Verwendung der neuen Kältemittel freigegeben. Somit können die Alternativ-Kältemittel in Bestandsanlagen, die diese Bauteile verwenden, eingesetzt werden. Dieses Handbuch zeigt allgemeine Informationen über die neuen Kältemittel sowie die Veränderungen an den gängigen Komponenten des Kältekreislaufs auf. Hierbei wird der Einsatz in Bestandsanlagen betrachtet, als auch einige Besonderheiten bei der Projektierung von Neuanlagen aufgezeigt.

Generell verhalten sich die betrachteten Kältemittel hinsichtlich der Materialverträglichkeit ähnlich wie R 134a und R 404A, jedoch ist bei jedem eingesetzten Bauteil die Freigabe des jeweiligen Herstellers zu beachten. Es handelt sich bei den Gemischen um keine „Drop-in“-Kältemittel, somit ist bei einer Umstellung immer das zu ersetzende Kältemittel restlos aus der Anlage zu entfernen. Um ausgasende Reste der Kältemittel zu entfernen wird empfohlen, die Anlage gewissenhaft zu entleeren und einen Ölwechsel durchzuführen.

Phase-Down-Szenario.

Die in der EU in Umlauf gebrachte Menge in Tonnen CO₂-Äquivalent von F-Gasen (gemäß F-Gase-VO) soll stufenweise bis 2030 auf 21 % des Basiswertes begrenzt werden. Als Basis gilt der Durchschnitt des CO₂-Äquivalents, das in den Jahren 2009 bis 2012 in Verkehr gebracht wurde.

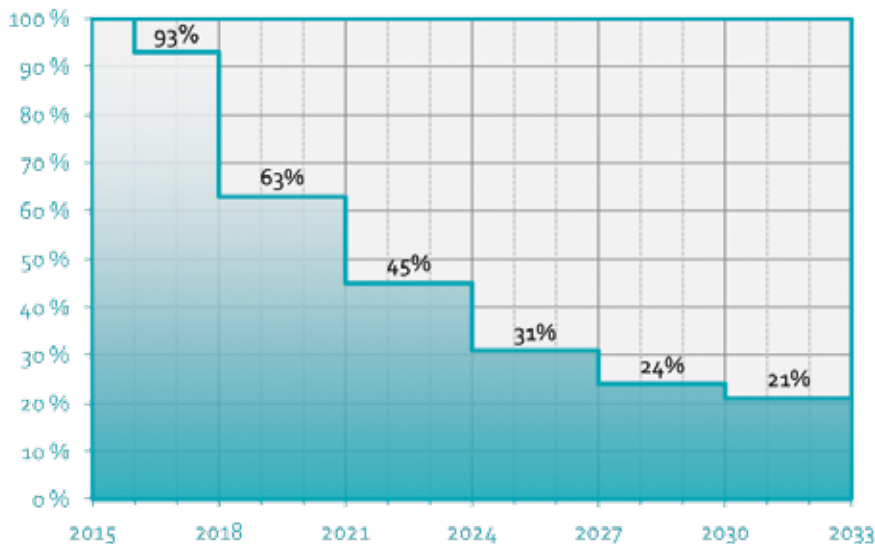


Abbildung 1: Phase-Down-Szenario

Die betrachteten Kältemittelgemische, mit Ausnahme von R 407F, beinhalten sogenannte „Low-GWP“-Kältemittel, wie z. B. R 1234yf, die zur Gruppe der Hydro-Fluor-Olefine (HFO) gehören. Diese Kältemittel besitzen ein sehr geringes Treibhauspotenzial, sind aber brennbar. Um die Klassifizierung A1 (Sicherheitskältemittel) zu erhalten, werden unbrennbare Kältemittel beigemischt. Dies erhöht wiederum den GWP. Die Inhaltsstoffe der betrachteten Gemische sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Kältemittelgruppe	HFKW			HFO	
	Nein			Ja	
Inhaltsstoff	R 134a	R 125	R 32	R 1234yf	R 1234ze
R 450A	42 %				58 %
R 513A	44 %			56 %	
R 407F	40 %	30 %	30 %		
R 448A	21 %	26 %	26 %	20 %	7 %
R 449A	26 %	25 %	24 %	25 %	

Tabelle 1: Inhaltsstoffe (Werte gerundet)

Aus der Mischung von HFKW- und HFO-Kältemitteln lässt sich ein kleinerer GWP erzeugen. Die Kältemittelgemische als Ersatz für R 134a besitzen etwa die Hälfte, R 404A-Alternativen ein Drittel des Basis-Kältemittel-GWP. Genaue GWP-Werte der betrachteten Kältemittel sind in **Tabelle 2** aufgeführt. Diese sind gemäß vierstem Sachstandsbericht des IPCC bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren, was auch die Basis der F-Gase-Verordnung darstellt.

Kältemittel	GWP
R 134a (Basis)	1.430
R 450A	605
R 513A	631
R 404A (Basis)	3.922
R 407F	1.825
R 448A	1.387
R 449A	1.397

Tabelle 2: GWP-Werte

Jedes der betrachteten Gemische hat unterschiedliche thermodynamische Eigenschaften. Diese sind bei der Verwendung als Ersatzstoff zu berücksichtigen, um einen Einsatz in Bestandsanlagen zu ermöglichen. So sollte die resultierende volumetrische Kälteleistung nicht stark abweichen, um Änderungen an den Hauptkomponenten der Kälteanlage zu vermeiden. Kältemittel der HFO-Gruppe besitzen, neben ihrem niedrigen GWP, auch eine geringere volumetrische Kälteleistung im Gegensatz zu HFKW. Somit ist die Beimischung von HFO in Gemischen durch die Brennbarkeit und die volumetrische Kälteleistung limitiert. In **Tabelle 3** ist die volumetrische Kälteleistung der betrachteten Kältemittel bei unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen (bezogen auf den Taupunkt) dargestellt. Es ist zu erkennen,

dass R 404A die größte volumetrische Kälteleistung besitzt. Dem zufolge wird das Leistungsvermögen der Kälteanlage bei gleichem Verdichter mit dem Einsatz der Alternativ-Kältemittel geringer sein. Eine nähere Betrachtung folgt in dem entsprechenden Kapitel der R 404A-Alternativen.

Kältemittel	Volumetrische Kälteleistung in kJ/m ³ bei Verdampfungstemperatur			
	0 °C	-10 °C	-20 °C	-30 °C
R 134a (Basis)	2,87	2,07	1,44	0,97
R 450A	2,49	1,79	1,25	0,84
R 513A	3,03	2,22	1,58	1,08
R 404A (Basis)	5,05	3,82	2,81	2,00
R 407F	4,60	3,38	2,41	1,66
R 448A	4,48	3,31	2,38	1,65
R 449A	4,48	3,32	2,38	1,65

Tabelle 3: Volumetrische Kälteleistung

ALTERNATIVEN ZU R 134A

Die in diesem Handbuch betrachteten Alternativen zu R 134a sind R 450A sowie R 513A. Ziel eines Alternativ-Kältemittels ist, ein ähnliches Verhalten der thermodynamischen Eigenschaften abzubilden. Hierunter zählt in erster Linie die Dampfdruckkurve. Diese beschreibt den Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur. Mittels der Dampfdruckkurve lässt sich auch feststellen, ob das Kältemittel einen Temperaturgleit besitzt. Die Dampfdruckkurven der in diesem Abschnitt betrachteten Kältemittel sind in **Abbildung 2** dargestellt.

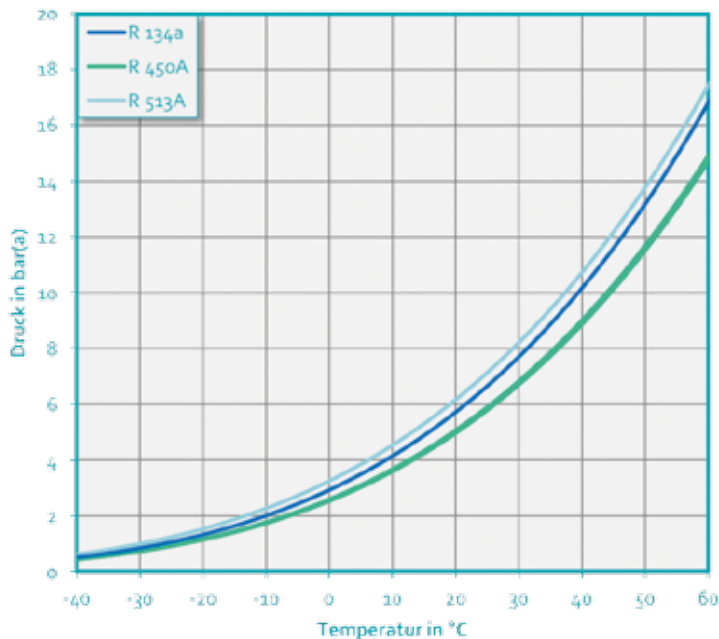


Abbildung 2: Dampfdruckkurven R 134a, R 450A, R 513A

Es ist zu erkennen, dass die Dampfdruckkurve von R 513A oberhalb und R 450A unterhalb von R 134a liegt. Aus der Differenz lässt sich sagen, dass bei einem Kältemittelwechsel, eine Einstellung der Überhitzung am Expansionsventil notwendig ist. Bei einem elektronischen Expansionsventil ist, zur Beibehaltung der Betriebssicherheit sowie der Effizienz der Anlage, eine Aktualisierung der Regelsoftware erforderlich.

