

Studie für das Umweltbundesamt

Förderkennzeichen 360 09 006

Emissionen des Kältemittels R 134a aus mobilen Klimaanlagen

Jährliche Emissionsraten von bis zu sieben Jahre alten Pkw-Klimaanlagen

von

Dr. Winfried Schwarz

Öko-Recherche
Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH
Frankfurt/Main

September 2001

Inhalt

Die Emissionsrate von bis zu sieben Jahre alten Autoklimaanlagen. Einleitung und Zusammenfassung	III
Zielsetzung der empirisch angelegten Studie	III
Die systembedingt hohen Kältemittelverluste	III
Überblick über die einzelnen Kapitel A bis G	IV
The annual emission rate of car air-conditioning systems during the use-phase. Introduction and Summary	VII
A. Die Datenbasis aus neun Kfz-Betrieben	1
I. Die Kältemittel-Nachweisblätter und Ergänzungen aus den Autohäusern	1
1. Kältemittel-Nachweise in Kfz-Betrieben auf freiwilliger Basis	1
2. Zeitraum und Qualität der betrieblichen Nachweisblätter für R-134a	1
3. Schwerpunkt der Fahrzeuge: Rhein-Main-Gebiet	2
4. Personenwagen von drei deutschen Automarken	2
5. Verwendete Servicegeräte	2
6. Erste Stufe der Mengenbereinigung der 1004 dokumentierten Fälle	3
7. Zweite Stufe der Mengenbereinigung der 841 verwertbaren Fälle	4
8. Weitere Informationen aus den Autohäusern und von Automobilherstellern	5
9. Monatsverteilung der Werkstatt-Termine mit Klimaanlageöffnung	5
B. Zuverlässigkeit der Nachweise und Genauigkeit der Servicegeräte	7
I. Absaugung und Befüllung mittels Servicegerät (vgl. Grafik)	7
1. Absaugen (2-5 Minuten)	7
2. Evakuieren (20-30 Minuten)	9
3. Befüllen (1-3 Minuten)	9
4. Leerung des Befüllschlauchs	9
II. Fehler der Mengenbestimmung, ihre Bedeutung und Korrektur	10
1. Abrundungen bei Messung nach Augenmaß auch bei elektronischem Wiegen	10
2. Der Rest im Schlauchsystem als Fehlerquelle der Befüllmenge	11
3. Temperaturdifferenzen zwischen Servicegerät und Klimaanlage bei Absaugung	12
4. Absaugung der Nachverdampfung vergessen	13
5. Unterlassene Eintragungen	13
III. Kältemittelverluste, soweit vom Service selbst verursacht	14
1. Befüllungsverluste	14
2. Kältemittelverluste bei der Lecksuche mit Kontrastmittel	14
C. Motive der Klimaanlage-Öffnung und Ursachen der entdeckten Kältemittelverluste	17
I. Behebung der Undichtigkeit: Hauptmotiv bei Kältemittel-Totalverlust	18
1. Leere Klimaanlage nach Unfall mit Karoserieschaden	19
2. Totalverlust durch Steinschlag oder irregulären Bauteildefekt	19
3. Totalverluste mit bloßer Neubefüllung ohne Reparatur	20
II. Anlagenöffnung bei Kältemittelverlust unter 40 %	21
1. Bauteildefekte, die selbst kein Kältemittel freisetzen	22
2. Klimaanlage als Hindernis für Motor- und Kühler-Reparatur	23
3. Unfallschadensfeststellung und Vorbereitung für den Karosseriebau	24
4. Dichtheitsprüfungen auf Initiative des Kunden oder der Werkstatt	24
III. Schlussfolgerungen für die Schätzmethode der Emissionsraten	25

D. Die Jahresrate der normalen Emissionen	27
I. Regulärer Kältemittelverlust intakter Klimaanlageanlagen.....	27
II. Alle 282 Emissionsraten < 40 % in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter.....	27
III. Statistische Bereinigung der Normal-Emissionsraten	29
1. Aus den Nachweisblättern als irregulär erkennbar: Sieben Fälle	29
2. Elimination der Ausreißer nach oben und unten: 59 Fälle	30
IV. Die bereinigte Jahresrate der Normalemissionen von 6,3 Prozent	32
V. Unterschiede der Normalemission bei den drei Automarken	33
VI. Die Vorgaben der Automobilhersteller für normalen Schwund	35
E. Die Jahresrate der irregulären Emissionen	37
I. Inspektionen als Bezugsgröße der irregulären Emissionsfälle.....	37
II. Eingrenzung der Inspektionen auf Fahrzeuge mit Klimaanlage.....	38
1. Modell der Altersstruktur der Jahresinspektionen	39
2. Klimatisierungsquoten der Inspektionszeiträume 1999, 2000 und 2001	40
3. Die Werkstatttrate der klimatisierten Fahrzeuge	41
III. Die Jahresrate der irregulären Emissionen	41
F. Die Jahresrate der Gesamt-Emissionen für maximal sieben Jahre alte Klimaanlagen	43
I. Die errechnete Emissionsrate von 8,2 Prozent	43
II. Fehlerspielräume der ermittelten Größen.....	44
1. Fehler in der Nachweisführung der Absaug- und Befüllvorgänge	44
2. Abweichungen zwischen den drei Automarken	45
III. Die Jahresraten der Emissionen mit Fehlerspielräumen	45
IV. Entsorgungsemissionen heben die Jahresrate auf zehn Prozent	46
G. Zur Frage der Emissionsminderung durch regelmäßige Anlageninspektion	47
I. Klimaanlageanlagen-Wartung erhöht Betriebssicherheit	47
II. Regel-Wartung grundsätzlich nicht emissionsmindernd.....	48
III. Teilweise Vorbeugung irregulärer Emissionen minimal	48
1. Zwei Beispiele möglicher Emissionsminderung durch Wartung	48
2. Innere Korrosion durch saures Kältemittel unwahrscheinlich	48
3. Detektion langsam wachsender kleiner Undichtigkeiten	49
4. Verhinderte und bei der Wartung entstehende Emissionen etwa gleich groß	50
Danksagung und Quellen-Nachweise	51
Bemerkung zu den ungenannten Quellen	51
Nachweise	51

Die Emissionsrate von bis zu sieben Jahre alten Autoklimaanlagen. Einleitung und Zusammenfassung

Das Klimaschutzprotokoll von Kyoto umfasst nicht nur die Treibhausgase CO₂, Methan und Distickstoffoxid, sondern auch die fluorierten Gase HFKW, FKW und SF₆. Innerhalb der fluorierten Treibhausgase sind die vorwiegend als FCKW-Ersatzstoffe genutzten HFKW mengenmäßig mit Abstand am bedeutendsten, und unter den HFKW wiederum ist der HFKW-134a mit ca. drei Viertel der Weltproduktion der wichtigste. Da der HFKW-134a vor allem als Kältemittel dient, wird er auch als R-134a bezeichnet, wobei R für das englische "Refrigerant" steht.

