

Inhalt

	Seite
1 Einleitung.....	2
2 Schmierstoff- und Kältemittelmengen in Kfz-Klimaanlagen.....	2
3 Definitionen	3
4 Ölwurf eines Verdichters für Kfz-Klimaanlagen.....	3
5 Einflüsse des Öls auf den Kältemittelkreislauf.....	4
5.1 Rückkühleffekt durch erhöhte Ölanteile.....	4
5.2 Einfluss der Ölanteile auf Druckabfälle im Verdampfer	6
5.3 Nutzbare Kälteleistung bei erhöhten Ölanteilen.....	6
6 Bestimmung des Ölgehaltes.....	7
7 Literatur	9

1 Einleitung

Die mit R-134a betriebenen Kfz-Kältemittelkreisläufe werden heute fast ausnahmslos mit Schmierstoffen auf Polyalkylenglykolbasis (PAG) betrieben. Der Schmierstoff hat die Aufgabe, die im Verdichter vorhandenen Lagerstellen vor einem vorzeitigen Verschleiß zu schützen und einen effizienten Betrieb mit möglichst geringen Reibungsverlusten im Verdichter sicherzustellen.

Der Schmierstoff muss unter den technisch möglichen Betriebsbedingungen einer Kfz-Klimaanlage eine ausreichende Schmierung gewährleisten. Als besonders kritisch sind die sog. Idle-Bedingungen und natürlich auch Sonderfälle, wie z. B. Kältemittelverlust durch Leckagen zu bewerten.

2 Schmierstoff- und Kältemittelmengen in Kfz-Klimaanlagen

Zu hohe Schmiermittelanteile im Kältemittelkreislauf reduzieren die nutzbare Kälteleistung des Verdampfers und sollten schon aus diesem Grund in Grenzen gehalten werden. Auch der ständig zunehmende Kostendruck fordert eine Reduzierung der Ölmengen.

Das folgende Bild gibt einen Überblick über die in unterschiedlichen Klimaanlagen eingesetzten Schmier- und Kältemittelmengen.

