

Aus der Praxis

Die „Tücken“ der Kälte- und Klimatechnik

Manfred Petz, Karlsruhe

Nach mehr als 20 Jahren Erfahrung in der Kälte- und Klimatechnik kommt es immer wieder vor, daß man mit Problemen konfrontiert wird, welche in einigen Fällen relativ einfach zu beheben sind, in anderen Fällen oftmals dramatische Auswirkungen auf die Arbeitsweise oder auch auf die Betriebssicherheit einer Anlage haben können. Nicht zu unterschätzen sind die Kosten, die bei der Lösung der Probleme auftreten. In diesem Erfahrungsbericht werden anhand 6 ausgewählter Praxisfälle einige typische Fehler nicht nur beschrieben, es werden auch die eingeleiteten Maßnahmen zur Behebung der Probleme erläutert. Um die Vertraulichkeit der durchgeführten Untersuchungen zu gewährleisten, sind die Beispiele so dargestellt, daß ein direkter Bezug zum Schadensfall nicht möglich ist.

1. Verunreinigungen in einem Kältemittelkreislauf

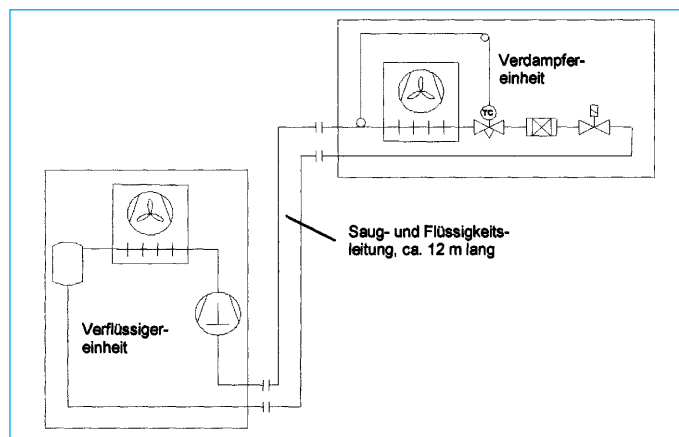
Nach dem Ausfall einer größeren Anzahl hermetischer Verdichter hat sich der Betreiber der Anlage gefragt, welche Ursache hierfür verantwortlich ist. Aus den Servi-

ceberichten der Monteure war ersichtlich, daß fast immer nur der vom Hersteller des Verflüssigungssatzes installierte, neue Verdichter ausfiel. Nach Einbau des Ersatzverdichters waren weitere Verdichterschäden so gut wie ausgeschlossen. Glücklicherweise stand in diesem Fall eine größere Anzahl defekter Verdichter für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

Zunächst wurden die elektrotechnischen Motordaten überprüft, wobei hier keine nennenswerten Fehler festzustellen waren. In den meisten Fällen wurde eine mechanische Blockierung diagnostiziert. Nach dem Öffnen des Verdichtergehäuses konnten im Ölsumpf des Verdichters größere Mengen Schmutzpartikel nachgewiesen werden, deren Herkunft zunächst unklar blieb. Es stellte sich heraus, daß der Verflüssigersatz und die Luftkühlereinheit als Splitsystem an den Hersteller der Kühlanlagen abgegeben wurden. Neben organisatorischen Gründen führte – wie in vielen Fällen üblich – auch der Kostendruck dazu, daß die bis zu 12 m langen Rohrleitungen zwischen Verflüssigungssatz und Luftkühlereinheit durch fachfremde Personen verlegt wurden.

Während der Verlegung der kältemittelführenden Rohrleitungen wurden in unmittelbarer Umgebung umfangreiche Schleifarbeiten durchgeführt. Der hierbei

Bild 1.1 Untersuchte Kälteanlage, ausgeführt als Splitsystem



zum Autor

Manfred Petz,
Techn. Leiter
und Geschäftsführer des
TWK und des
Transferzentrums Kälte-
Klimatechnik,
FH-Karlsruhe



erzeugte Schleifstaub fand seinen Niederschlag in den zur gleichen Zeit vor Ort verlegten Kältemittelrohrleitungen. Unmittelbar nach Inbetriebnahme des Systems spülte das flüssige Kältemittel den Schleifstaub aus der Flüssigkeitsleitung in den Filtertrockner. Dort ausgefiltert konnte der Staub keinen Schaden verursachen. Das dampfförmige Kältemittel spülte jedoch den Schleifstaub aus der Saugleitung ungehindert in den Verdichter, wo er sich am tiefsten Punkt sammelte.