Zielsetzung der empirisch angelegten Studie

Der größte Anwendungssektor des R-134a sind in Deutschland mobile Klimaanlage. Im Rahmen dieser Studie wird versucht, die jährlichen Emissionen von R-134a aus mobilen Klimaanlage zu ermitteln, und zwar nicht durch Expertenschätzung oder Labormessung, sondern über eine empirisch-statistische Erhebung. Die Studie soll auch zur Beurteilung herangezogen werden können, inwieweit präventive Wartungs- und Inspektions-Maßnahmen zur Emissionsminderung beitragen können.

Aufgrund des Umstands, dass ca. 95 % von Kältemittel-Emissionen und -Verbrauch im Sektor "Mobile Klimaanlage" auf Pkw-Klimaanlagen entfallen (Öko-Recherche 1999, 17), konzentriert sich die Analyse auf diesen Bereich. Ausgangsmaterial sind die von Kfz-Betrieben geführten Nachweisblätter über die Absaug- und Befüllmengen von Kältemittel im Zuge der Öffnung des Kältekreislaufs einer Klimaanlage.

Die systembedingt hohen Kältemittelverluste

Anders als bei stationären Klimaanlage befindet sich der Kältemittelkreislauf bei Autoklimaanlagen, bedingt durch den Antrieb seines Verdichters durch die Motorkurbelwelle, in instabilem Zustand. Der Kompressor ist zwangsläufig offen. Seine Anbindung an den Motorblock erfordert eine schwingungsfreie Übertragung der Kälteleistung an die mit der Chassis verbundenen übrigen Bauteile des Kältekreislaufs. Das heißt: Flexible Schläuche sind nur begrenzt durch metallische Leitungen ersetzbar. Schläuche, O-Ringe an den Anschlüssen der Bauteile und die Wellendichtung des Verdichters gelten als Schwachstellen der Dichtheit (Fachgespräch Klimaanlage 2001), als wichtigste Austrittsstellen des normalen Kältemittelschwunds aus Anlagen ohne "irreguläre" Schäden.

Zwar ist allgemein anerkannt, dass die Emissionen von R-134a aus Autoklimaanlagen nicht so hoch wie die des teilweise noch bis 1994 neueingesetzten FCKW R-12 sind, als mit Verlusten bis zu drei Füllmengen pro Lebensdauer kalkuliert werden musste. Der Umgang mit dem Kältemittel ist sorgfältiger geworden. Und obwohl das Molekül des HFKW 134a kleiner als das des FCKW-12 ist, hat die zusätzliche Innen-Auskleidung der Schläuche mit Polyamid-Folie eine höhere Permeation verhindert. Nichtsdestoweniger gibt es zu den jährlichen Kältemittelverlusten aus Autoklimaanlagen weltweit nur Schätzungen, die ihrerseits von unter 5% bis über 20% reichen und auf Expertenurteilen oder, seltener, Labormessungen beruhen (vgl. u.a. Clodic 2000; AFCE

1998; Baker 1999; IPCC 1999; Preisegger 1999; Öko-Recherche 1999; UNEP 1998; Fischer 1997, Pettersen/Hafner 1996). Schätzungen auf Basis empirischer Messungen an realen Straßenfahrzeugen wurden bisher nicht präsentiert.

Überblick über die einzelnen Kapitel A bis G

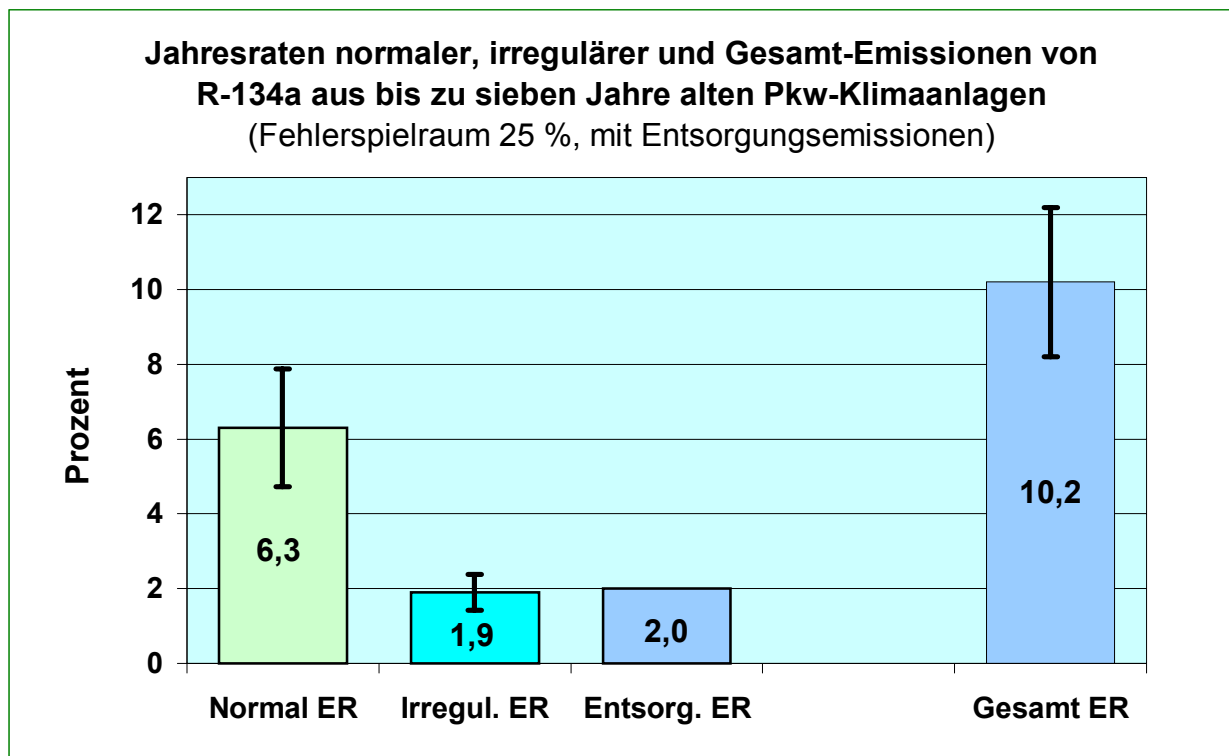
Im ersten Kapitel (A) wird die Datenbasis der Studie präsentiert, die aus etwa 1000 dokumentierten Absaug- und Befüllvorgängen besteht, die von neun Vertragswerkstätten dreier deutscher Automobilhersteller von 1999 bis Mai 2001 durchgeführt wurden.

Kapitel B befasst sich mit den Servicegeräten, um die Messgenauigkeit der Absaug- und Befüllmengen zu überprüfen sowie um Fehlerspielräume einzugrenzen und Korrekturfaktoren einzuführen.