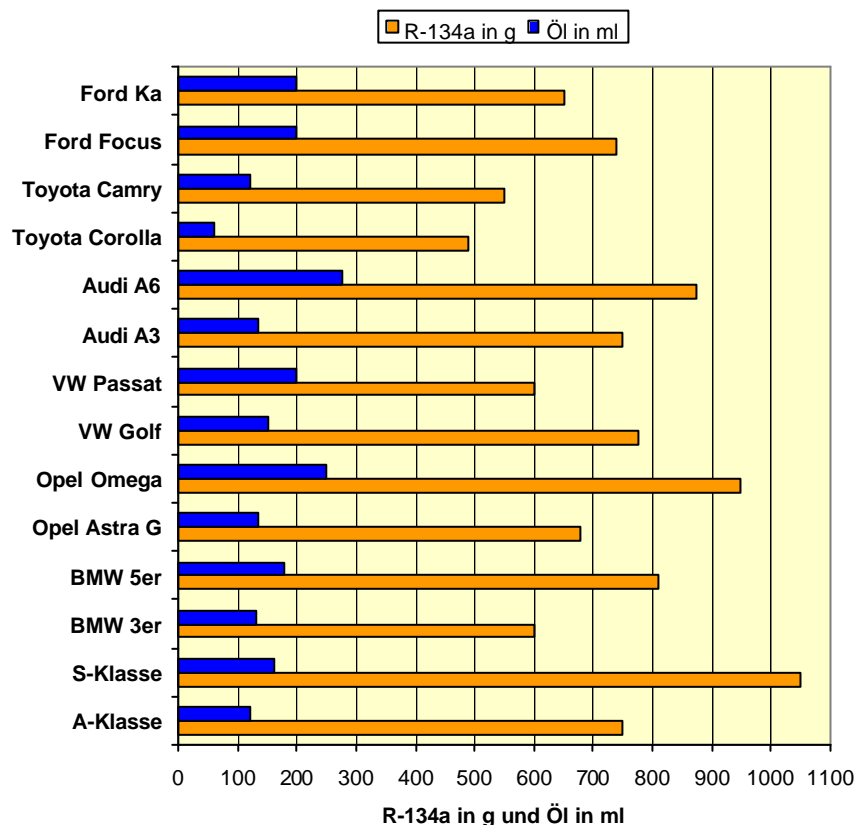


Bild 1. Schmier- und Kältemittelmengen in unterschiedlichen Kfz-Klimaanlagen

Durch den Einsatz von Verflüssigern mit „micro channels“ und relativ kleinen Sammlertrocknern wurde in den letzten Jahren eine deutliche Reduzierung der benötigten Kältemittelmengen erreicht.

Häufig bestimmt die Verdichterausführung die für den Kältemittelkreislauf notwendige Schmiermittelmenge. Weitere Einflussgrößen können sein:

- Verdichterbauart (z. B. Scroll oder Hubkolben)
- Ölabscheider im Verdichter
- Strömungsgeschwindigkeiten in der Heißgas- und in der Saugleitung
- Überhitzung des Kältemittels am Verdampferaustritt und in der Saugleitung
- Ein- oder Zweiverdampfer-Kreisläufe
- „Öltaschen“ in den unterschiedlichsten Kreislaufkomponenten

Diese Einflussgrößen können sich - je nach Anlagenausführung - sehr unterschiedlich auswirken. Aus diesem Grund ist die Überprüfung der Schmiermittel- bzw. Ölrückführung bei Neuanlagen und auch im Fall von konstruktiven Änderungen des Kältemittelkreislaufes so wichtig.

3 Definitionen

Eine der bekanntesten Definitionen ist der sog. Ölwurf des Verdichters. In den meisten Normen und Richtlinien versteht man unter Ölwurf die Menge an Öl, die vom Verdichter unter stationären Bedingungen in den Kreislauf ausgeworfen und auch wieder zurück gefördert wird. Der Ölwurf ist definiert als:

$$x_{\dot{m}_{\text{Öl}}} = \frac{\dot{m}_{\text{Öl}}}{(\dot{m}_{\text{R}} + \dot{m}_{\text{Öl}})} \times 100\%$$

Hierin bedeuten:

$x_{\dot{m}_{\text{Öl}}}$	Ölwurf des Verdichters	in %
$\dot{m}_{\text{Öl}}$	Massenstrom des im Umlauf befindlichen Öls	in kg/s
\dot{m}_{R}	Massenstrom des im Umlauf befindlichen Kältemittels	in kg/s

Zu beachten ist, dass in vielen Fällen der Ölwurf auf die Kältemittelmenge bezogen ist und nicht auf das Gemisch bestehend aus Öl und Kältemittel.

4 Ölwurf eines Verdichters für Kfz-Klimaanlagen

Aus Bild 2 ist das typische Ölwurfverhalten eines Kfz-Verdichters bei unterschiedlichen Drehzahlen ersichtlich. Der Ölwurf wurde aufgezeichnet bei:

- Verdampfungstemperatur = 0 °C
- Überhitzung am Verdichtereintritt = 10 K
- Verflüssigungstemperatur = 54 °C