So befand sich der Schmutz direkt vor der Ölsaugung der Schleuderschmierung. Mit jedem Verdichterstart wurden Schmutzpartikel aufgewirbelt, durch die Schleuderschmierung angesaugt und



Bild 1.2
Verunreinigungen
im Ölsumpf

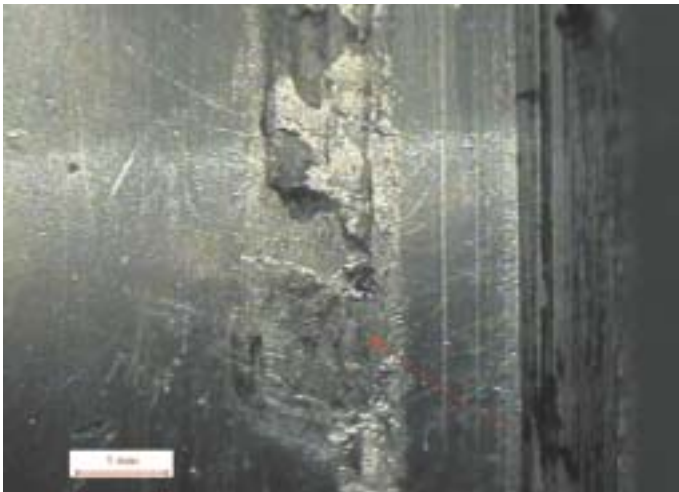


Bild 1.3
Beschädigtes
Gleitlager eines
Pleuellagers

anschließend direkt in die Gleitlager transportiert, was letztendlich ein „Fressen“ der Gleitlager zur Folge hatte und den Verdichter mechanisch blockierte.

Da mit jedem ausgetauschten defekten Verdichter gleichzeitig der noch vorhandene Schmutz entfernt wurde, trat – „außer dem Erstschaden“ – kein weiterer Schaden auf.

2. Unsachgemäßer Einsatz eines Filtertrockners

In einem mittelständischen Unternehmen werden zwei verschiedene Baugrößen einer kleinen Kältemaschine produziert. In dem kleineren System erfolgt die Abtauung des Verdampfers mit Hilfe einer Heißgasbypassabtauung. Im zweiten System hat man, da in diesem Fall die Bypassabtauung nicht in der geforderten Zeit möglich war, eine Kreislaufumkehrabtau-

ung eingesetzt. Aus den Serviceberichten der Reparaturabteilung war ersichtlich, daß es bei dem System mit der Kreislaufumkehrabtauung häufig zum „Blockieren“ des Rollkolbenverdichters kam. Die untersuchten Verdichter zeigten keinerlei elektrische Defekte. Daher wurde die

Bild 2 Abrieb des
Trocknermaterials
im Filter einer
Trocknerpatrone



Untersuchung auf die rotierenden Teile des Verdichters ausgeweitet. Auch hier waren auf den ersten Blick keine nennenswerten Schäden erkennbar. In einigen Fällen wurde lediglich ein etwas schwergängiger Rollkolben analysiert. Nachdem der Kolben und die Laufflächen gereinigt waren, konnte der Rollkolben wieder frei bewegt werden. Die mit dem Auge kaum erkennbaren Verschmutzungen auf der Lauffläche des Kolbens waren Ursache dafür, daß der Verdichter mit Hilfe der sogenannten „Leichtanlauf-einrichtung“ nicht mehr starten konnte. Der Einsatz einer „Schweranlauf-einrichtung“ führte in einigen wenigen Fällen zu einem erfolgreichen Verdichteranlauf. Zu klären war, was für die Rückstände auf der Kolbenlauffläche verantwortlich war.

Durch den Kreislaufumkehrbetrieb der Kälteanlage wurde der Filtertrockner durch die plötzlichen Druckänderungen immer wieder stark belastet. Das führte nach einer gewissen Zeit zum Abrieb des Trocknermaterials. Dieser setzte sich zwischen Kolben und Zylinderwand und führte nach einer kurzen Betriebszeit bereits zum Blockieren des Verdichters.

Durch Einsatz eines neuen Trockners, bei dem das Trocknermaterial durch eine Feder vorgespannt wurde, konnte das Problem behoben werden.