In Kapitel C werden die bei den Anlagenöffnungen festgestellten Kältemittelverluste auf ihre Ursachen hin analysiert. Dabei zeigt sich, dass Totalverluste (ca. 40 % der Fälle) andere, meist von außen bewirkte, Ursachen haben als die ebenso viele Fälle bildenden Verluste unter 40 %. Ein Defizit von 40 % des Kältemittels, bezogen auf die Normfüllung, wird hier als Grenze angesehen, unterhalb derer die Klimaanlage gerade noch intakt ist (noch kein gasförmiges Kältemittel bzw. "Flashgas", sondern ausschließlich flüssiges vor dem Expansionsorgan) und grundsätzlich die gleiche Kühlwirkung wie eine volle Anlage erbringt. Kältemittelverluste unter 40 % sind, sofern sie nicht schon in der Anfangsphase der Anlagennutzung auftreten, in der Regel Ausdruck normalen Schwundes, nicht Folge irregulärer Ereignisse (Unfälle, Steinschlag u. dgl.), bei denen die Verluste fast immer höher ausfallen. Daraus leitet sich die für die Untersuchung grundlegende Unterscheidung der Emissionen in normale und irreguläre ab. Kältemittelverluste kleiner als 40 % sind Folge allmählichen Normalschwundes – insbesondere durch Dichtungen hindurch. Darüber hinaus gehende Verluste haben irreguläre Ursachen. Gewiss führt auch kontinuierlicher normaler Kältemittelaustritt irgendwann über 40 % Verlust hinaus. Fahrzeuge im Alter unter sechs/sieben Jahren, welche die Masse der vorliegenden Auswahl bilden, sollten diesen Zeitpunkt im allgemeinen noch nicht erreicht haben. Vorläufig werden festgestellte Kältemittelverluste unter 40 % mit normalem Kältemittelschwund gleichgesetzt.

Kapitel D fasst die aus unterschiedlichen Anlässen, aber nicht wegen Kältemittelmangel geöffneten Klimaanlageanlagen unter 40 % Verlust als - unbeabsichtigt durchgeführte - "Stichprobe" auf die Normalemissionen auf und stellt die Verlustfälle in Beziehung zum Fahrzeugalter in Monaten seit Erstzulassung. Zunächst ist kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Kältemittelverlustes und dem Fahrzeugalter ersichtlich, und zwar hauptsächlich wegen zahlreicher unerwartet hoher Kältemittelverluste in den ersten achtzehn Betriebsmonaten. Da hinter solchen Fällen nicht normale, sondern irreguläre Ursachen zu vermuten sind, werden sie aus der weiteren Betrachtung der Normalemissionen eliminiert. Nach der "Bereinigung" des Kältemittel-Verlustbereich unterhalb 40 % um diese Emissionsfälle zeigt sich bei den verbliebenen 216 Klimaanlageanlagen für die ersten sieben Nutzungsjahre ein mittlerer jährlicher Kältemittelverlust von 6,3 Prozent (52 Gramm) als Jahresrate der Normalemissionen. Diese schwankt je nach Automarke um ca. zehn Prozent nach oben oder unten: von 5,8 bis 7,0 %. Die durchschnittlich 52 Gramm Normalschwund liegen im Rahmen der von den Automobilherstellern gestatteten Toleranz von 34 bis 83 Gramm pro Klimaanlage.

Kapitel E: Während die normalen Emissionen aus den betrieblichen Nachweisen indirekt errechnet wurden, nämlich durch Übertragung des Emissionsverhaltens der wenigen in der Werkstatt geöffneten Klimaanlage auf die Gesamtheit der Pkw-Klimaanlagen unter sieben Jahre Nutzungszeit, werden die irregulären Emissionen direkt aus den betrieblichen Nachweisblättern ermittelt: Die Summe der in einem Jahr betrieblich festgestellten irregulären Kältemittelverluste in Kilogramm wird auf die Zahl der im gleichen Jahr im Kfz-Betrieb inspizierte klimatisierten Pkw bezogen. Über mehrere Zwischenschritte ergibt sich daraus für die von den neun Autohäusern regelmäßig betreuten Fahrzeuge im Zeitraum 1999 bis Mai 2001 ein jährlicher Verlust von ca. 1,9 % auf die in diesen Fahrzeugen mitgeführten Kältemittel. Die Spanne reicht je nach Automarke von 1,5 bis 2,2 %.



Kapitel F addiert die beiden Raten der Emissionen zu einer Jahresrate der Gesamtemissionen von 8,2 %, die sich je nach Automarke von 7,7 bis 9,2 % bewegt. Um dieser Schwankungsbreite zwischen den Automarken sowie den immanenten Messungenauigkeiten der Servicegeräte Rechnung zu tragen, wird der Fehlerspielraum um jene 8,2 % auf 25 % nach oben und unten ausgedehnt, so dass sich die Jahresrate der Gesamtemissionen zwischen 6,2 und 10,3 % bewegt. Die Größenordnung, nicht die exakte Höhe der Emissionsrate ist damit umschrieben. Dabei ist nicht aus den Augen zu verlieren, dass auch diese Aussagen nur auf Klimaanlagen unter sieben Jahren Lebensdauer bezogen werden dürfen und Entsorgungsemissionen noch nicht berücksichtigt sind. Die laufenden Gesamtemissionen von R-134a aus Pkw-Klimaanlagen sind für das Jahre 2000 auf den Bereich zwischen 685 und 1140 Tonnen einzugrenzen. Die Spannweite resultiert daraus, ob eine Emissionsrate von 6,2 % (Minimum) oder 10,3 % (Maximum) auf die in inländischen Pkw umlaufenden 11 500 Tonnen Kältemittel angelegt wird. Die 11 500 t wiederum ergeben sich aus folgenden Parameter: 13 Mio. klimatisierte Pkw (30 % Ausrüstungsquote des Gesamtbestands) und eine durchschnittliche R-134a-Füllung von 850 Gramm.

Jahresemissionsrate durch Entsorgungsverluste auf zehn Prozent erhöht

Um vor einem Missverständnis zu warnen: Eine jährliche Emissionsrate für die ersten sieben Lebensjahre ist grundsätzlich niedriger als eine jährliche Emissionsrate, die sich aus der gesamten Lebensdauer ergibt. Nicht nur wegen der von manchen Experten erwarteten alterungsbedingten Beschleunigung der normalen Anlagenundichtheit (was hier nicht quantifiziert wird), sondern vor allem wegen der Emissionen bei der Altautoverschrottung. Selbst bei der in den kommenden Jahren erwarteten Verbesserung der Kältemittel-Absaugung bei inländischen Altauto-Verwertern bleibt infolge der Gebrauchtwagen-Exporte ins Nicht-EU-Ausland in Höhe von 50 % (Arge Altauto 2000) die Rückgewinnung, bezogen auf einen ursprünglichen inländischen Zulassungs-Jahrgang, begrenzt. Die Verluste bei der jahrgangsweisen Entsorgung werden bis auf weiteres auf rund 25 % geschätzt, was auf 12 bis 13 Jahre Lebensdauer verteilt die Jahresrate der Gesamtemissionen um 2 % zusätzlich erhöht, so dass sie sich mittelfristig im Bereich von zehn Prozent bewegt.

Das Kapitel G fragt schließlich danach, ob regelmäßig durchgeführte Wartungen der Klimaanlage Kältemittel-Emission in die Umwelt vermindern könnten. Grundsätzlich gilt, dass präventive Prüfungen zwar die Zuverlässigkeit des Anlagenbetriebs erhöhen und auch zu Energieersparnis beitragen können, aber weder Entsorgungs-, noch irreguläre oder normale Emissionen des Kältemittels senken. Eine Wartungspflicht, allein um R-134a-Emissionen zu vermindern, wird daher nicht für sinnvoll erachtet.