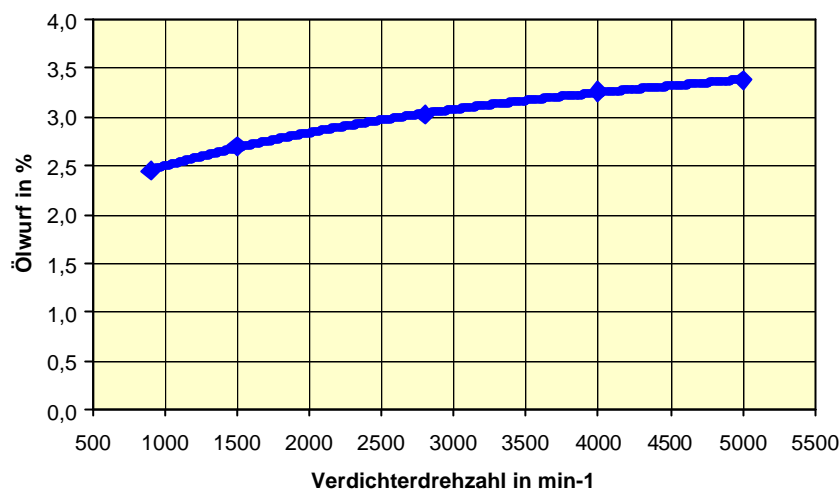


Bild 2. Ölwurf eines Kfz-Verdichters bei unterschiedlichen Drehzahlen

Das dargestellte Ölwurfverhalten ist bei nahezu allen Verdichterbauarten ohne internem Ölabscheider und im nicht „abgeregelten“ Betrieb tendenziell sehr ähnlich.

Die Überhitzung im Verdampfer hat ebenfalls einen starken Einfluss auf den Ölwurf. Bei zunehmender Überhitzung wird der gesamte Kreislauf so beeinflusst, dass sich ein geringerer Ölwurf einstellt. Gründe hierfür sind die Viskosität des angesaugten PAG-Öls, die Ölfilmstärke, die größere Kältemittelfüllmenge im Sammler und die Beeinflussung des Verdichtungsprozesses.

5 Einflüsse des Öls auf den Kältemittelkreislauf

5.1 Rückkühleffekt durch erhöhte Ölanteile

Bild 3 zeigt auszugsweise das log p, h-Diagramm für R-134a mit eingezeichneten Kältemittelkreisläufen. Dargestellt sind jeweils zwei Kältemittelkreisläufe unter Verwendung unterschiedlicher PAG-Öle.

Je mehr Öl sich im Kältemittelkreislauf befindet, umso stärker wird die Temperatur am Verdichteraustritt aufgrund einer Kühlung des Kältemittels durch das Öl verringert. Es handelt sich hierbei nicht um einen Einfluss der Verdichterleistungsaufnahme. Unterschiedliche Ölanteile wirken sich im Allgemeinen kaum auf die Leistungsaufnahme des Verdichters aus. Eine Veränderung der Verdichtearbeit wäre lediglich bei einer Mangelschmierung des Verdichters zu erwarten.

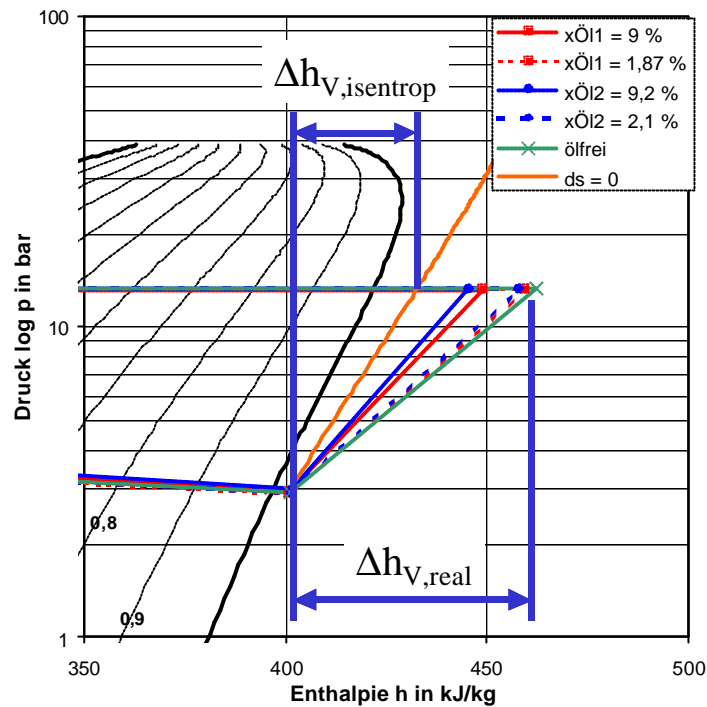


Bild 3. Zustand des Kältemittels vor und nach dem Verdichter bei unterschiedlichen Ölgehalten