Des Weiteren ist eine schwach ausgeprägte Verschiebung des Siede- und Taupunktes von R 450A anhand der Dampfdruckkurve zu erkennen (Temperaturgleit). Das bedeutet, dass sich die Temperatur während der Verdampfung und Verflüssigung verändert. Ein Auszug der Kältemitteldaten ist in **Tabelle 4** gegeben.

Kältemittel	Siedetemperatur bei 1 bar(a) in °C	Kritische Temperatur in °C	Kritischer Druck in bar(a)	Temperaturgleit in K bei		
				45 °C Taupunkt	-10 °C Taupunkt	1 bar(a)
R 134a	-26,4	101,0	40,6	0,0	0,0	0,0
R 450A	-23,7	104,5	38,2	0,6	0,6	0,6
R 513A	-29,9	94,9	36,5	0,0	0,0	0,0

Tabelle 4: Kältemitteldaten

Aus **Abbildung 2** und **Tabelle 4** ist zu erkennen, dass die Temperaturen und Drücke der Kältemittel nicht stark voneinander abweichen. Somit können die Alternativ-Kältemittel im R 134a-Einsatzbereich eingesetzt werden. In **Tabelle 4** ist zudem der Temperaturgleit dargestellt. Der Temperaturgleit von R 450A liegt in den betrachteten Punkten unterhalb von einem Kelvin, was als „nahe azeotropes“ Verhalten bezeichnet wird.

Eine weitere thermodynamische Eigenschaft, die Auswirkungen auf den Kältekreislauf hat, ist die Dampfdichte des Kältemittels. Diese ist abhängig von Druck und Temperatur im System und eine ausschlaggebende Größe für den Massenstrom der Anlage. In **Abbildung 3** ist die Dampfdichte am Taupunkt der betrachteten Kältemittel dargestellt.

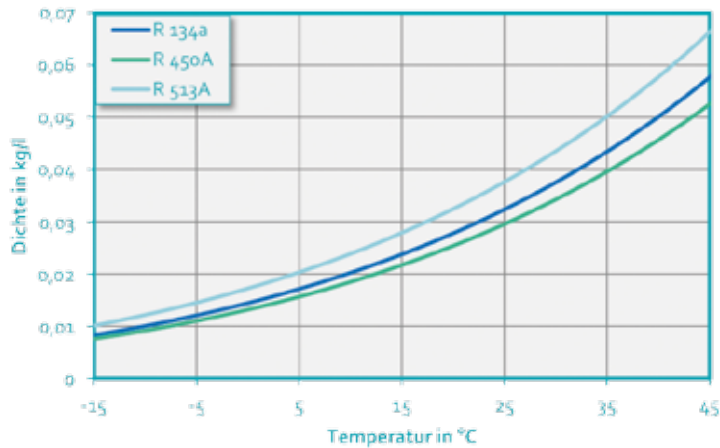


Abbildung 3: Dampfdichte

Die Dampfdichte des Kältemittels bestimmt den Massenstrom an der Saugseite des Verdichters, der in der Anlage zirkuliert. Ist die Dichte des Alternativ-Kältemittels größer als die von R 134a, steigt der Massenstrom der Anlage bei gleichem Verdichter an.

Da die Kälteleistung der Anlage von Massenstrom und Enthalpiedifferenz bestimmt wird, sind in **Abbildung 4** die p,h-Diagramme der Kältemittel dargestellt.

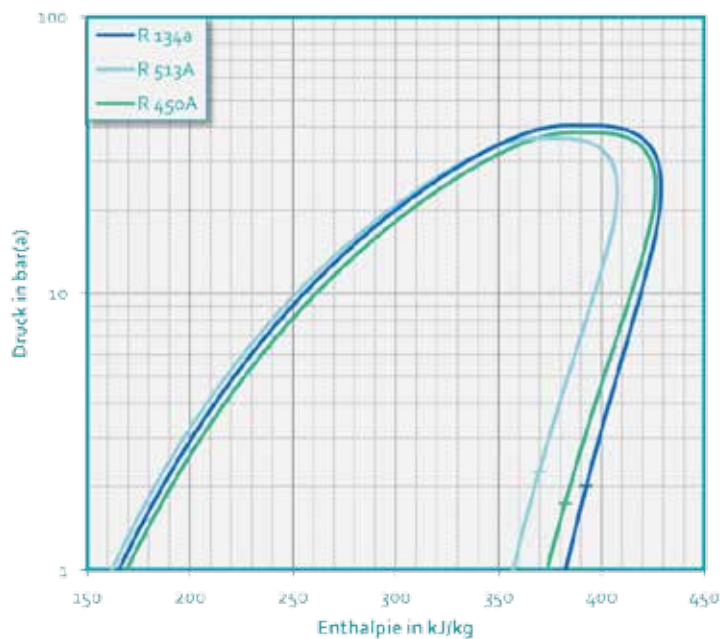


Abbildung 4: p,h-Diagramm

Die markierten Punkte im Diagramm entsprechen einer Taupunkttemperatur von -10 °C. Somit zeigt sich, dass beide Alternativ-Kältemittel eine geringere Enthalpiedifferenz aufweisen. Da R 450A zudem eine geringere Dichte besitzt, wird sich die Leistung bei dem Einsatz in Bestandsanlagen verringern. Bei R 513A hängt es von den jeweiligen Betriebsbedingungen ab.

AUSWIRKUNGEN ALTERNATIVEN ZU R 134A

Um die Auswirkungen auf die Kälteleistung, Verdichtungsendtemperatur, Geschwindigkeiten und Widerstände in den Rohrleitungen zu ermitteln, wurden mehrere Beispielrechnungen angefertigt. Hierzu sind Kreisläufe mit unterschiedlichen Hubkolbenverdichtern der Hersteller Frascold und Bitzer gerechnet und die Ergebnisse als Durchschnittswerte zusammengefasst. Bei den Ergebnissen handelt es sich nicht um allgemeingültige Korrekturfaktoren. Diese sollen nur einen Ausblick geben, welche Veränderungen in der Anlage zu erwarten sind. Die gesamten Daten beziehen sich auf die Normbedingungen der DIN EN 12900 (0 K Flüssigkeitsunterkühlung, 20 °C Sauggasttemperatur) bei einem Betriebszustand von 10 °C Verdampfungstemperatur und 45 °C Verflüssigungstemperatur.

Kältemittel	Verdichtungsendtemperatur
R 134a	102 °C
R 513A	(-11 K) 91 °C
R 450A	(-6 K) 96 °C

Tabelle 5: Änderung Verdichtungsendtemperatur

In **Tabelle 5** sind die Ergebnisse aus der Auswertung der Verdichtungsendtemperatur aufgezeigt. Diese ist Anzeichen für den Bedarf einer Zusatzkühlung des Verdichters, oder einer zu großen Überhitzung. Es zeigt sich, dass die Verdichtungsendtemperatur bei beiden Alternativ-Kältemitteln in den meisten Fällen reduziert wird.

Die Änderung der Leistungsdaten sowie des Massenstroms ist in **Tabelle 6** aufgeführt. Hierbei ist die prozentuale Abweichung zu den Werten von R 134a zu sehen. Es bestätigt sich der Verlauf, der anhand der vorherigen Betrachtung der thermodynamischen Stoffdaten von R 450A gezeigt hat. R 513A besitzt im Durchschnitt eine gestiegene Kälte- und Verflüssigungsleistung, jedoch nimmt hierbei auch der Massenstrom stark zu. Da die benötigte Größe des Expansionsventils von treibender Druckdifferenz und Massenstrom bestimmt wird, ist besonders bei einem starken Anstieg des Massenstroms die neue Leistung des Expansionsventils zu überprüfen. Die Effizienz des Systems verändert sich durch den Einsatz der Kältemittel in den meisten Fällen kaum.

Kältemittel	Kälteleistung	Leistungsaufnahme	Verflüssigerleistung	COP	Massenstrom
R 513A	+5,2 %	+5,8 %	+5,4 %	-0,6 %	+22,2 %
R 450A	-13,4 %	-13,5 %	-13,4 %	+0,2 %	-8,5 %

Tabelle 6: Änderung der Verdichter-Leistungsdaten

Die Kälteleistung des Verdichters hat bei dem Einsatz in Bestandsanlagen Einfluss auf die resultierende Verdampfungstemperatur. So wird sich die Verdampfungstemperatur bei steigender Verdichterkälteleistung verringern. Diese Änderung sollte jedoch, nach den Daten aus **Tabelle 6** und konventioneller Auslegung des Verdampfers, einen Wert von 2 K nicht überschreiten. Bei einer geringeren Kälteleistung des Verdichters hingegen wird sich eine höhere Verdampfungstemperatur im System einstellen. Die elektrische Leistungsaufnahme des Verdichters bestimmt die elektrische Absicherung. So sind bei der Änderung des Kältemittels die Einstellung und Auslegung der elektrischen Betriebsmittel auf die neue Stromaufnahme zu überprüfen.