3. Neuer Lieferant für Kurbelwellen eines Hubkolbenverdichters

Nachdem ein Verdichterhersteller den Kurbelwellenlieferanten wechselte, gab es nach den ersten Lieferungen zunächst keine Beanstandungen. Nach mehr als einem Jahr stellten sich plötzlich unverhältnismäßig hohe Verdichterausfälle ein, wobei die Lagerschäden zwischen Pleuel und Kurbelwelle als sehr auffällig einzustufen

waren. Zunächst wurde im Fertigungsbe-
reich der Klimaanlage nach einer mögli-
chen Ursache gesucht. Nachdem die Fer-
tigungsfehler aber nicht für den Ausfall
der Verdichter verantwortlich gemacht
werden konnten, mußte eine andere Ur-
sache vorliegen.

Bei den makroskopischen Untersu-
chungen der Kurbelwelle zeigten sich er-
hebliche Verarbeitungsmängel in Form
von mangelhaft ausgeführten Ölkanälen.
Ein zusätzliches Risiko verursachten die
Metallspäne, die beim Reinigungsprozeß
der Kurbelwelle nicht entfernt wurden.



Bild 3.1 Fast verschlossener Ölkanal



Bild 3.2 Metallspäne im Ölkanal einer Kurbelwelle

Die unsachgemäße Ausführung der Öl-
kanäle führte in einigen Fällen zur Man-
gelschmierung im Lager. Sobald sich die
Metallspäne im Ölkanal z. B. durch Er-
schütterungen lösten, wurden sie mit Hil-
fe der Ölpumpe direkt in die Verdichterla-
ger gespült. Die häufigste Folge war eine
Zerstörung bzw. ein „Fressen“ der Gleitla-
ger. Durch Untersuchungen im REM (Ra-
sterelektronenmikroskop) konnten häufig
Metallspäne in den Aluminiumlagerscha-
len des Pleuels nachgewiesen werden (sie-
he hierzu Bild 3.3).

Nachdem die Ursache der Verdichter-
ausfälle geklärt war, mußte eine große An-
zahl bereits gelieferter Kurbelwellen einer

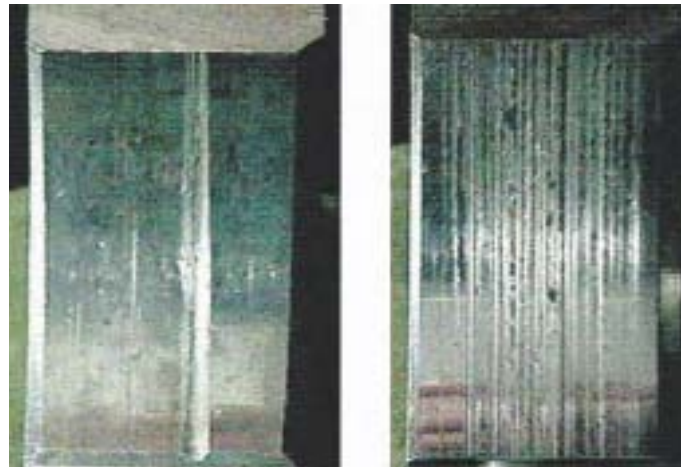


Bild 3.3 Lager-
schäden in einem
Pleuel, verursacht
durch Metallspäne

umfangreichen Nacharbeit unterzogen
und das Qualitätssicherungssystem des
Kurbelwellenherstellers vollkommen über-
arbeitet werden.

4. Richtiges Expansionsventil am falschen Einbauort

Bei der Überprüfung einer Mehrverdamp-
feranlage für einen zu klimatisierenden
Raum war aus Wartungsgründen zufällig
der Lufterhitzer außer Betrieb. Durch ein
3-Wegemischventil im Wasserkreislauf
wird normalerweise die gewünschte
Raumtemperatur durch Wärmezufuhr aus-
geregelt. Das System ist so ausgelegt, daß
bei max. Kühlbedarf der klimatisierte
Raum ohne Heizwärme des Nacherhitzers
auskommt.

Die eigentliche Aufgabe zur Überprü-
fung der Klimaanlage bestand darin, die
Temperaturverteilung im Raum zu mes-
sen. Bei der Messung herrschte eine Um-
gebungstemperatur, bei der üblicherweise
der Nacherhitzer in Funktion sein sollte.
Zum Zeitpunkt der Messung, war – bedingt
durch Wartungsarbeiten – der Nacherhit-
zer zufällig außer Betrieb. Das thermosta-
tische Expansionsventil (MOP = 15 °C) be-
fand sich im Luftstrom nach dem Luft-
kühler und Lufterhitzer, so wie im Bild 4.1
dargestellt.