The annual emission rate of car air-conditioning systems during the use-phase. Introduction and Summary

A Study on R-134a Losses from Car Air-Conditioning Systems

Different from stationary refrigeration and air conditioning, the refrigerant circuit in MAC systems for road vehicles is unstable mainly due to the specific conditions in a vehicle. Firstly, the compressor is driven by the engine and inevitably not hermetically closed. Secondly, all components and connecting lines are exposed to the vibrations of the engine and the heat developed by it. In addition, the pressure inside the A/C system is permanently high, not only in the running times of the engine (ca. 450 h/yr) or of the A/C unit (ca. 150 h/yr) but during the whole life time of the system. Losses of gaseous refrigerant are "normal" and generally accepted by car manufacturers within certain specified limits. Basically, there are three weak spots regarding the tightness of car A/C systems: 1. The rotating shaft seal of the compressor. 2. The flexible hoses between the components. 3. The O-rings sealing the component connections.

This study carried out on behalf of the Germany EPA (UBA) by Oeko-Recherche, Frankfurt, is the first attempt to find out rate and amount of refrigerant losses based on field data of a larger population of vehicles and not only by experts' estimations or laboratory based calculations. The data have been taken from the handwritten records of nine garages in the Rhein-Main and Nuernberg areas comprising more than thousand service processes of refrigerant charging by means of charging (recovery/recycling) stations. Three German car brands were covered over the periods 1999, 2000 and 5/2000-5/2001.

Chapter A presents and discusses the data base of the study consisting of about 1.000 recorded refrigerant charging processes carried out by nine garages of three different German car manufacturers from 1999 to 2001, May.

Chapter B deals with the recovery/charging stations in order to check the measure exactness of the quantities sucked out and filled in, as well as to limit the margins of error and to introduce correction factors.

In Chapter C the causes of the refrigerant losses detected on the opening of the A/C systems are analysed. Total losses (roughly 40 % of the cases) turn out to have other, mostly external, causes than losses below 40 % representing the same amount of overall cases. A refrigerant deficiency of 40 % in relation to the norm fill is considered as the upper limit within an A/C system just properly works (no gaseous refrigerant [flash gas] but only liquefied refrigerant in the line from receiver to expansion valve), and basically achieves the same cooling performance as a full system. Refrigerant losses below 40 %, unless occurring in the initial use phase of the A/C system, are principally results of normal bit by bit release, not of irregular events (accidents, stone hits etc) - the latter usually causing higher losses. From that is derived the basic distinction of this study between normal and irregular emissions. Refrigerant losses below 40 % represent normal release, especially through the seals and hoses. Losses over that limit are considered to have irregular causes. Admittedly, some time or other the normal refrigerant release will exceed a deficiency of 40 %, too. But vehicles younger than

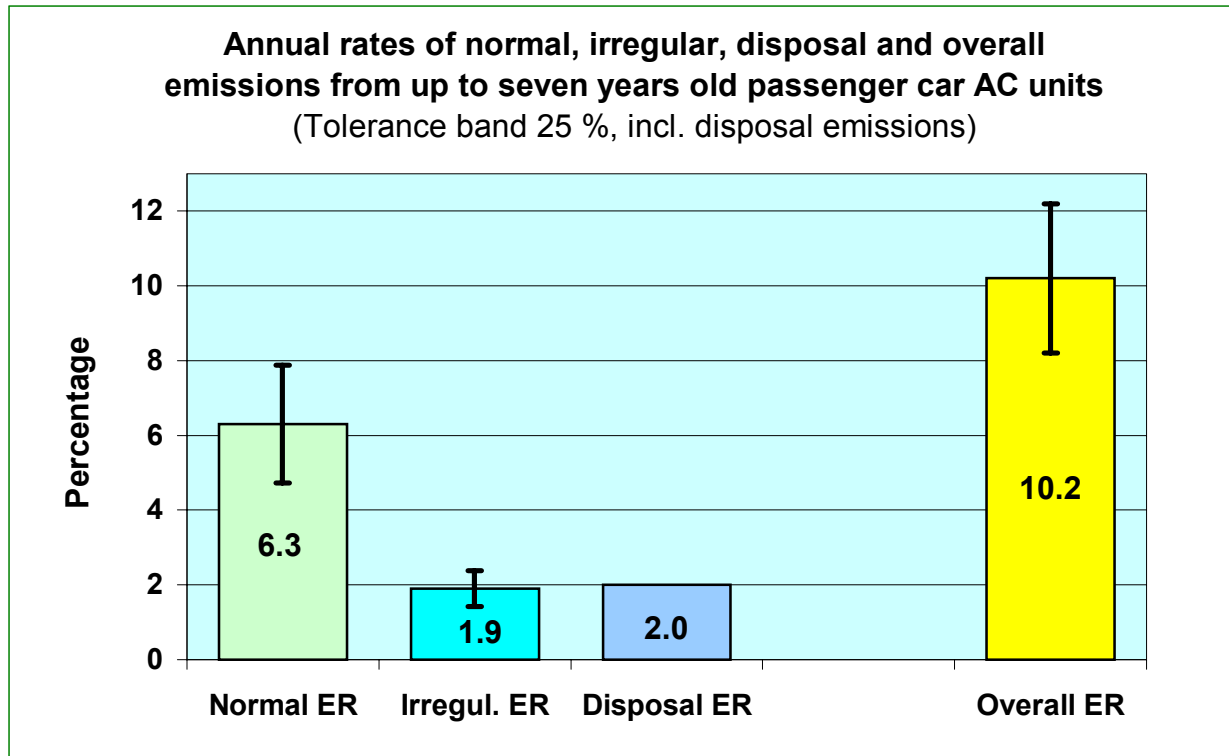
six/seven years, constituting the mass of the present sample, are not assumed to have reached that time up to now, already. Provisionally, refrigerant losses below 40 % found out and recorded by the garages are treated as equivalent to normal refrigerant release.

Chapter D takes the A/C systems with losses below 40 % having been opened by several reasons but not due to less refrigerant as an (unintentional) sample survey of the normal emissions, and relates these cases of small losses to the time in months gone by since the first registration of the vehicle. First there is no obvious connection between the amount of the refrigerant loss and the vehicle age, mainly due to numerous unexpectedly high losses during the first 18 operation months of the car. Because such cases of extraordinary high losses are assumed to have irregular instead of normal causes, they are excluded from the further consideration of the normal emissions. After filtering the sector of refrigerant losses below 40 % by removing these emission cases, the remaining 216 A/C systems (losses below 40 %) show an average annual refrigerant loss of 6.3 percent (52 grams) per year during the first seven operation years. This is the rate of normal emissions. The average emission rate varies among the car brand by roughly ten percent. The average normal loss of 52 grams per year does not go beyond the scope of the car manufacturers tolerance per A/C system of 34 - 83 grams.