Der Unterschied zwischen der Enthalpiedifferenz des Verdichters bei ölfreiem und ölbeladenem Fall ist deutlich zu erkennen. Mit steigendem Ölanteil nähert sich der Verlauf der realen Verdichtung dem idealen Verdichtungsverlauf (Isentrope $ds = 0$) an. Die häufig verwendete Bewertung des Verdichters durch den Isentropenwirkungsgrad mit Hilfe des Verhältnisses der realen zur isentropen Enthalpiedifferenz wird durch das Öl verfälscht. Werte mit Verdichterwirkungsgraden von über 100 % sind bei hohen Ölanteilen keine Seltenheit. Soll der Verdichter korrekt bewertet werden, ist es erforderlich, die mechanische Antriebsleistung des Verdichters zu messen und zur Bilanzierung zu verwenden.

In Bild 4 ist die deutliche Reduzierung der Heißgastemperatur nach dem Verdichter mit zunehmendem Ölanteil aufgetragen.

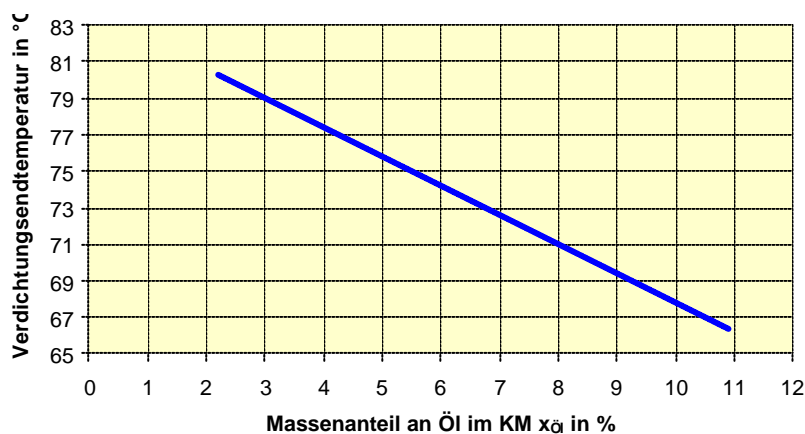


Bild 4. Tendenzuelle Reduzierung der Heißgastemperatur bei erhöhten Ölanteilen

5.2 Einfluss der Ölanteile auf Druckabfälle im Verdampfer

Je höher der Ölanteil ist, umso größer ist auch der Druckabfall im Verdampfer. Bezogen auf eine konstante Verdampfungstemperatur wirkt sich eine große Druckdifferenz negativ auf die Oberflächentemperatur des Verdampfers und auch auf das Abkühlverhalten der Luft aus.

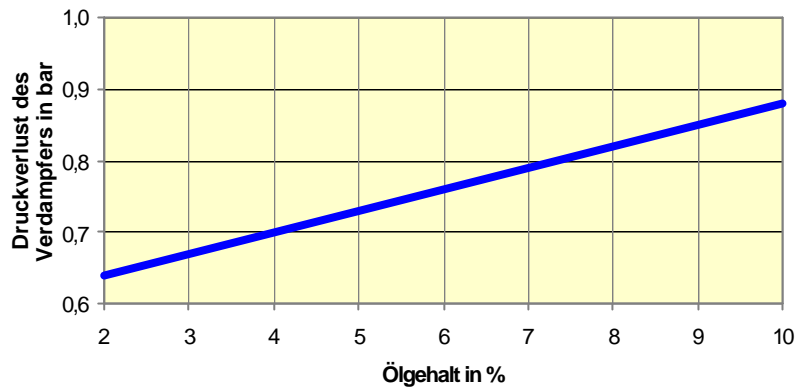


Bild 5. Druckabfall eines Verdampfers für Kfz-Klimaanlagen bei erhöhten Ölanteilen

5.3 Nutzbare Kälteleistung bei erhöhten Ölanteilen

Bei überschlägigen Betrachtungen ist es zulässig, dass zur Berücksichtigung der Abkühlung des Öls zwischen Expansionsventileingang und Verdampferausgang folgende Bilanz aufgestellt wird:

$$\dot{Q}_{\text{Öl}} = \dot{m}_{\text{Öl}} \cdot (c_{p,\text{Öl}(t_{E1})} \cdot T_{E1u} - c_{p,\text{Öl}(t_{o2h})} \cdot T_{o2h})$$