Sobald die Klimaanlage längere Zeit in
Betrieb war, konnte bei einigen Luft-
kühlern immer wieder ein Anstieg der
Luftaustrittstemperatur des Verdampfers
beobachtet werden. Mit zunehmender Be-
triebszeit stellte sich tendenziell eine im-
mer größere Überhitzung am Verdampfer-
austritt ein. Gleichzeitig änderte sich die
luftseitige Abkühlung, d. h. die Kälteleis-
tung nahm kontinuierlich ab. Bei einer
Analyse des Problems stellte sich heraus,
daß sich die Fühlerfüllung des Expansions-
ventils aufgrund des geringeren Tem-
peraturniveaus langsam in den Kopf des
Expansionsventils verlagerte und damit
ein Schließen des Ventils verursachte. Die
Kopftemperatur des Expansionsventils
war in diesem Fall immer kälter als der
Fühler an der Saugleitung. Aus dem Bild
ist ein typischer Temperaturverlauf bei ei-
nem sich langsam schließenden Expansions-
ventil ersichtlich.

Die erstmalige Abnahme der Klima-
anlage erfolgte mit Betrieb des Nacherhit-
zers, d. h. das Temperaturniveau nach
dem Verdampfer war um einige K höher
und eine Kältemittelverlagerung in den
Kopf des Expansionsventils fand unter
diesen Bedingungen nicht statt. Eine Über-
prüfung der Anlagenfunktion bei max.
Kühlbedarf war gemäß Abnahmeprotokoll
zu keinem Zeitpunkt überprüft worden.
Dieser Systemfehler wurde nur durch ei-

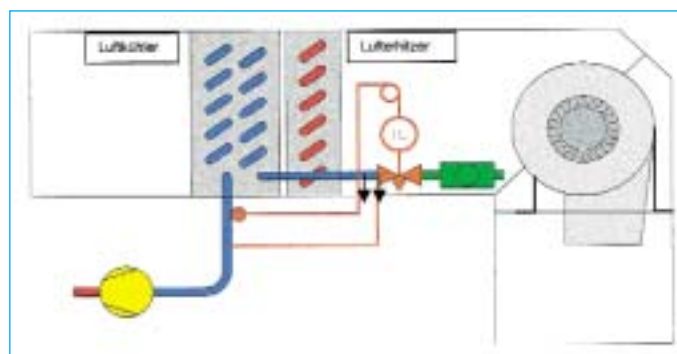


Bild 4.1 Bauliche
Anordnung des
Luftkühlers und des
Lufterhitzers

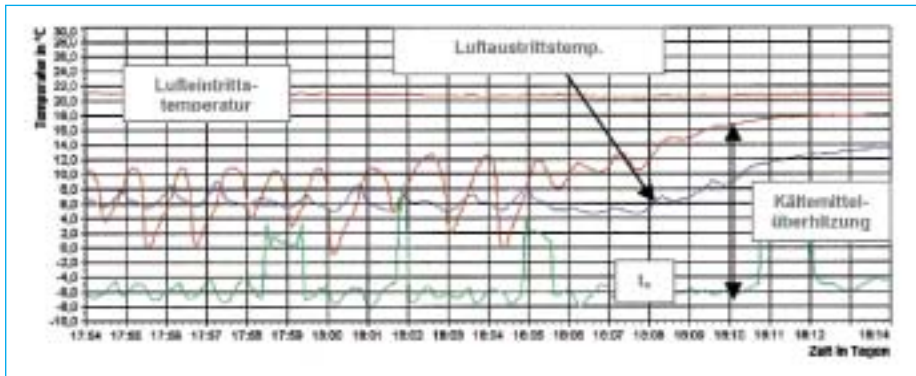


Bild 4.2 Temperaturen in einer Mehrverdampferanlage für einen klimatisierten Raum

ne zufällige Außerbetriebsetzung des Nacherhitzers aufgedeckt. Er hätte aber spätestens bei max. Kühlbedarf zum Ausfall der Klimaanlage geführt.