Chapter E: The normal emissions are determined indirectly from the charging records of the garages by application of the emission behaviour of these A/C systems opened in the repair shops to the emission behaviour of the totality of the car A/C systems - up to seven years operating time. Compared with that the irregular emissions are found directly from the garage records. The total of the refrigerant losses detected and recorded in kilograms by a garage in the course of one year is related to the total number of A/C equipped cars inspected by this garage in the same year. Through several intermediate stages (e.g. A/C ratio of the regularly inspected cars by brand) it turns out that the air-conditioned cars regularly serviced by the nine garages, lost 1.9 percent/year of their refrigerant in an irregular way, in the period from 1999 to May 2001. Depending on the car brand this figure varies from 1.5 to 2.2 percent.

In chapter F total use phase emissions are discussed adding up to the annual rate of emissions of 8.2 percent, varying from 7.7 to 9.2 percent depending on the car brands. In order to take into account that deviations between the brands as well as the immanent measure imprecision of the charging stations, an uncertainty of 25 percent to that figure of 8.2 percent is provided. Consequently, the annual rate of the total refrigerant emissions from car air-conditioning systems is in the range from 6.2 to 10.3 percent. It should be pointed out, that even this statement applies to A/C systems up to seven years old, only. In addition, the emission estimates do not yet include the disposal emissions. Subsequently, the overall operating emissions of R-134a from passenger car air-conditioning systems in Germany figure between 685 (minimum) and 1140 (maximum) tonnes, in the year 2000 - corresponding emission rates of 6.2 % or 10.3 % related to the overall refrigerant stock in personal cars of 11.050 tonnes. The basic parameters of this estimation are: 13 million air-conditioned passenger cars (30 % of the total fleet) and 850 g average charge of the existing A/C units.

If the disposal emissions are taken into account and divided into the 12 or 13 single years of the A/C system service life, the - average - annual rate of refrigerant emissions will rise over ten percent because the suction extraction of refrigerant in scrapping is not expected to occur in more than a half of the cases for the next time.



The final [chapter G](#) elaborates on the question whether regular inspection and maintenance of car A/C systems prevent refrigerants from being released in the environment. Basically, preventative checks may increase the reliability and operation safety of the A/C system and furthermore drop the fuel consumption (as a result of cleaning condensers etc.). However, a reduction of (1) disposal, (2) irregular, or (3) normal refrigerant emissions does not seem possible via this route. A mandatory maintenance only to reduce direct R-134a emissions is not considered to be useful from the view point of this study.

A. Die Datenbasis aus neun Kfz-Betrieben

Der aktuelle Kältemittel-Füllstand einer R-134a-Klimaanlage ist nur durch Öffnung des Kältekreislaufs mittels Absaugung feststellbar. Die Prüfung der Drücke kann in Kombination mit Temperaturmessungen zwar indizieren, ob der Kältemittel-Füllstand für den Betrieb der Anlage noch ausreicht oder nicht. Die aktuelle Füllmenge ist dadurch aber nicht bestimmbar. Anders als R-12-Anlagen verfügen die Sammler auch nicht über ein Schauglas zur Schnelldiagnose. Zur Feststellung des Füllstands und damit der Füll Differenz muss das Kältemittel mittels Servicegerät vollständig abgesaugt werden.

I. Die Kältemittel-Nachweisblätter und Ergänzungen aus den Autohäusern

1. Kältemittel-Nachweise in Kfz-Betrieben auf freiwilliger Basis

Im Anschluss an ihre Aufzeichnungen der Einsatzmengen des FCKW-Kältemittels R-12 führen manche Kfz-Betriebe in Deutschland auch für das zwischen 1991 bis 1993 eingeführte Kältemittel R-134a die "Nachweisblätter über Einsatzmengen FCKW-haltiger Kältemittel bei der Wartung von Klimaanlagen" weiter. Nach Erfahrung des Autors trifft dies auf etwa jede zehnte fabrikatsgebundene Werkstatt bzw. Niederlassung zu. Die Hälfte davon trägt die am Servicegerät abgelesenen Absaug- und Befüllmengen für jede einzelne geöffnete Klimaanlage systematisch ein und archiviert die Listen sowohl als Dokumente der eigenen Tätigkeit am Fahrzeug (für Haftungszwecke) als auch als statistisches Instrument der internen Betriebsmittelverwaltung.

Ein so detaillierter Nachweis über den Kältemittelleinsatz ist gesetzlich nicht gefordert. Aus dem Umweltstatistikgesetz ergibt sich nur, dass der Gesamtverbrauch an Kältemittel (R 134a) des Vorjahres von Kfz-Betrieben nach Aufforderung dem jeweils zuständigen statistischen Landesamt zu melden ist. Der fahrzeugspezifische Kältemittelnachweis wird jedoch in der von den Verbänden VDA, ZDIK und ZDK im Winter 1996 herausgegebenen Standardbroschüre "Grundlage zur Sachkunde Fahrzeugklimaanlagen" den Kfz-Betrieben empfohlen.

2. Zeitraum und Qualität der betrieblichen Nachweisblätter für R-134a

Zwischen April und Juli 2001 konnten von neun fabrikatsgebundenen Autohäusern (Vertragswerkstatt/Niederlassung) dreier verschiedener deutscher Automarken brauchbare "Nachweisblätter über Kältemittel-Einsatzmengen" kopiert und in den Rechner übertragen werden. Brauchbar waren sie, wenn sie mindestens ein vollständiges Aufzeichnungsjahr umfassten (das Kalenderjahr 2000 oder den Zeitraum Mai 2000-Mai 2001) und grundsätzlich die nachfolgenden Daten enthielten:

1. Datum des Werkstatt-Termins
2. Kennzeichen des Fahrzeugs (alternativ Auftragsnummer)
3. Abgesaugte Kältemittelmenge
4. Befüllte Kältemittelmenge
5. Füll Differenz
6. Bemerkung (Stichwort) über den Anlass des Vorgangs

7. Verwendetes Servicegerät.

Die Zeile mit der Bemerkung über den Anlass der Absaugung/Befüllung war in der einen Hälfte der Fälle leer oder unzureichend eindeutig ("undicht"), aber in der anderen Hälfte der Fälle ausreichend konkret ("Unfall, Kondensator ersetzt").

Fünf der neun Autohäuser verfügten auch über den Jahrgang 1999, davon drei zusätzlich über den Zeitraum Mai 1998 bis Ende 1998, eines sogar über den ganzen Zeitraum März 1997 bis Mai 2001. Vollständige Jahrgänge 1999 wurden ebenfalls bearbeitet. Lückenhafte Jahrgänge 1999 und die Teiljahrgänge 1998 bzw. 1997 wurden zu Kontrollzwecken in den Rechner aufgenommen.

Aufzeichnungen für das Kältemittel R-134 älter als 1997 waren dem Autor nicht zugänglich (Ausnahme ein sehr lückenhaft dokumentierter Jahrgang 1996).

Autohäuser vermerken generell im Falle einer Klimaanlage-Absaugung und -Befüllung auf der Rechnung für den Kunden bzw. - im Falle der Garantiezeit - für das Automobilwerk das Kältemittel. Unabhängig von der noch abgesaugten Menge wird jedoch pauschal eine ganze Anlagenfüllung notiert, was angesichts der durchgeführten Kältemittel-Reinigung im Zuge der Klimaanlageöffnung angemessen ist. Allerdings scheiden aus diesem Grund Kundenrechnungen als Datenbasis für diese Studie aus.