Aus dem veränderten Massenstrom werden die Geschwindigkeit und der Druckverlust der Rohrleitung verändert. Hierbei ist zu prüfen, ob die Ölrückführung gewährleistet und der maximal zulässige Druckverlust unterschritten ist. In **Tabelle 7** ist eine Übersicht über die Änderung zu sehen. Zur Berechnung der Geschwindigkeit und des Druckverlustes der Flüssigkeitsleitung wurden eine natürliche Unterkühlung von 3 K und eine horizontale Verlegung zugrunde gelegt.

Kältemittel	Geschwindigkeit			Druckverlust		
	Saugleitung	Druckleitung	Flüssigkeitsleitung	Saugleitung	Druckleitung	Flüssigkeitsleitung
R 513A	+1,2 %	+3,4 %	+30,5 %	+23,6 %	+26,3 %	+59,5 %
R 450A	-0,2 %	-3,2 %	-6,5 %	-8,7 %	-11,4 %	-14,5 %

Tabelle 7: Änderungen Geschwindigkeit und Druckverlust

Es ist zu erkennen, dass sich die Geschwindigkeiten im Durchschnitt nur leicht verändern. Jedoch haben die größere Geschwindigkeit sowie eine erhöhte Dichte bei R 513A eine Vergrößerung des Druckverlustes zur Folge. Die Berechnung ergibt einen Anstieg des Druckverlustes in der Flüssigkeitsleitung von rund 60 %. Aus diesem Ergebnis zeigt sich, dass besonders bei dem Einsatz von R 513A die Auslegung der Rohrleitungen auf das neue Kältemittel zu prüfen ist. In der Flüssigkeitsleitung wird der Druckverlust/Druckgewinn auch über Höhenunterschiede bestimmt. Da hierbei keine pauschale Aussage getroffen werden kann, ist bei großen Höhendifferenzen die Auslegung der Flüssigkeitsleitung besonders zu überprüfen. Die Flüssigkeitsdichte liegt für R 450A bei etwa 2,1 % und für R 513A bei etwa 6,5 % unterhalb der Werte für R 134a (bei einer Temperatur von 40 bis 50 °C).

Wird das Kältemittel in Bestandsanlagen gewechselt, sind eventuelle Änderungen der Einsatzgrenzen zu beachten. In **Abbildung 5** sind die Einsatzgrenzdiagramme des Frascold-Verdichters Q7-36.1Y zu sehen. Es ist zu erkennen, dass R 450A und R 513A in diesem Fall die gleichen Einsatzgrenzen besitzen und keine große Änderung einstellt.

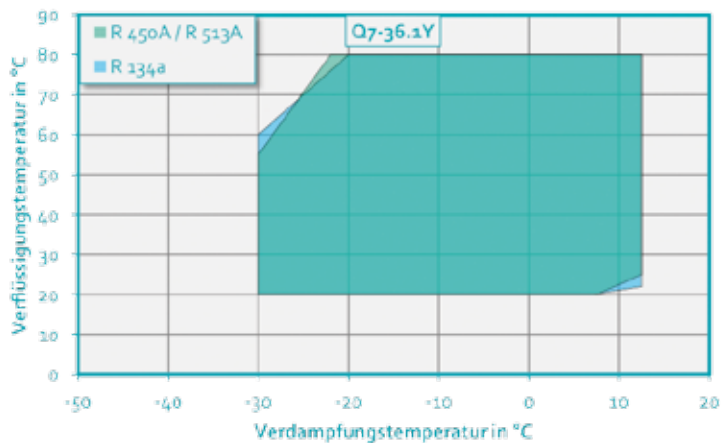


Abbildung 5: Einsatzgrenzdiagramme Frascold Q7-36.1Y

ALTERNATIVEN ZU R 404A

Die in diesem Handbuch betrachteten Alternativen zu R 404A sind R 407F, R 448A und R 449A. Ziel eines Alternativ-Kältemittels ist, die thermodynamischen Eigenschaften des Basis-Kältemittels abzubilden. Hierunter zählt in erster Linie die Dampfdruckkurve. Diese beschreibt den Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur. Mittels der Dampfdruckkurve lässt sich auch feststellen, ob das Kältemittel einen Temperaturgleit besitzt. Eine Darstellung der Dampfdruckkurven der in diesem Abschnitt betrachteten Kältemittel sind in **Abbildung 6** gegeben.

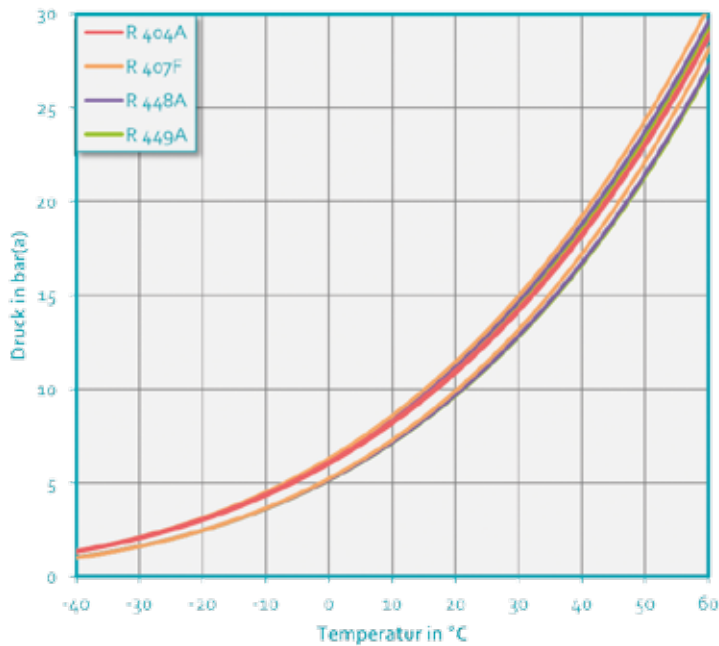


Abbildung 6: Dampfdruckkurven R 404A, R 407F, R 448A, R 449A

Es ist zu erkennen, dass die betrachteten Alternativ-Kältemittel einen ähnlichen Verlauf der Siedekurve zu R 404A haben. Jedoch ist eine deutliche Verschiebung des Siede- und Taupunktes zu erkennen. Das bedeutet, dass sich die Temperatur während der Verdampfung und Verflüssigung verändert. Ein Auszug der entsprechenden Daten ist in **Tabelle 8** gegeben. Hierbei ist unter anderem der Temperaturgleit der Kältemittel als Differenz des Siede- zum Taupunkt aufgezeigt. Da die Überhitzung am Expansionsventil anhand der Taupunkttemperatur bilanziert wird, liegen die Dampfdruckkurven der Alternativ-Kältemittel unterhalb der von R 404A, was eine Korrektur der Überhitzungseinstellung am Expansionsventil erfordert. Bei einem elektronischen Expansionsventil ist die Regelsoftware auf das neue Kältemittel zu aktualisieren, um die zulässige Überhitzung nicht zu unterschreiten und die Effizienz der Anlage nicht zu verringern.

Kältemittel	Siedetemperatur bei 1 bar(a) in °C	Kritische Temperatur in °C	Kritischer Druck in bar(a)	Temperaturgleit in K bei		
				45 °C Taupunkt	-10 °C Taupunkt	1 bar(a)
R 404A	-46,5	72,1	37,4	0,3	0,6	0,8
R 407F	-46,3	82,6	47,5	4,3	5,9	6,4
R 448A	-46,4	82,7	46,0	5,0	6,1	6,3
R 449A	-46,0	82,1	45,0	4,5	5,7	6,1

Tabelle 8: Kältemitteldaten

Eine weitere thermodynamische Eigenschaft, die Auswirkungen auf den Kältekreislauf hat, ist die Dampfdichte des Kältemittels. Diese ist abhängig von Druck und Temperatur im System und eine ausschlaggebende Größe für den Massenstrom der Anlage. In **Abbildung 7** ist die Dampfdruckkurve am Taupunkt der betrachteten Kältemittel aufgezeigt.