Der hier vorliegende Fehler bestand darin, daß man das Expansionsventil direkt in den kalten Luftstrom nach dem Luftkühler anordnete. Durch Wärmedämmung des Expansionsventils, d. h. durch eine relativ einfache und preiswerte Maßnahme wäre das Problem nicht aufgetreten. So mußten die zum Kunden ausgelieferten Systeme vollständig nachgearbeitet werden.

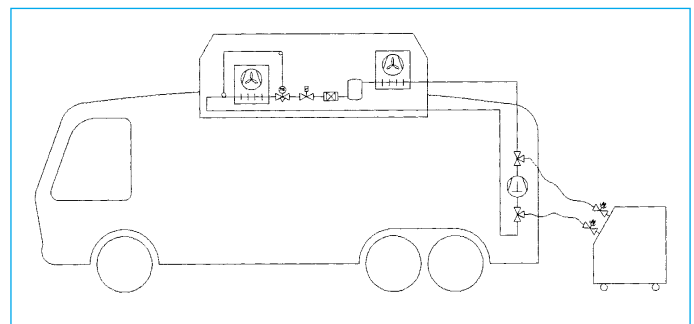
5. Evakuieren und Befüllen einer Aufdach-Klimaanlage für Omnibusse

Der Betreiber einer mobilen Kälteanlage beanstandete immer wieder die offensichtlich nicht korrekt durchgeführte Kältemittelbefüllung. Obwohl nach dem Einfüllen der vom Hersteller vorgeschriebenen Kältemittelfüllmenge meßtechnisch eine ausreichende Unterkühlung des Kältemittels vor dem Expansionsventil sichergestellt war, konnten Blasen am Schauglas in der Flüssigkeitsleitung beobachtet werden.

Bei der Untersuchung des Problems stellte sich zunächst einmal heraus, daß beim Absaugen des Kältemittels ein nicht zu unterschätzendes Risiko für den Servicemonteur existierte. Die Filtertrockner sollten einmal pro Jahr erneuert werden. Hierzu wurde mit Hilfe einer handelsüblichen Absaugstation das Kältemittel über die Serviceventile des Verdichters abgesaugt. Da das Öffnen des Magnetventils in der Flüssigkeitsleitung für den Servicefall nicht vorgesehen war, erfolgte die Absaugung des flüssigen Kältemittels aus dem Sammler durch den Eintrittsstutzen, d. h. von oben. Das flüssige Kältemittel mußte daher zunächst verdampfen, um es über den Eintrittsstutzen absaugen zu können. Hierdurch kühlte sich der Sammler und

dessen Umgebung immer weiter ab. Das erreichbare Vakuum der Absaugstation, die Strömungsverluste der langen Rohrleitungen und das in einigen Fällen zusätzlich eingebaute Rückschlagventil in der Heißgasleitung konnten ein vollständiges Absaugen des flüssigen Kältemittels nicht gewährleisten. Obwohl die Absaugstation das vollständige Absaugen des Kältemittels signalisierte, befand sich immer noch flüssiges Kältemittel im Sammler. Nachdem die Servicemonteur bei abgeschalteter Absaugstation die Abdeckhaube der Dachklimaanlage abmontiert hatten, war der Druck im Sammler inzwischen wieder angestiegen. Beim Trocknerwechsel be-

Bild 5 Schematische Darstellung einer mobilen Aufdach-Kälteanlage



stand daher die Gefahr, daß sich die Monteur durch das unter Druck stehende flüssige Kältemittel verletzen konnten.

Beim Evakuieren des Kältemittelkreislaufes wurde im Bereich des auf dem Dach installierten Sammlers nur ein Endvakuum – je nach Systemausführung – von ca. 200 bis 400 mbar erreicht. Da das von der Absaugstation angezeigte Endvakuum unmittelbar vor dem Eintritt der Vakuumpumpe gemessen wird, kann das im Kältemittelkreislauf herrschende Druckniveau überhaupt nicht beurteilt werden.

Da der Kältemittelkreislauf dieser Anlagen ein unverhältnismäßig großes Innenvolumen hatten, befand sich nach der

Kältemittelbefüllung noch sehr viel Restluft in der Anlage. Die Folge war ein erhöhter Verflüssigungsdruck und „Blasen“ im Schauglas. Da immer noch Blasen am Schauglas zu sehen waren, wurden fast alle Anlagen mit zusätzlichem Kältemittel überfüllt, was natürlich eine weitere Verschärfung der Hochdruckabschaltung zur Folge hatte.