Hierin bedeuten:

$\dot{Q}_{\text{Öl}}$	zur Abkühlung des Öles erforderliche Leistung	in kW
$\dot{m}_{\text{Öl}}$	Ölmassenstrom	in kg/s
$c_{p,\text{Öl}(t_{E1})}$	spezifische Wärmekapazität Öl, Eintritt Expansionsventil	in kJ/(kgK)
$c_{p,\text{Öl}(t_{o2h})}$	spezifische Wärmekapazität Öl, Austritt Verdampfer	in kJ/(kgK)
T_{o2h}	Temperatur Verdampfer Austritt	in K
T_{E1u}	Temperatur Expansionsventil Eintritt	in K

Die Kälteleistung reduziert sich damit um den Betrag, der zur internen Abkühlung des Öls im Expansionsventil benötigt wird. Dieser Ansatz ist zwar wissenschaftlich nicht zu 100 % korrekt, da im Öl noch Kältemittel gelöst ist, das Berechnungsverfahren bietet aber eine ausreichende Möglichkeit zur vereinfachten Korrektur der nutzbaren Kälteleistung.

$$\dot{Q}_{o,\text{eff}} = \dot{Q}_{\text{KM}} - \dot{Q}_{\text{Öl}}$$

Hierin bedeuten:

$\dot{Q}_{o,\text{eff}}$	nutzbare Kälteleistung des Verdampfers	in kW
$\dot{Q}_{\text{Öl}}$	zur Abkühlung des Öles erforderliche Leistung	in kW
\dot{Q}_{KM}	Kälteleistung des reinen Kältemittels	in kW

In Bild 6 sind Messwerte der nutzbaren Kälteleistung des Verdampfers einer Serien-Klimaanlage bei unterschiedlichen Ölanteilen dargestellt. Ölanteile von 2 oder auch 3 % sind noch zu vernachlässigen. Ölanteile > 5 % wirken sich deutlich auf die effektive Kälteleistung aus.

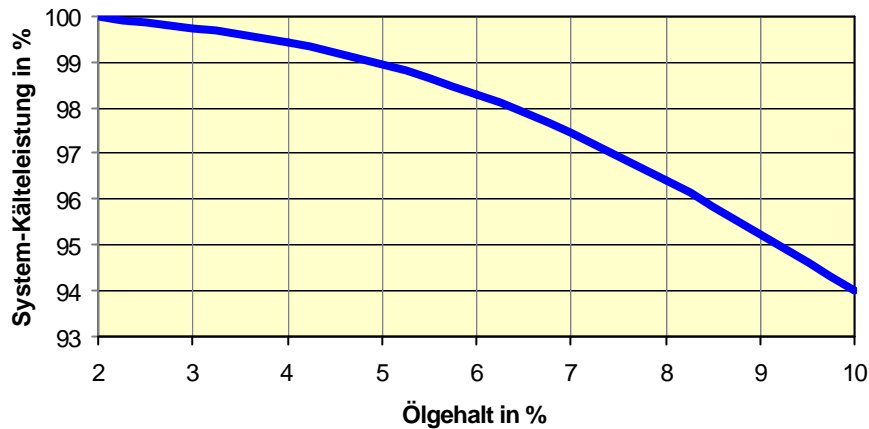


Bild 6. Änderung der nutzbaren Systemkälteleistung bei zunehmenden Ölanteilen

6 Bestimmung des Ölgehaltes

Zur Bestimmung des Ölgehaltes werden folgende Verfahren verwendet:

- Ölproben nach DIN EN 328
- Bestimmung der Schallgeschwindigkeit
- Bestimmung des Brechungsindex

Nachfolgend wird das Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit erläutert. Der Schallsensor wird in die Flüssigkeitsleitung der Kälteanlage eingebaut und liefert ein kontinuierliches Messsignal. Das Signal wird von einer Auswerteeinheit in eine Schallgeschwindigkeit umgerechnet und steht danach zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.