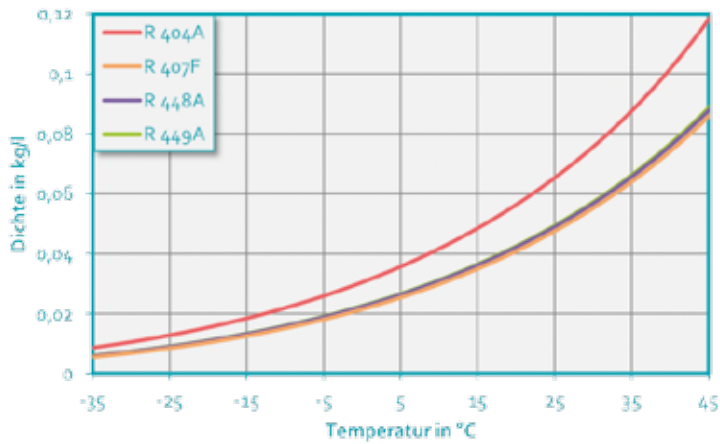


Abbildung 7: Dampfdichte R 404A, R 407F, R 448A, R 449A

Es zeigt sich, dass die Dampfdichte der Alternativ-Kältemittel, bezogen auf R 404A, geringer ist. Hieraus lässt sich ableiten, dass der Massenstrom der Anlage, bei dem Einsatz der neuen Kältemittel, verringert wird.

Der Massenstrom ist mit der Enthalpiedifferenz bestimmend für die resultierende Kälteleistung des Verdichters. In **Abbildung 8** sind die p,h-Diagramme der Kältemittel dargestellt.

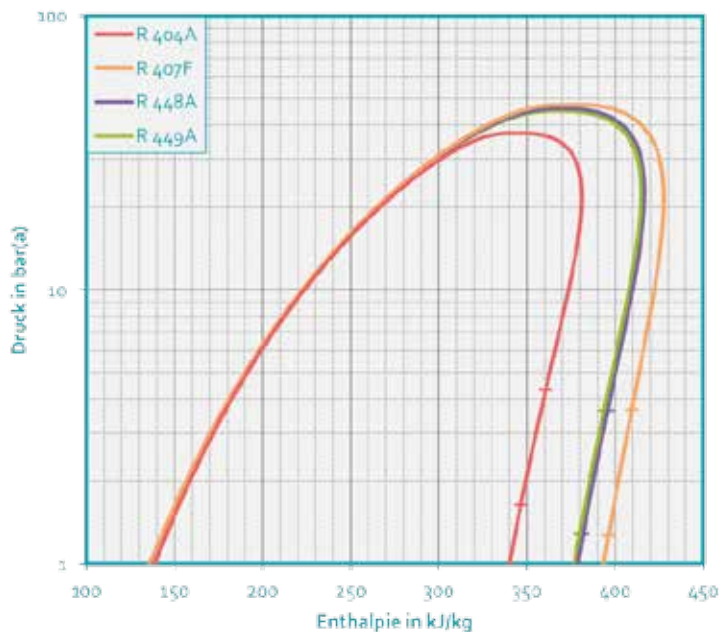


Abbildung 8: p,h-Diagramm

Die markierten Punkte im Diagramm entsprechen einer Taupunkttemperatur von -10 °C und -35 °C. Es zeigt sich, dass die Enthalpiedifferenz der Alternativ-Kältemittel im Gegensatz zu R 404A ansteigt. Ob die Kälteleistung des Verdichters aufgrund beider Einflussfaktoren vergrößert oder verkleinert wird, hängt von dem jeweiligen Betriebspunkt der Anlage ab.

AUSWIRKUNGEN ALTERNATIVEN ZU R 404A

Um die Auswirkungen auf die Kälteleistung, Verdichtungsendtemperatur, Geschwindigkeiten und Widerstände in den Rohrleitungen zu ermitteln, wurden mehrere Beispielrechnungen angefertigt. Hierzu sind Kreisläufe auf Basis unterschiedlicher Hubkolbenverdichter der Hersteller Frascold und Bitzer gerechnet und die Ergebnisse als Durchschnittswerte zusammengefasst. Bei den Ergebnissen handelt es sich nicht um allgemeingültige Korrekturfaktoren. Diese sollen nur einen Ausblick geben, welche Veränderungen in der Anlage zu erwarten sind. Die gesamten Daten beziehen sich auf die Normbedingungen der DIN EN 12900 (0 K Flüssigkeitsunterkühlung, 20 °C Sauggasttemperatur) bei einer Verflüssigungstemperatur von 45 °C und den Verdampfungstemperaturen 10 °C und 35 °C.

Kältemittel	Verdichtungsendtemperatur bei Verdampfungstemperatur	
	-10 °C	-35 °C
R 404A	96 °C	142 °C
R 407F	(+17 K) 113 °C	(+46 K) 188 °C
R 448A	(+12 K) 108 °C	(+29 K) 171 °C
R 449A	(+11 K) 107 °C	(+27 K) 169 °C

Tabelle 9: Änderung Verdichtungsendtemperatur

In **Tabelle 9** sind die Durchschnittswerte aus der Verdichterrechnung im Hinblick auf die Verdichtungsendtemperatur aufgezeigt. Es ist zu erkennen, dass die Verdichtungsendtemperatur bei allen Alternativ-Kältemitteln ansteigt. Deshalb ist es nötig, die freigegebenen Einsatzgrenzen des Verdichterherstellers sowie die Notwendigkeit einer Zusatzkühlung zu überprüfen. Eine Möglichkeit, die Verdichtungsendtemperatur herabzusetzen, ist die Gesamtüberhitzung der Kälteanlage zu reduzieren.

Die Änderung der Leistungsdaten sowie des Massenstroms ist in **Tabelle 10** aufgeführt. Basis ist das Kältemittel R 404A. Es ist zu erkennen, dass die Kälteleistung bei einer hohen Verdampfungstemperatur keinen großen Veränderungen unterworfen ist. Bei tiefen Verdampfungstemperaturen wird bei dem Einsatz von R 407F die Leistung insgesamt verringert. Die Effizienz ändert sich bei tiefen Verdampfungstemperaturen kaum. Bei hohen Verdampfungstemperaturen zeigt sich ein Effizienzzuwachs. Der Massenstrom hingegen verringert sich in allen Fällen. Dies liegt an der geringeren Dampfdichte im Vergleich zu R 404A. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Größe des Expansionsventils auch vom Massenstrom bestimmt wird. Somit ist bei einem Absinken des Massenstroms, besonders unter Winter- und Teillastbedingungen, die Leistung des Expansionsventils zu überprüfen.

Kältemittel	Kälteleistung	Leistungsaufnahme	Verflüssigerleistung	COP	Massenstrom
	bei Verdampfungstemperatur -10 °C				
R 407F	+1,0 %	-11,6 %	-3,1 %	+15,2 %	-29,9 %
R 448A	-1,8 %	-13,0 %	-5,6 %	+12,9 %	-26,6 %
R 449A	-2,2 %	-13,0 %	-5,9 %	+12,4 %	-25,8 %
bei Verdampfungstemperatur -35 °C					
R 407F	-14,1 %	-14,5 %	-14,5 %	+0,1 %	-39,6 %
R 448A	-8,4 %	-14,2 %	-11,0 %	+5,4 %	-30,8 %
R 449A	-8,7 %	-14,2 %	-11,1 %	+5,2 %	-30,0 %

Tabelle 10: Änderung der Verdichter-Leistungsdaten (Basis: R 404A)

Die Leistungsaufnahme des Verdichters sinkt beim Einsatz der Alternativ-Kältemittel im Durchschnitt ab, was auch eine Begründung für die gestiegenen COP-Werte darstellt. Durch die Verringerung der Verdichterkälteleistung bei dem Einsatz in Bestandsanlagen, wird sich die Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur verändern. Da sich die Kälteleistung in den meisten Fällen reduziert, wird die Verdampfungstemperatur ansteigen und die Verflüssigungstemperatur im Vergleich zu R 404A verringern.

Die Geschwindigkeiten und Druckverluste innerhalb der Rohrleitung werden maßgeblich vom Massenstrom der Anlage bestimmt. In **Tabelle 11** sind die entsprechenden Berechnungsergebnisse aufgezeigt. Als Verflüssigungstemperatur wurde eine Taupunkttemperatur von 45 °C zugrunde gelegt.

Kältemittel	Geschwindigkeit			Druckverlust		
	Saugleitung	Druckleitung	Flüssigkeitsleitung	Saugleitung	Druckleitung	Flüssigkeitsleitung
bei Verdampfungstemperatur -10 °C						
R 407F	+0,6 %	-3,2 %	-35,3 %	-29,4 %	-32,6 %	-54,6 %
R 448A	+0,7 %	-2,8 %	-31,0 %	-26,0 %	-28,5 %	-49,3 %
R 449A	+0,8 %	-2,7 %	-30,2 %	-25,2 %	-27,7 %	-48,2 %
bei Verdampfungstemperatur -35 °C						
R 407F	-6,7 %	-12,0 %	-44,3 %	-43,6 %	-46,6 %	-66,3 %
R 448A	+0,6 %	-6,5 %	-35,0 %	-30,2 %	-34,8 %	-54,9 %
R 449A	+0,5 %	-6,4 %	-34,2 %	-29,4 %	-34,0 %	-53,8 %

Tabelle 11: Änderung Geschwindigkeit und Druckverlust (Basis: R 404A)

Die Berechnungen in **Tabelle 11** zeigen die Änderungen von Geschwindigkeit und Druckverlust in Rohrleitungen im Vergleich zu R 404A auf. Zur Bilanzierung der Flüssigkeitsleitung wurden eine natürliche Unterkühlung von 3 K und eine horizontale Verlegung zugrunde gelegt.