In diesem Fall haben sich die Servicemonteur 100%ig auf die korrekte Arbeitsweise der automatischen Absaug- und Füllstation verlassen. Daß sich bei derart komplexen Rohrleitungssystemen nach dem Evakuieren unter Umständen noch größere Mengen an Restluft im Kreislauf befinden könnten, obwohl ein ausreichendes Vakuum angezeigt wurde, war den beteiligten Monteuren nicht klar. Das Problem „Restluft“ und „Absaugen des restlichen flüssigen Kältemittels“ konnte relativ einfach durch Anschließen eines zusätzlichen Schlauches zum Absaugen und Evakuieren an den Sammler gelöst werden.

Unangenehm war die Tatsache, daß eine größere Anzahl der schon ausgelieferten Systeme neu befüllt werden mußten. In diesem Fall war aufgrund der weit auseinander liegenden Aufstellungsorte pro Anlage ein Arbeitsaufwand von mehr als 1 1/2 bis 2 Tagen zu investieren.

6. Ungewöhnliche Verflüssigungsdrücke in einer Klimaanlage für Schienenfahrzeuge

Anlässlich einer Routinetestfahrt mit einem klimatisierten Zug fiel auf, daß beim Einfahren in die Bahnhöfe sehr häufig ungewöhnlich hohe Verflüssigungsdrücke auftraten. Die Klimaanlage war als typische Aufdach-Klimaanlage ausgeführt, wobei die klimatisierten Wagen durch eine E-Lok älteren Baujahres gezogen wurden. Im Verflüssiger konnten Druckanstiege bis zu 8 bar beobachtet werden, was in einigen Fällen eine Hochdruckabschaltung der Klimaanlage zur Folge haben konnte. Bei der Untersuchung der Ursache

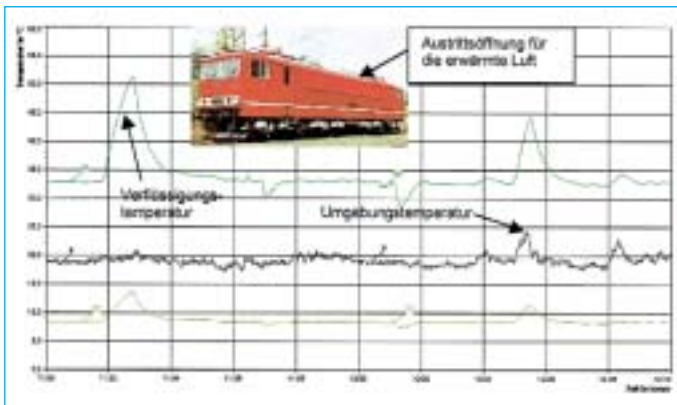


Bild 6 Druck- und Temperaturverlauf während der Routine-testfahrt mit einem Zug

stellte sich heraus, daß beim elektromotorischen Bremsvorgang bis zu 1 MW Bremsenergie in Form von Wärme von der Lok abgegeben wurde. Die aus der Lok strömende Luft beeinflusste die Lufttemperatur der nach der Lok angeordneten Fahrzeuge so ungünstig, daß die

Lufttemperatur am Eintritt in den Verflüssiger anstieg und es zu den beobachteten Druckanstiegen kommen mußte.

Der 4polige Verflüssigerventilator war bei Betrieb der Klimaanlage und während des Fahrbetriebes nicht hinreichend drehzahlstabil. In Verbindung mit der Tempe-

raturerhöhung am Verflüssigereintritt kam es aus diesem Grund zu den ungewöhnlichen Druckerhöhungen auf der Verflüssigerseite der Klimaanlage.

Durch Einsatz neuer drehzahlstabiler Verflüssigerventilatoren mit einer um 15 % erhöhten Drehzahl konnte das Problem soweit behoben werden, daß die verbleibenden Druckänderungen keine Abschaltung der Klimaanlage mehr zur Folge haben.

Schlußfolgerungen

Der in allen Bereichen vorherrschende Kostendruck wirkt sich nicht nur auf die zur Verfügung stehende Entwicklungszeit aus, auch bei der Fertigungsqualität sind die Auswirkungen deutlich zu spüren.

Das Service- und Wartungspersonal leistet in den meisten Fällen gute Arbeit, ist aber aufgrund fehlender Information oder Einweisung in die besondere Problematik der Systeme einfach überfordert. □