3. Schwerpunkt der Fahrzeuge: Rhein-Main-Gebiet

Von den berichtenden Autohäuser liegen sieben im Rhein-Main-Gebiet und zwei im Raum Nürnberg. Dementsprechend sind etwa 80% der dokumentierten Fahrzeuge mit gewarteter Klimaanlage im Rhein-Main-Gebiet (Schwerpunkt Frankfurt am Main) gemeldet, 15 % in Nürnberg und Umgebung, und etwa 5 % tragen ein Kennzeichen außerhalb dieser beiden Regionen.

4. Personenwagen von drei deutschen Automarken

Die drei von den 9 Autohäusern betreuten deutschen Automarken verfügten im Jahr 2000 zusammen über einen Marktanteil an den inländischen Personenwagen-Neuzulassungen von ca. 40 % (KBA 2001). Ihr Anteil bei der Zulassung werkseitig klimatisierter Neufahrzeuge lag etwas höher: nach meinen Schätzungen bei knapp 50%. Grund ist die traditionell höhere Klimaanlage-Ausrüstungsrate bei inländischen gegenüber Importmarken, die ihrerseits ein Drittel der Neuzulassungen bilden.

5. Verwendete Servicegeräte

Die zur Absaugung und Befüllung verwendeten Servicegeräte stammen alle aus dem Zeitraum 1991 bis 1996, sind also nicht modernster Bauart. Es sind vier Typen:

SECUmat 134 der Fa. Behr: Fünf Geräte in fünf Autohäusern.

FAST 2000 der Fa. Fischer: Vier Geräte in zwei Autohäusern.

RHS 850 von Waeco-A´Gramkow :Ein Gerät in einem Autohaus.

Robinair Vacuumaster von Robinair: Ein Gerät in einem Autohaus.

In einem Autohaus wird seit Mai 2001 statt des SECUMat 134a ein Beissbarth MAC 26 verwendet, der aber für die Nachweisblätter noch nicht zum Einsatz gekommen ist.

6. Erste Stufe der Mengenbereinigung der 1004 dokumentierten Fälle

Gesamtzahl der Eintragungen 1999 bis 2001: 1004

Die Zahl der Eintragungen in den Nachweisblättern beträgt für volle Jahrgänge 1999, 2000 und 2000/2001 insgesamt 1004 Stück. Aus der Zeit davor gibt es weitere 209 Eintragungen, die zur Kontrolle dienten, ob ein Fahrzeug schon einmal eine Klimaanlageöffnung hatte, und wenn ja, welcher Art.¹

Die 1004 grundsätzlich verwertbaren Eintragungen über Klimaanlageöffnungen aus den Jahren 1999 bis 2001 verteilten sich ungefähr gleichmäßig auf die drei verschiedenen Automarken: Marke 1: 253, Marke 2: 317, Marke 3: 434.

Verschiedene Klimaanlagen nach Abzug von Mehrfacheintragungen: 932

Von den 1004 Eintragungen kann anhand des Kennzeichens festgestellt werden, welche Fahrzeugklimaanlagen im Verlaufe eines oder mehrerer Jahre mehrfach geöffnet wurden². Insgesamt gibt es 72 Zweiteintragungen, so dass sich die Zahl der 1999-2001 effektiv geöffneten verschiedenen Klimaanlagen auf 932 vermindert.

Werkseitige R-134a-Anlagen - ohne R-12-Umrüstungen: 875

In der Regel trugen die Monteure eine Umrüstung von R-12 auf R-134a ausdrücklich als solche ein. (Die Liste der Altfahrzeuge, d.h. der Fahrzeuge ohne ursprüngliche werkseitige R-134a-Klimaanlage, wurde später anhand des Erstzulassungsdatums und des Fahrzeugtyps vervollständigt). Vermindert um die insgesamt 57 Anlagenöffnungen wegen Umrüstung sowie tw. Nachrüstung, die von Anfang 1999 bis Mitte 2001 durchgeführt wurden, beträgt die Zahl der in den Nachweisblättern 1999-2001 dokumentierten verschiedenen Fahrzeuge mit werkseitiger R-134a-Klimaanlage insgesamt 875 Stück. (Marke 1: 216, Marke 2: 284, Marke 3: 375).

Werkseitige R-134a-Anlagen ohne Nutzfahrzeuge: 841

In einem Autohaus wurden auch Klimaanlagen von Nutzfahrzeugen geöffnet und dokumentiert. Diese insgesamt 34 Fälle konnten identifiziert und ausgeschlossen werden. Damit beträgt die Gesamtzahl der reinen Pkw-Klimaanlagen 841 Stück.

¹ Weitere 337 Eintragungen, die das ganze Jahr 2000 bei einem weiteren (zehnten) Autohaus eines vierten deutschen Herstellers dokumentierten, konnten nur sehr begrenzt genutzt werden, da bei ausnahmslos jedem Fahrzeug für das Kältemittel (Absaugung/Befüllung) pauschal "1000 g" stand.

² Oft handelte es sich um Unfälle, vor deren Karosserie-Reparatur das Kältemittel nur abgesaugt, und nach deren Reparatur es (Tage später) nur eingefüllt wurde. Die zwei Eintragungen betrafen einen und den selben Schaden. Mitunter wurde eine Anlage beim ersten Termin unter Zugabe von Kontrastmittel aufgefüllt, ohne die Undichtigkeit zu beseitigen, was erst beim zweiten Termin dank des Kontrastmittels gelang. Auch hier finden sich zwei Einträge für einen und den selben Fall.

Durchschnittliche Füllmengen und Verluste der 841 Pkw-Klimaanlagen:

Die durchschnittliche Füllmenge aller (841) Klimaanlageanlagen beträgt 856 Gramm. Zwischen den einzelnen Marken existieren Unterschiede bis zu 30 %: Marke 1: 734 g; Marke 2: 857 g; Marke 3: 932 g.

Als durchschnittlicher Kältemittelverlust pro geöffneter Klimaanlageanlage wurden 546 Gramm oder 64 % der Füllmenge festgestellt. Auch hier gibt es zwischen den Marken Differenzen. Marke 1: 54%, Marke 2: 70%, Marke 3: 64%.

Der gesamte Kältemittel-Verlust der 841 Anlagen beträgt 459,2 Kilogramm.

7. Zweite Stufe der Mengenbereinigung der 841 verwertbaren Fälle

Für bestimmte Untersuchungen in vorliegender Studie, vor allem für die Ermittlung der sog. Normalemissionen, ist u.a. das Fahrzeugalter bis zum Werkstatt-Termin von entscheidender Bedeutung, das in den Nachweisblättern aber nicht enthalten ist.