Es zeigt sich, dass der Druckverlust insgesamt verringert wird. Die Geschwindigkeit innerhalb der gasführenden Rohrleitungen liegt teilweise unter den Werten von R 404A. Somit ist zu überprüfen, dass die zu erwarteten Geschwindigkeiten innerhalb der zulässigen Grenzen sind und die Ölrückführung weiterhin gewährleistet ist.

Bei einem Einsatz der Alternativ-Kältemittel in Bestandsanlagen, sind die Einsatzgrenzen des Verdichters zu beachten. Diese weichen im Vergleich zu R 404A teilweise deutlich ab. In **Abbildung 9** ist das Einsatzgrenzdiagramm des Frascold-Verdichters Q7-36.1Y aufgezeigt. Es sind teilweise deutliche Abweichungen zwischen den alternativen Kältemitteln sowie R 404A zu erkennen. Einen großen Einfluss auf das Einsatzgrenzdiagramm haben die zu erwartende Verdichtungsendtemperatur sowie der Massenstrom.

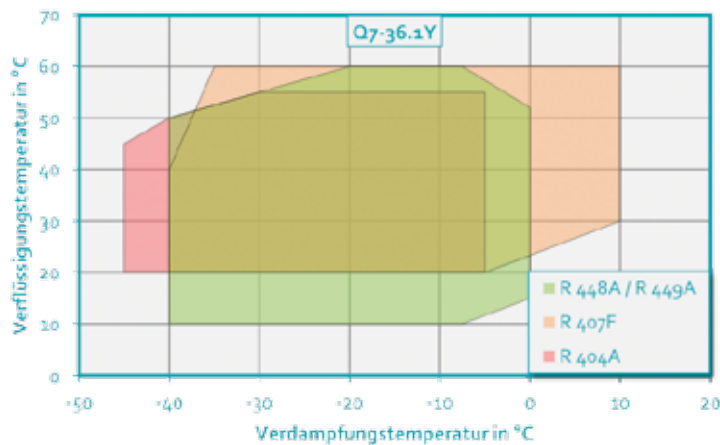


Abbildung 9: Einsatzgrenzdiagramme Frascold Q7-36.1Y

TEMPERATURGLEIT ALTERNATIV-KÄLTEMITTEL ZU R 404A

Aufgrund des hohen Temperaturgleites der betrachteten Alternativ-Kältemittel zu R 404A sind diverse Besonderheiten bei der Anwendung zu beachten. Der Temperaturgleit von zeotropen Gemischen beschreibt die Änderung der Temperatur während der Verdampfung und Verflüssigung. Üblicherweise wird zur Bestimmung der Temperaturen an den Wärmeübertragern der Mittelwert aus Eintritts- zu Austrittstemperatur herangezogen.

Bei der Verflüssigung lässt sich die mittlere Verflüssigungstemperatur aus dem arithmetischen Mittel von Tau- und Siedepunkttemperatur des Verflüssigungsdruckes bestimmen. In **Abbildung 10** ist ein p,h-Diagramm dargestellt, auf dem die Isothermen (Linien gleicher Temperatur) des Tau- sowie Siedepunktes aufgetragen sind. Bei der Berechnung der Unterkühlung ist darauf zu achten, dass die Temperaturdifferenz zwischen gemessener Flüssigkeitstemperatur und der Siedetemperatur zu ermitteln ist.

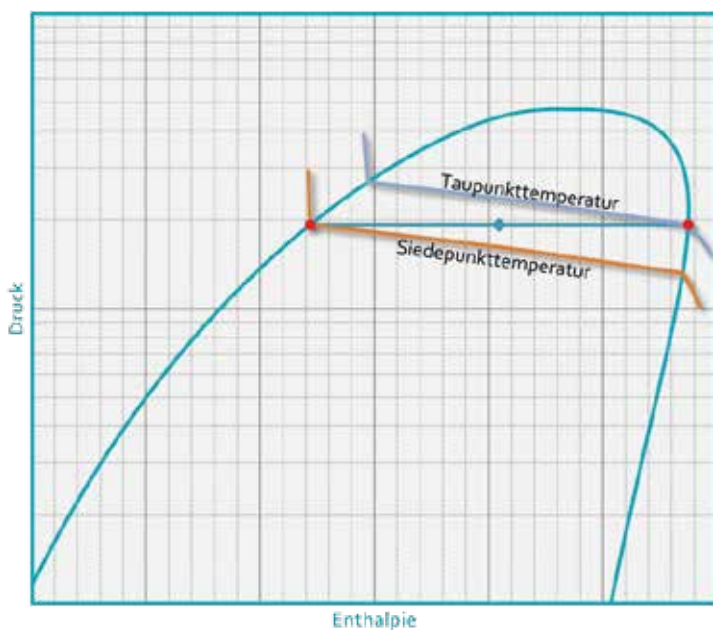


Abbildung 10: Temperaturgleit Verflüssigung

Bei der Verdampfung benötigt die Ermittlung der Mitteltemperatur einen größeren Aufwand. Da die Eintrittstemperatur in den Verdampfer von mehreren Faktoren abhängt und in den meisten Fällen unbekannt ist, kann der Mittelwert nicht ohne weitere Berechnungen gebildet werden.

Der Eintrittszustand in den Verdampfer wird zum einen vom Verdampfungsdruck im Verdampfer bestimmt. Zum anderen spielt der Zustand der Flüssigkeit vor dem Expansionsventil eine Rolle in der Berechnung. In **Abbildung 11** ist eine qualitative Darstellung einer Verdampfung mit Temperaturgleit zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der Eintrittszustand in den Verdampfer von der Temperatur der Flüssigkeit bestimmt wird. Wird diese kleiner, verringert sich auch die Eintrittstemperatur in den Verdampfer.

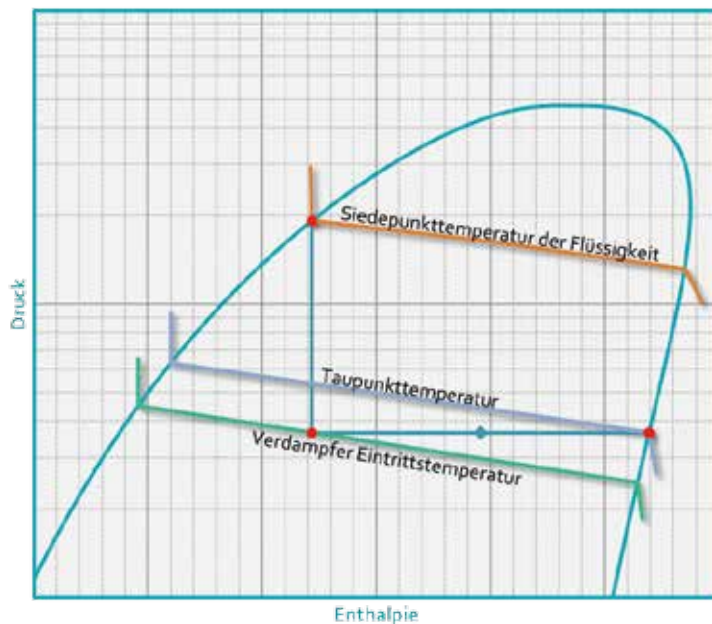


Abbildung 11: Temperaturlleit Verdampfung

Die Ermittlung der mittleren Verdampfungstemperatur erfolgt zwischen der Eintrittstemperatur in den Verdampfer und der Taupunkttemperatur. In der Regel wird die mittlere Verdampfungstemperatur zur Projektierung der Anlage herangezogen. Nach DIN EN 12900 sind die Leistungsangaben von Verdichtern lediglich auf die Taupunkttemperaturen der Anlage zu beziehen. Einige Hersteller ermöglichen zudem die Auslegung nach der mittleren Verdampfungstemperatur. Ist diese Möglichkeit nicht gegeben, werden Leistungsangaben von Verdichter und Verdampfer in der Regel auf die Taupunkttemperatur bezogen. Auch die Überhitzung der Saugleitung ist zwischen der Sauggastemperatur und der Taupunkttemperatur zu ermitteln.

Die zur Projektierung benötigte Taupunkttemperatur kann den **Tabellen 13 (R 407F), 14 (R 448A) und 15 (R 449A)** entnommen werden. Hierbei werden die Temperatur der Flüssigkeit und die mittlere Verdampfungstemperatur herangezogen, um die Taupunkttemperatur zu ermitteln. In **Tabelle 12** wird der Umgang der Tabellen anhand eines Beispiels verdeutlicht.