Bild 7. Schallsensor der Fa. ANTON PAAR

Die Schallgeschwindigkeit eines Stoffes ist im wesentlichen von dessen Beschaffenheit und Zustand abhängig. Hierbei spielen die chemische Zusammensetzung, der Druck und die Temperatur eine Rolle. Kombiniert man zwei Stoffe unterschiedlicher Zusammensetzung, so entsteht ein Stoffgemisch mit einer entsprechenden Gemischdichte. Wird der prozentuale Anteil eines Stoffes gegenüber dem anderen verändert, so ändert sich die Dichte und damit auch die Schallgeschwindigkeit. Wird die Schallgeschwindigkeit aufgenommen, so kann auf die prozentuale Zusammensetzung des Gemisches geschlossen werden.

In Bild 8 ist der Einfluss von Druck und Temperatur bzw. der Unterkühlung des R-134a dargestellt. Bild 9 zeigt die Beeinflussung der Schallgeschwindigkeit durch unterschiedliche Ölgehalte.

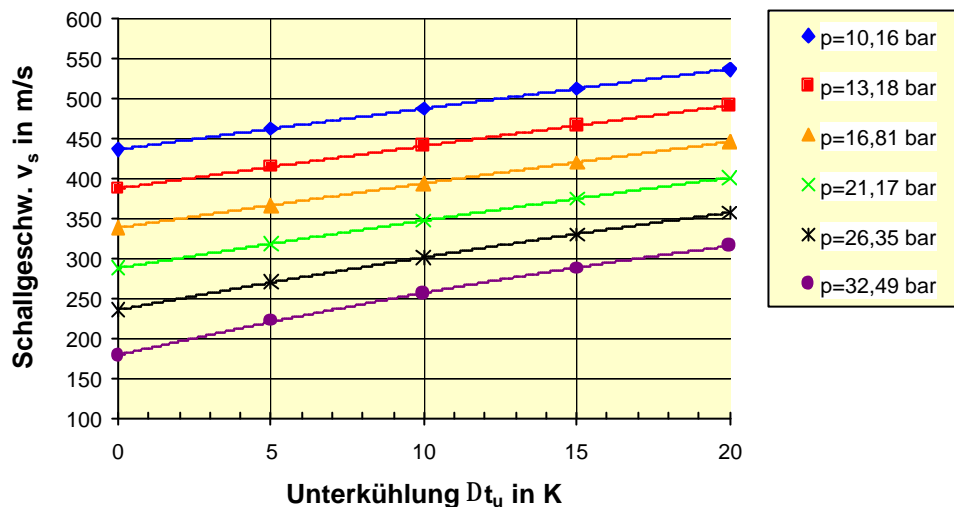


Bild 8. Schallgeschwindigkeit im flüssigen R-134a in Abhängigkeit von Druck und Unterkühlung

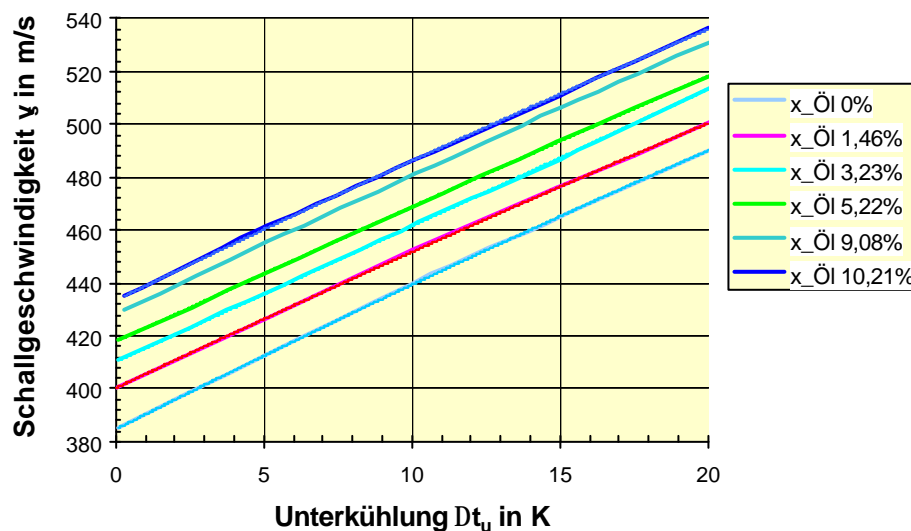


Bild 9. Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Ölgehalt und der Unterkühlung ($p = \text{konstant}$)