In einem zweiten Arbeitsschritt wurden die neun Autohäuser über ihre Kundendienst- bzw. Serviceleiter oder auch Umweltbeauftragte ersucht, zu jedem anhand des Werkstattdatums und des Autokennzeichens identifizierbaren Fahrzeug drei weitere Merkmale aus den gespeicherten betrieblichen Unterlagen zu ermitteln:

1. Fahrzeugtyp
2. Datum der Erstzulassung
3. Kilometerstand beim Werkstattbesuch.

Allen neun Autohäusern danke ich sehr, dass sie diese zeitaufwendige Arbeit durchführten, manche für einen Jahrgang, manche aber auch für drei. Darüber hinaus standen aus jedem Autohaus die Kältemonteur/Elektromeister für Nachfragen und fachliche Informationen geduldig zur Verfügung.

Von 841 Fahrzeugen "voll identifiziert": 678

Von den 841 verschiedenen Personenwagen mit werkseitiger R-134a-Klimaanlage waren 102 nicht mehr zu identifizieren, hauptsächlich weil sie aus den betrieblichen Unterlagen gelöscht worden waren. Löschungen erfolgen in der Regel im Zusammenhang mit Besitzumschreibungen, d.h. nach Verkauf des Fahrzeugs durch den Kunden und entsprechendem Wechsel des Kennzeichens. Löschungen wegen Demontage spielen bislang nur eine untergeordnete Rolle.

Für weitere 61 Fahrzeuge (alle aus dem Aufzeichnungsjahrgang 1999 und durchweg mit Kältemittel-Totalverlusten) verzichtete ich auf eine weitere Identifizierung seitens des entsprechenden Autohauses, da der zusätzliche Erkenntnisgewinn für die Zwecke der Studie gering, der betriebliche Suchaufwand aber sehr groß gewesen wäre.

Damit stehen der Studie 678 vollständig identifizierte Fahrzeuge mit Klimaanlageöffnung 1999-2001 zur Verfügung: 188 von Marke 1, 252 von Marke 2 und 238 von Marke 3. (Darüber hinaus noch weitere 50 aus den Jahren 1998).

Die Emissionsrate der 678 "voll identifizierten" Pkw weicht mit 62,5 % gegenüber 64 % bei den oben angeführten 841 Fahrzeugen geringfügig nach unten hin ab. Auch die Füllmengen der 678 Anlagen sind etwas geringer: im Mittel 848 statt 856 Gramm.

Durchschnittliches Fahrzeugalter bei erster Klimaanlage-Öffnung: 34 Monate

Das Fahrzeugalter beim, soweit überschaubar, ersten Werkstattbesuch mit Klimaanlage-Öffnung beträgt 34 Monate. Es sind 32 Monate bei Marke 1, 31 Monate bei Marke 2 und 38 Monate bei Marke 3. Das höhere Alter bei der Marke 3 ist auffällig. Auch beim Kilometerstand liegt diese Marke deutlich über den anderen.

Durchschnittliche Fahrleistung bei erster Klimaanlage-Öffnung: 74.400 km

Die durchschnittliche Fahrleistung beim ersten Werkstattbesuch mit Klimaanlage-Öffnung beträgt 74.400 km. Die Marke 1 liegt mit 71.000 km knapp, die Marke 2 mit 60.200 km deutlich darunter. Marke 3 liegt dagegen mit 92.300 km deutlich darüber.

8. Weitere Informationen aus den Autohäusern und von Automobilherstellern

Für bestimmte Untersuchungen (des "irregulären", schadensbedingten, Anteils an der Kältemittel-Emissionsrate) lieferten die Autohäuser weitere Daten wie die Zahl ihrer jährlichen Fahrzeugdurchläufe und Inspektionen. Von den deutschen Automobilherstellern bekam ich außer Listen mit fahrzeugspezifischen Normfüllmengen der Klimaanlagen auch die typenspezifischen Klimaanlage-Ausrüstungsraten der im Inland jährlich abgesetzten Pkw seit 1992. Diese zusätzlichen Daten werden im Kapitel E dieser Studie, wo sie verwendet werden, ausdrücklich benannt, so dass in diesem Kapitel nicht näher auf sie eingegangen werden muss.

9. Monatsverteilung der Werkstatt-Termine mit Klimaanlageöffnung

Es gibt einen für die Messgenauigkeit der Kältemittel-Emissionsrate wichtigen Sachverhalt, der in diesem Eingangskapitel dargestellt werden soll, zumal er sich bereits aus den noch nicht bereinigten betrieblichen Nachweisblättern ergibt, sofern sie nur mindestens einen ganzen Zwölfmonatszeitraum abdecken. Gemeint ist die aufgrund des eingetragenen Werkstattdatums mögliche Aufgliederung der Klimaanlageöffnungen nach dem Zeitpunkt (Monat) innerhalb eines Kalenderjahres.

In Diagramm 1 wird eine signifikante Konzentration auf die warme Jahreszeit (Mai bis August) sichtbar und eine deutliche Unterrepräsentanz der kälteren Monate Oktober bis April. Im Mai finden fast 25 % aller Klimaanlageöffnungen statt, nach nur 6 % im April.

Diese ungleiche Verteilung ist mit Sicherheit nicht Ausdruck eines so viel häufigeren Eintretens von Defekten der Klimaanlage ab Mai, sondern eher Ausdruck der in der warmen Jahreszeit häufigeren Wahrnehmung des Defektes. Selbst wenn dieser in der kalten Jahreszeit wahrgenommen wurde, stört er offensichtlich erst, wenn in der warmen Jahreszeit die Kühlung verlangt wird.