ERMITTLUNG DER TAUPUNKTTTEMPERATUR

BEISPIEL

		Flüssigkeitstemperatur in °C										
		50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Benötigte mittlere Verdampfungstemperatur in °C	-40	-38,31	-38,20	-38,08	-37,98	-37,88	-37,78	-37,69	-37,60	-37,52	-37,44	-37,37
	-39	-37,31	-37,19	-37,08	-36,97	-36,87	-36,78	-36,69	-36,60	-36,52	-36,44	-36,36
	-38	-36,30	-36,18	-36,07	-35,97	-35,87	-35,77	-35,68	-35,60	-35,51	-35,44	-35,36
	-37	-35,30	-35,18	-35,07	-34,96	-34,86	-34,77	-34,68	-34,59	-34,51	-34,43	-34,36
	-36	-34,29	-34,17	-34,06	-33,96	-33,86	-33,76	-33,67	-33,59	-33,51	-33,43	-33,35
	-35	-33,28	-33,17	-33,06	-32,95	-32,85	-32,76	-32,67	-32,59	-32,50	-32,43	-32,35
	-34	-32,28	-32,16	-32,05	-31,95	-31,85	-31,76	-31,67	-31,58	-31,50	-31,42	-31,35
	-33	-31,27	-31,16	-31,05	-30,94	-30,85	-30,75	-30,66	-30,58	-30,50	-30,42	-30,34
	-32	-30,27	-30,15	-30,04	-29,94	-29,84	-29,75	-29,66	-29,57	-29,49	-29,42	-29,34
	-31	-29,26	-29,15	-29,04	-28,93	-28,84	-28,74	-28,65	-28,57	-28,49	-28,41	-28,34
	-30	-28,26	-28,14	-28,03	-27,93	-27,83	-27,74	-27,65	-27,57	-27,49	-27,41	-27,34
	-29	-27,25	-27,13	-27,03	-26,92	-26,83	-26,73	-26,65	-26,56	-26,48	-26,41	-26,33
	-28	-26,24	-26,13	-26,02	-25,92	-25,82	-25,73	-25,64	-25,56	-25,48	-25,40	-25,33
	-27	-25,24	-25,12	-25,02	-24,92	-24,82	-24,73	-24,64	-24,56	-24,48	-24,40	-24,33
	-26	-24,23	-24,12	-24,01	-23,91	-23,81	-23,72	-23,64	-23,55	-23,47	-23,40	-23,32
	-25	-23,23	-23,11	-23,01	-22,91	-22,81	-22,72	-22,63	-22,55	-22,47	-22,39	-22,32
	-24	-22,22	-22,11	-22,00	-21,90	-21,81	-21,71	-21,63	-21,54	-21,47	-21,39	-21,32
	-23	-21,22	-21,10	-21,00	-20,90	-20,80	-20,71	-20,62	-20,54	-20,46	-20,39	-20,31
	-22	-20,21	-20,10	-19,99	-19,89	-19,80	-19,71	-19,62	-19,54	-19,46	-19,38	-19,31
	-21	-19,21	-19,09	-18,99	-18,89	-18,79	-18,70	-18,62	-18,53	-18,46	-18,38	-18,31
	-20	-18,20	-18,09	-17,98	-17,88	-17,79	-17,70	-17,61	-17,53	-17,45	-17,38	-17,30
	-19	-17,20	-17,08	-16,98	-16,88	-16,79	-16,70	-16,61	-16,53	-16,45	-16,37	-16,30
	-18	-16,19	-16,08	-15,97	-15,88	-15,78	-15,69	-15,61	-15,52	-15,45	-15,37	-15,30
	-17	-15,19	-15,07	-14,97	-14,87	-14,78	-14,69	-14,60	-14,52	-14,44	-14,37	-14,30
	-16	-14,18	-14,07	-13,97	-13,87	-13,77	-13,68	-13,60	-13,52	-13,44	-13,36	-13,29
-15	-13,18	-13,07	-12,96	-12,86	-12,77	-12,68	-12,59	-12,51	-12,44	-12,36	-12,29	
-14	-12,17	-12,06	-11,96	-11,86	-11,77	-11,68	-11,59	-11,51	-11,43	-11,36		
-13	-11,17	-11,06	-10,95	-10,85	-10,76	-10,67	-10,59	-10,51	-10,43	-10,36		
-12	-10,16	-10,05	-9,95									
-11	-9,16	-9,05	-8,94									
-10	-8,15	-8,04	-7,94									
-9	-7,15	-7,04	-6,94									
-8	-6,14	-6,03	-5,93									
-7	-5,14	-5,03	-4,93									
-6	-4,13	-4,03	-3,92									
-5	-3,13	-3,02	-2,92									
-4	-2,12	-2,02	-1,92									
-3	-1,12	-1,01	-0,91									
-2	-0,12	-0,01	0,09	0,19	0,26	0,37	0,45	0,53				
-1	0,89	0,99	1,10	1,19	1,28	1,37	1,45	1,53				
0	1,89	2,00	2,10	2,19	2,29	2,37	2,45	2,53				
1	2,90	3,00	3,10	3,20	3,29	3,37	3,46					
2	3,90	4,01	4,11	4,20	4,29	4,38	4,46					
3	4,90	5,01	5,11	5,20	5,29	5,38	5,46					
4	5,91	6,01	6,11	6,21	6,30	6,38	6,47					
5	6,91	7,02	7,12	7,21	7,30	7,39	7,47					
6	7,92	8,02	8,12	8,21	8,30	8,39						
7	8,92	9,02	9,12	9,22	9,31	9,39						
8	9,92	10,03	10,13	10,22	10,31	10,39						
9	10,93	11,03	11,13	11,22	11,31	11,40						
10	11,93	12,03	12,13	12,23	12,32	12,40						
11	12,93	13,04	13,14	13,23	13,32							
12	13,94	14,04	14,14	14,23	14,32							
13	14,94	15,04	15,14	15,23	15,32							
14	15,94	16,05	16,14	16,24	16,33							
15	16,94	17,05	17,15	17,24	17,33							

Beispiel.

Bedingungen.

- Flüssigkeitstemperatur: **40 °C** (Siedepunkt)
- Benötigte mittlere Verdampfungstemperatur: **-10°C**

Aus den Eingangsbedingungen ergibt die Ermittlung der Taupunkttemperatur einen Wert von **-7,94 °C**, der zur Projektierung der Komponenten herangezogen werden kann.