Nach erfolgter Kalibrierung des Schallsensors wurde die Genauigkeit der Messverfahren zur Bestimmung des Ölgehaltes durchgeführt. Als Kontrollmethode wurden Ölproben verwendet. Bei den Verfahren betrug die Abweichung maximal $\pm 0,4 \%$. Diese Abweichung ist für den praktischen Betrieb hinreichend genau.

Da der Schallsensor in der Flüssigkeitsleitung keinen nennenswerten Druckabfall erzeugt, kann er auch während der Messungen zugeschaltet bleiben und ermöglicht somit eine Echtzeitmessung.

Beim Messverfahren über den Brechungsindex wird ein Laserstrahl in eine Prüfkammer mit einem reflektierenden Boden geleitet. Gemessen wird der Brechungsindex des Mediums in der Prüfkammer. Dieser ist vom Medium (Zusammensetzung, Druck, Temperatur) abhängig. Auch bei diesem Verfahren ist eine umfangreiche Kalibrierung erforderlich.

Es ist unbedingt zu beachten, dass beide Verfahren nur bei einphasiger Strömung (reine Flüssigkeit, vollständige Mischbarkeit zwischen Öl und Kältemittel) angewendet werden können.

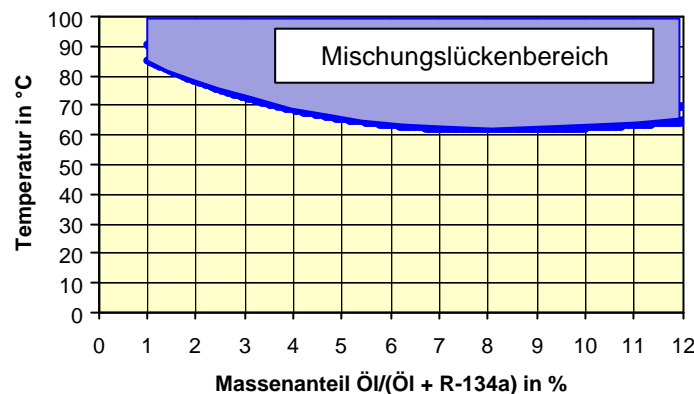


Bild 10. Mischungslückenbereich eines häufig eingesetzten PAG-Öls für Kfz-Verdichter

In Bild 10 ist die Mischungslückenkurve eines der häufigsten PAG-Öle dargestellt. Im schraffierten Bereich ist eine Mischung aus PAG und flüssigem R-134a nicht vollständig möglich. Es ist zu beachten, dass die Temperaturen der Mischungslücke je nach Ölsorte um bis zu 30 °C variieren können. Für eine sichere Bestimmung der Ölkonzentration im Kältemittel muss der exakte Verlauf der Mischungslücke bekannt sein.

7 Literatur

- [1] Klug, P.: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Ölkonzentrationen im Kältemittel auf das Leistungsverhalten des Verdampfers, unter Zuhilfenahme eines kontinuierlichen Ölkonzentrationsmessverfahrens. FH-Karlsruhe/TWK GmbH, 2002
- [2] Burger, R, P. Klug: Untersuchung des Öleinflusses auf das Leistungsverhalten des Verdampfers einer Pkw-Klimaanlage. KI Luft und Kältetechnik 5/2002
- [3] Petz, M.: Einflüsse des Kältemaschinenöles auf das Leistungsverhalten einer Kfz-Klimaanlage. Vortrag auf der DKV-Tagung 2002, Magdeburg
- [4] Fukuta, M, T. Yanagisawa, S. Miyamura, Y. Ogi: Concentration measurement of refrigerant/refrigeration oil mixture by refractive index. International Journal of Refrigeration 27 (2004)
- [5] <http://www.anton-paar.com>: Informationen zum Schallsensor