Tabelle 12: Beispiel zur Ermittlung der Taupunkttemperatur anhand von R 407F

		Flüssigkeitstemperatur in °C										
		50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Benötigte mittlere Verdampfungstemperatur in °C	-40	-38,31	-38,20	-38,08	-37,98	-37,88	-37,78	-37,69	-37,60	-37,52	-37,44	-37,37
	-39	-37,31	-37,19	-37,08	-36,97	-36,87	-36,78	-36,69	-36,60	-36,52	-36,44	-36,36
	-38	-36,30	-36,18	-36,07	-35,97	-35,87	-35,77	-35,68	-35,60	-35,51	-35,44	-35,36
	-37	-35,30	-35,18	-35,07	-34,96	-34,86	-34,77	-34,68	-34,59	-34,51	-34,43	-34,36
	-36	-34,29	-34,17	-34,06	-33,96	-33,86	-33,76	-33,67	-33,59	-33,51	-33,43	-33,35
	-35	-33,28	-33,17	-33,06	-32,95	-32,85	-32,76	-32,67	-32,59	-32,50	-32,43	-32,35
	-34	-32,28	-32,16	-32,05	-31,95	-31,85	-31,76	-31,67	-31,58	-31,50	-31,42	-31,35
	-33	-31,27	-31,16	-31,05	-30,94	-30,85	-30,75	-30,66	-30,58	-30,50	-30,42	-30,34
	-32	-30,27	-30,15	-30,04	-29,94	-29,84	-29,75	-29,66	-29,57	-29,49	-29,42	-29,34
	-31	-29,26	-29,15	-29,04	-28,93	-28,84	-28,74	-28,65	-28,57	-28,49	-28,41	-28,34
	-30	-28,26	-28,14	-28,03	-27,93	-27,83	-27,74	-27,65	-27,57	-27,49	-27,41	-27,34
	-29	-27,25	-27,13	-27,03	-26,92	-26,83	-26,73	-26,65	-26,56	-26,48	-26,41	-26,33
	-28	-26,24	-26,13	-26,02	-25,92	-25,82	-25,73	-25,64	-25,56	-25,48	-25,40	-25,33
	-27	-25,24	-25,12	-25,02	-24,92	-24,82	-24,73	-24,64	-24,56	-24,48	-24,40	-24,33
	-26	-24,23	-24,12	-24,01	-23,91	-23,81	-23,72	-23,64	-23,55	-23,47	-23,40	-23,32
	-25	-23,23	-23,11	-23,01	-22,91	-22,81	-22,72	-22,63	-22,55	-22,47	-22,39	-22,32
	-24	-22,22	-22,11	-22,00	-21,90	-21,81	-21,71	-21,63	-21,54	-21,47	-21,39	-21,32
	-23	-21,22	-21,10	-21,00	-20,90	-20,80	-20,71	-20,62	-20,54	-20,46	-20,39	-20,31
	-22	-20,21	-20,10	-19,99	-19,89	-19,80	-19,71	-19,62	-19,54	-19,46	-19,38	-19,31
	-21	-19,21	-19,09	-18,99	-18,89	-18,79	-18,70	-18,62	-18,53	-18,46	-18,38	-18,31
	-20	-18,20	-18,09	-17,98	-17,88	-17,79	-17,70	-17,61	-17,53	-17,45	-17,38	-17,30
	-19	-17,20	-17,08	-16,98	-16,88	-16,79	-16,70	-16,61	-16,53	-16,45	-16,37	-16,30
	-18	-16,19	-16,08	-15,97	-15,88	-15,78	-15,69	-15,61	-15,52	-15,45	-15,37	-15,30
	-17	-15,19	-15,07	-14,97	-14,87	-14,78	-14,69	-14,60	-14,52	-14,44	-14,37	-14,30
	-16	-14,18	-14,07	-13,97	-13,87	-13,77	-13,68	-13,60	-13,52	-13,44	-13,36	-13,29
	-15	-13,18	-13,07	-12,96	-12,86	-12,77	-12,68	-12,59	-12,51	-12,44	-12,36	-12,29
	-14	-12,17	-12,06	-11,96	-11,86	-11,77	-11,68	-11,59	-11,51	-11,43	-11,36	
	-13	-11,17	-11,06	-10,95	-10,85	-10,76	-10,67	-10,59	-10,51	-10,43	-10,36	
	-12	-10,16	-10,05	-9,95	-9,85	-9,76	-9,67	-9,58	-9,50	-9,43	-9,35	
	-11	-9,16	-9,05	-8,94	-8,85	-8,75	-8,67	-8,58	-8,50	-8,42	-8,35	
	-10	-8,15	-8,04	-7,94	-7,84	-7,75	-7,66	-7,58	-7,50	-7,42	-7,35	
-9	-7,15	-7,04	-6,94	-6,84	-6,75	-6,66	-6,57	-6,49	-6,42			
-8	-6,14	-6,03	-5,93	-5,83	-5,74	-5,65	-5,57	-5,49	-5,41			
-7	-5,14	-5,03	-4,93	-4,83	-4,74	-4,65	-4,57	-4,49	-4,41			
-6	-4,13	-4,03	-3,92	-3,83	-3,74	-3,65	-3,56	-3,48	-3,41			
-5	-3,13	-3,02	-2,92	-2,82	-2,73	-2,64	-2,56	-2,48	-2,41			
-4	-2,12	-2,02	-1,92	-1,82	-1,73	-1,64	-1,56	-1,48				
-3	-1,12	-1,01	-0,91	-0,82	-0,72	-0,64	-0,56	-0,48				
-2	-0,12	-0,01	0,09	0,19	0,28	0,37	0,45	0,53				
-1	0,89	0,99	1,10	1,19	1,28	1,37	1,45	1,53				
0	1,89	2,00	2,10	2,19	2,29	2,37	2,45	2,53				
1	2,90	3,00	3,10	3,20	3,29	3,37	3,46					
2	3,90	4,01	4,11	4,20	4,29	4,38	4,46					
3	4,90	5,01	5,11	5,20	5,29	5,38	5,46					
4	5,91	6,01	6,11	6,21	6,30	6,38	6,47					
5	6,91	7,02	7,12	7,21	7,30	7,39	7,47					
6	7,92	8,02	8,12	8,21	8,30	8,39						
7	8,92	9,02	9,12	9,22	9,31	9,39						
8	9,92	10,03	10,13	10,22	10,31	10,39						
9	10,93	11,03	11,13	11,22	11,31	11,40						
10	11,93	12,03	12,13	12,23	12,32	12,40						
11	12,93	13,04	13,14	13,23	13,32							
12	13,94	14,04	14,14	14,23	14,32							
13	14,94	15,04	15,14	15,23	15,32							
14	15,94	16,05	16,14	16,24	16,33							
15	16,94	17,05	17,15	17,24	17,33							

Tabelle 13: Ermittlung der Taupunkttemperatur für R 407F

ERMITTLUNG DER TAUPUNKTTTEMPERATUR

R 448A

		Flüssigkeitstemperatur in °C										
		50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Benötigte mittlere Verdampfungstemperatur in °C	-40	-38,44	-38,32	-38,20	-38,09	-37,99	-37,89	-37,80	-37,71	-37,63	-37,55	-37,47
	-39	-37,43	-37,31	-37,19	-37,09	-36,98	-36,89	-36,79	-36,71	-36,62	-36,54	-36,46
	-38	-36,42	-36,30	-36,19	-36,08	-35,98	-35,88	-35,79	-35,70	-35,61	-35,53	-35,46
	-37	-35,41	-35,29	-35,18	-35,07	-34,97	-34,87	-34,78	-34,69	-34,61	-34,53	-34,45
	-36	-34,41	-34,29	-34,17	-34,06	-33,96	-33,87	-33,77	-33,69	-33,60	-33,52	-33,45
	-35	-33,40	-33,28	-33,16	-33,06	-32,95	-32,86	-32,77	-32,68	-32,60	-32,52	-32,44
	-34	-32,39	-32,27	-32,16	-32,05	-31,95	-31,85	-31,76	-31,67	-31,59	-31,51	-31,43
	-33	-31,38	-31,26	-31,15	-31,04	-30,94	-30,84	-30,75	-30,67	-30,58	-30,50	-30,43
	-32	-30,37	-30,25	-30,14	-30,03	-29,93	-29,84	-29,75	-29,66	-29,58	-29,50	-29,42
	-31	-29,37	-29,25	-29,13	-29,03	-28,93	-28,83	-28,74	-28,65	-28,57	-28,49	-28,41
	-30	-28,36	-28,24	-28,13	-28,02	-27,92	-27,82	-27,73	-27,65	-27,56	-27,48	-27,41
	-29	-27,35	-27,23	-27,12	-27,01	-26,91	-26,82	-26,73	-26,64	-26,56	-26,48	-26,40
	-28	-26,34	-26,22	-26,11	-26,00	-25,90	-25,81	-25,72	-25,63	-25,55	-25,47	-25,39
	-27	-25,33	-25,22	-25,10	-25,00	-24,90	-24,80	-24,71	-24,62	-24,54	-24,46	-24,39
	-26	-24,33	-24,21	-24,10	-23,99	-23,89	-23,79	-23,70	-23,62	-23,54	-23,46	-23,38
	-25	-23,32	-23,20	-23,09	-22,98	-22,88	-22,79	-22,70	-22,61	-22,53	-22,45	-22,37
	-24	-22,31	-22,19	-22,08	-21,98	-21,88	-21,78	-21,69	-21,60	-21,52	-21,44	-21,37
	-23	-21,30	-21,18	-21,07	-20,97	-20,87	-20,77	-20,68	-20,60	-20,51	-20,44	-20,36
	-22	-20,30	-20,18	-20,07	-19,96	-19,86	-19,77	-19,68	-19,59	-19,51	-19,43	-19,35
	-21	-19,29	-19,17	-19,06	-18,95	-18,85	-18,76	-18,67	-18,58	-18,50	-18,42	-18,35
	-20	-18,28	-18,16	-18,05	-17,95	-17,85	-17,75	-17,66	-17,58	-17,49	-17,42	-17,34
	-19	-17,27	-17,15	-17,04	-16,94	-16,84	-16,75	-16,66	-16,57	-16,49	-16,41	-16,33
	-18	-16,26	-16,15	-16,04	-15,93	-15,83	-15,74	-15,65	-15,56	-15,48	-15,40	-15,33
	-17	-15,26	-15,14	-15,03	-14,92	-14,83	-14,73	-14,64	-14,56	-14,47	-14,40	-14,32
	-16	-14,25	-14,13	-14,02	-13,92	-13,82	-13,72	-13,63	-13,55	-13,47	-13,39	-13,31
	-15	-13,24	-13,12	-13,01	-12,91	-12,81	-12,72	-12,63	-12,54	-12,46	-12,38	-12,31
	-14	-12,23	-12,12	-12,01	-11,90	-11,80	-11,71	-11,62	-11,54	-11,45	-11,38	
	-13	-11,23	-11,11	-11,00	-10,90	-10,80	-10,70	-10,61	-10,53	-10,45	-10,37	
	-12	-10,22	-10,10	-9,99	-9,89	-9,79	-9,70	-9,61	-9,52	-9,44	-9,36	
	-11	-9,21	-9,09	-8,98	-8,88	-8,78	-8,69	-8,60	-8,51	-8,43	-8,35	
	-10	-8,20	-8,09	-7,98	-7,87	-7,78	-7,68	-7,59	-7,51	-7,43	-7,35	
-9	-7,20	-7,08	-6,97	-6,87	-6,77	-6,67	-6,59	-6,50	-6,42			
-8	-6,19	-6,07	-5,96	-5,86	-5,76	-5,67	-5,58	-5,49	-5,41			
-7	-5,18	-5,06	-4,96	-4,85	-4,75	-4,66	-4,57	-4,49	-4,41			
-6	-4,17	-4,06	-3,95	-3,84	-3,75	-3,65	-3,56	-3,48	-3,40			
-5	-3,17	-3,05	-2,94	-2,84	-2,74	-2,65	-2,56	-2,47	-2,39			
-4	-2,16	-2,04	-1,93	-1,83	-1,73	-1,64	-1,55	-1,47				
-3	-1,15	-1,04	-0,93	-0,82	-0,73	-0,63	-0,54	-0,46				
-2	-0,14	-0,03	0,08	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55				
-1	0,86	0,98	1,09	1,19	1,29	1,38	1,47	1,55				
0	1,87	1,99	2,09	2,20	2,30	2,39	2,48	2,56				
1	2,88	2,99	3,10	3,20	3,30	3,39	3,48					
2	3,89	4,00	4,11	4,21	4,31	4,40	4,49					
3	4,89	5,01	5,12	5,22	5,32	5,41	5,50					
4	5,90	6,01	6,12	6,23	6,32	6,42	6,50					
5	6,91	7,02	7,13	7,23	7,33	7,42	7,51					
6	7,91	8,03	8,14	8,24	8,34	8,43						
7	8,92	9,04	9,14	9,25	9,34	9,44						
8	9,93	10,04	10,15	10,25	10,35	10,44						
9	10,93	11,05	11,16	11,26	11,36	11,45						
10	11,94	12,06	12,16	12,27	12,36	12,45						
11	12,95	13,06	13,17	13,27	13,37							
12	13,95	14,07	14,18	14,28	14,37							
13	14,96	15,07	15,18	15,28	15,38							
14	15,97	16,08	16,19	16,29	16,39							
15	16,97	17,09	17,20	17,30	17,39							

Tabelle 14: Ermittlung der Taupunkttemperatur für R 448A

		Flüssigkeitstemperatur in °C										
		50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Benötigte mittlere Verdampfungstemperatur in °C	-40	-38,64	-38,53	-38,42	-38,31	-38,22	-38,12	-38,03	-37,94	-37,86	-37,78	-37,70
	-39	-37,63	-37,52	-37,41	-37,31	-37,21	-37,11	-37,02	-36,94	-36,85	-36,77	-36,70
	-38	-36,62	-36,51	-36,40	-36,30	-36,20	-36,11	-36,02	-35,93	-35,85	-35,77	-35,69
	-37	-35,62	-35,50	-35,39	-35,29	-35,19	-35,10	-35,01	-34,92	-34,84	-34,76	-34,68
	-36	-34,61	-34,49	-34,39	-34,28	-34,19	-34,09	-34,00	-33,91	-33,83	-33,75	-33,68
	-35	-33,60	-33,49	-33,38	-33,28	-33,18	-33,08	-32,99	-32,91	-32,82	-32,74	-32,67
	-34	-32,59	-32,48	-32,37	-32,27	-32,17	-32,08	-31,99	-31,90	-31,82	-31,74	-31,66
	-33	-31,58	-31,47	-31,36	-31,26	-31,16	-31,07	-30,98	-30,89	-30,81	-30,73	-30,65
	-32	-30,58	-30,46	-30,35	-30,25	-30,15	-30,06	-29,97	-29,89	-29,80	-29,72	-29,65
	-31	-29,57	-29,45	-29,35	-29,24	-29,15	-29,05	-28,96	-28,88	-28,80	-28,72	-28,64
	-30	-28,56	-28,45	-28,34	-28,24	-28,14	-28,05	-27,96	-27,87	-27,79	-27,71	-27,63
	-29	-27,55	-27,44	-27,33	-27,23	-27,13	-27,04	-26,95	-26,86	-26,78	-26,70	-26,63
	-28	-26,54	-26,43	-26,32	-26,22	-26,12	-26,03	-25,94	-25,86	-25,77	-25,69	-25,62
	-27	-25,54	-25,42	-25,32	-25,21	-25,12	-25,02	-24,93	-24,85	-24,77	-24,69	-24,61
	-26	-24,53	-24,41	-24,31	-24,21	-24,11	-24,01	-23,93	-23,84	-23,76	-23,68	-23,60
	-25	-23,52	-23,41	-23,30	-23,20	-23,10	-23,01	-22,92	-22,83	-22,75	-22,67	-22,60
	-24	-22,51	-22,40	-22,29	-22,19	-22,09	-22,00	-21,91	-21,83	-21,74	-21,66	-21,59
	-23	-21,50	-21,39	-21,28	-21,18	-21,08	-20,99	-20,90	-20,82	-20,74	-20,66	-20,58
	-22	-20,49	-20,38	-20,28	-20,17	-20,08	-19,98	-19,90	-19,81	-19,73	-19,65	-19,57
	-21	-19,49	-19,37	-19,27	-19,17	-19,07	-18,98	-18,89	-18,80	-18,72	-18,64	-18,57
	-20	-18,48	-18,37	-18,26	-18,16	-18,06	-17,97	-17,88	-17,79	-17,71	-17,63	-17,56
	-19	-17,47	-17,36	-17,25	-17,15	-17,05	-16,96	-16,87	-16,79	-16,71	-16,63	-16,55
	-18	-16,46	-16,35	-16,24	-16,14	-16,05	-15,95	-15,86	-15,78	-15,70	-15,62	-15,54
	-17	-15,45	-15,34	-15,24	-15,13	-15,04	-14,95	-14,86	-14,77	-14,69	-14,61	-14,54
	-16	-14,45	-14,33	-14,23	-14,13	-14,03	-13,94	-13,85	-13,76	-13,68	-13,60	-13,53
	-15	-13,44	-13,33	-13,22	-13,12	-13,02	-12,93	-12,84	-12,76	-12,68	-12,60	-12,52
	-14	-12,43	-12,32	-12,21	-12,11	-12,01	-11,92	-11,83	-11,75	-11,67	-11,59	
	-13	-11,42	-11,31	-11,20	-11,10	-11,01	-10,91	-10,83	-10,74	-10,66	-10,58	
	-12	-10,41	-10,30	-10,20	-10,10	-10,00	-9,91	-9,82	-9,73	-9,65	-9,57	
	-11	-9,41	-9,29	-9,19	-9,09	-8,99	-8,90	-8,81	-8,73	-8,64	-8,57	
	-10	-8,40	-8,29	-8,18	-8,08	-7,98	-7,89	-7,80	-7,72	-7,64	-7,56	
-9	-7,39	-7,28	-7,17	-7,07	-6,98	-6,88	-6,80	-6,71	-6,63			
-8	-6,38	-6,27	-6,17	-6,06	-5,97	-5,88	-5,79	-5,70	-5,62			
-7	-5,37	-5,26	-5,16	-5,06	-4,96	-4,87	-4,78	-4,70	-4,61			
-6	-4,37	-4,26	-4,15	-4,05	-3,95	-3,86	-3,77	-3,69	-3,61			
-5	-3,36	-3,25	-3,14	-3,04	-2,95	-2,85	-2,77	-2,68	-2,60			
-4	-2,35	-2,24	-2,13	-2,03	-1,94	-1,85	-1,76	-1,67				
-3	-1,34	-1,23	-1,13	-1,03	-0,93	-0,84	-0,75	-0,67				
-2	-0,34	-0,22	-0,12	-0,02	0,08	0,17	0,26	0,34				
-1	0,67	0,78	0,89	0,99	1,08	1,18	1,26	1,35				
0	1,68	1,79	1,90	2,00	2,09	2,18	2,27	2,36				
1	2,69	2,80	2,90	3,00	3,10	3,19	3,28					
2	3,69	3,81	3,91	4,01	4,11	4,20	4,29					
3	4,70	4,81	4,92	5,02	5,12	5,21	5,29					
4	5,71	5,82	5,93	6,03	6,12	6,21	6,30					
5	6,72	6,83	6,93	7,03	7,13	7,22	7,31					
6	7,72	7,84	7,94	8,04	8,14	8,23						
7	8,73	8,84	8,95	9,05	9,14	9,24						
8	9,74	9,85	9,96	10,06	10,15	10,24						
9	10,75	10,86	10,96	11,06	11,16	11,25						
10	11,75	11,86	11,97	12,07	12,17	12,26						
11	12,76	12,87	12,98	13,08	13,17							
12	13,77	13,88	13,98	14,08	14,18							
13	14,78	14,89	14,99	15,09	15,19							
14	15,78	15,89	16,00	16,10	16,19							
15	16,79	16,90	17,01	17,11	17,20							

Tabelle 15: Ermittlung der Taupunkttemperatur für R 449A

TEKO Gesellschaft für Kältetechnik mbH
Carl-Benz-Straße 1
63674 Altstadt
Germany

Tel.: +49 (0) 60 47 / 96 30- 0
Fax: +49 (0) 60 47 / 96 30-100
info@teko-gmbh.com
www.teko-gmbh.com