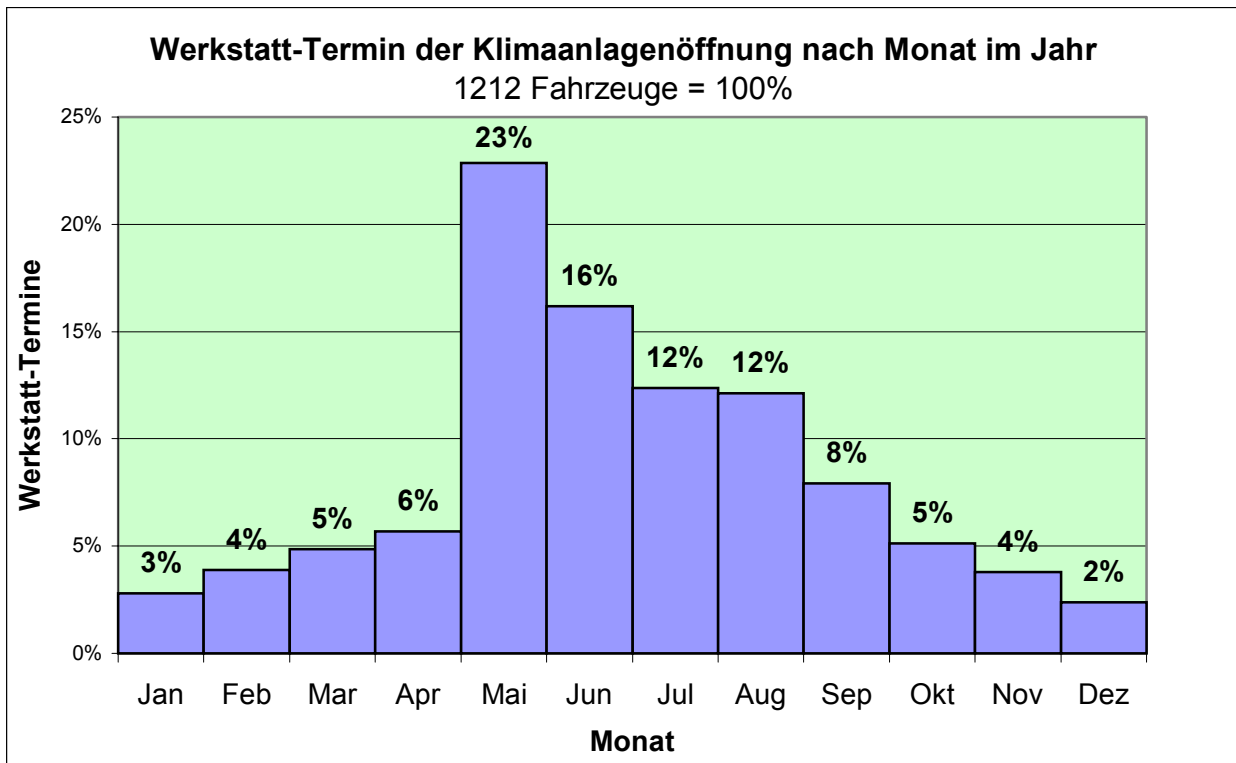


Diagramm 1: Werkstatt-Termine mit Klimaanlageöffnung nach Monat im Kalenderjahr. Basis: 1212 Eintragungen aus zehn Autohäusern. In der Darstellung wird eine signifikante Häufung der Monate der warmen Jahreszeit (Mai bis August) sichtbar und eine deutliche Unterrepräsentanz der kälteren Monate Oktober bis April. (Für diese Aufstellung konnten auch die Daten des zehnten Autohauses (vierte Automarke) herangezogen werden.)

Das bedeutet für die Emissionsraten-Bestimmung: Der Zeitpunkt des Emissionsfalls und der Zeitpunkt seiner Prüfung und Behebung in der Werkstatt fallen zeitlich nicht zusammen. Es können mehrere Monate Differenz zwischen dem Kältemittelverlust und seiner Eintragung ins Nachweisblatt bestehen. Da nachfolgend das Fahrzeugalter als Zeitraum zwischen Erstzulassung und dokumentiertem Werkstattbesuch (eingetragenes Datum im Nachweisblatt) bestimmt wird, kommt es zu einer systematischen Überzeichnung. Nicht nur, was normal ist, wegen des notwendigen Anmeldezeitraums für einen Werkstatt-Termin. Sondern viel länger dürfte der zeitliche Abstand zwischen Eintritt des Kältemittelverlustes und seiner Feststellung in der Werkstatt sein. Es ist klar, dass ich in keinem Einzelfall diese Altersüberzeichnung korrigieren kann.

Es gilt daher in Rechnung zu stellen, dass das dokumentierte Fahrzeugalter systematisch, nach meiner Schätzung um zwei bis drei Monate, überzeichnet ist.

B. Zuverlässigkeit der Nachweise und Genauigkeit der Servicegeräte

Für vorliegende Studie spielen die von den Monteuren in den Nachweisblättern verzeichneten Kältemittelmengen, die mit dem Servicegerät abgesaugt und befüllt werden, eine Schlüsselrolle. Umso wichtiger ist das Wissen um ihre Zuverlässigkeit, d.h. wie nahe die Eintragungen der Monteure an den realen Mengen sind bzw. sein können. Objektive Faktoren wie technische Eigenschaften der Servicegeräte und subjektive Faktoren wie Bedienungs- und Ableseprecision der Monteure sind dabei oft nicht voneinander zu trennen. Nachfolgend wird daher der

- Absaug- und Befüllvorgang eines typischen Servicegeräts (Orientierung am SECUMat 134 der Fa. Behr) in seinen vier Hauptphasen anhand einer Grafik erläutert. Auf dieser Grundlage werden die wichtigsten
- Fehler der Mengenbestimmung, ihre Bedeutung und ihre Korrekturmöglichkeiten innerhalb der Studie erörtert. Den Abschluss bilden Abschätzungen der
- Kältemittelverluste, soweit sie vom Service selbst verursacht sind.

I. Absaugung und Befüllung mittels Servicegerät (vgl. Grafik)

Es wird empfohlen, für das Verständnis der einzelnen Etappen des Absaug- und Befüllvorgangs die grafische Darstellung auf der nächsten Seite heranzuziehen.

1. Absaugen (2-5 Minuten)

Die Serviceanschlüsse der Klimaanlage (Ausschnitt rechts unten) befinden sich im Fahrzeug niederdruckseitig vor dem Kompressor (graue 1) und hochdruckseitig (graue 2) vor dem Expansionsorgan - oft auf dem Trockner. Niederdruckschlauch (1) und Hochdruckschlauch (2) des Absauggeräts werden an die Serviceanschlüsse angekuppelt. Die manuelle Drehung des Absperrhahns der aufgesetzten Schnellkupplung öffnet diese Ventile. An den Manometern (5) werden Niederdruck (Saugdruck) und Hochdruck (Verflüssigungsdruck) der Anlage angezeigt. Beide Betriebspunkte, bei leistungsgeregelten Verdichtern nur der Hochdruck (weil der Niederdruck unverändert bei 2 bar bleibt), erlauben erste Schlüsse auf den Anlagenzustand.

Die zwei Schläuche sind über Ventilhähne (3 und 4) miteinander verbunden, so dass das Kältemittel in einer einzigen Hauptleitung ins Innere des Servicegeräts gelangt (Manometerbatterie und Hauptleitung sind üblicherweise im Geräteinneren, nur die Serviceschläuche sind außen angeschlossen). Das Kältemittel wird vom Kompressor (K) angesaugt und strömt über den Abscheider (6), der mitgerissenes Kälteöl zurückhält. Spätestens dort ist alles Kältemittel unter Wärmeaufnahme gasförmig, so dass es den Kompressor nicht durch Flüssigkeit schädigt. Das verdichtete gasförmige Kältemittel wird im Kondensator (7) gekühlt und wieder verflüssigt. Es strömt durch den Filtertrockner (8) hindurch in den Sammelbehälter (9).

Nach der ersten Absaugung (ca. 2 Minuten) können innerhalb der Klimaanlage noch Kältemittel im Umfang von 10 bis 20 Gramm nachdampfen, etwa im Öl gelöstes oder

auch weiteres flüssiges Kältemittel - z.B. aus dem Trockner. Die Nachdampfung führt zu einem Druckanstieg in der Anlage auf über 0,6 bar, was bei Automatikbetrieb eine erneute Kompressor-Absaugung auslöst. Bei manuellem Betrieb muss der Monteur die Absaugung der Nachdampfung nach einer Wartepause selber einschalten.

Die Klimaanlage wird für Reparaturarbeiten geöffnet. Alternativ läuft vorher das interne Kältemittel-Reinigungsprogramm ab: vom Kompressor bewegter Kreislauf Sammelbehälter (9) - Abscheider (6) - Kondensator (7) - Filtertrockner (8) - Sammelbehälter (9).

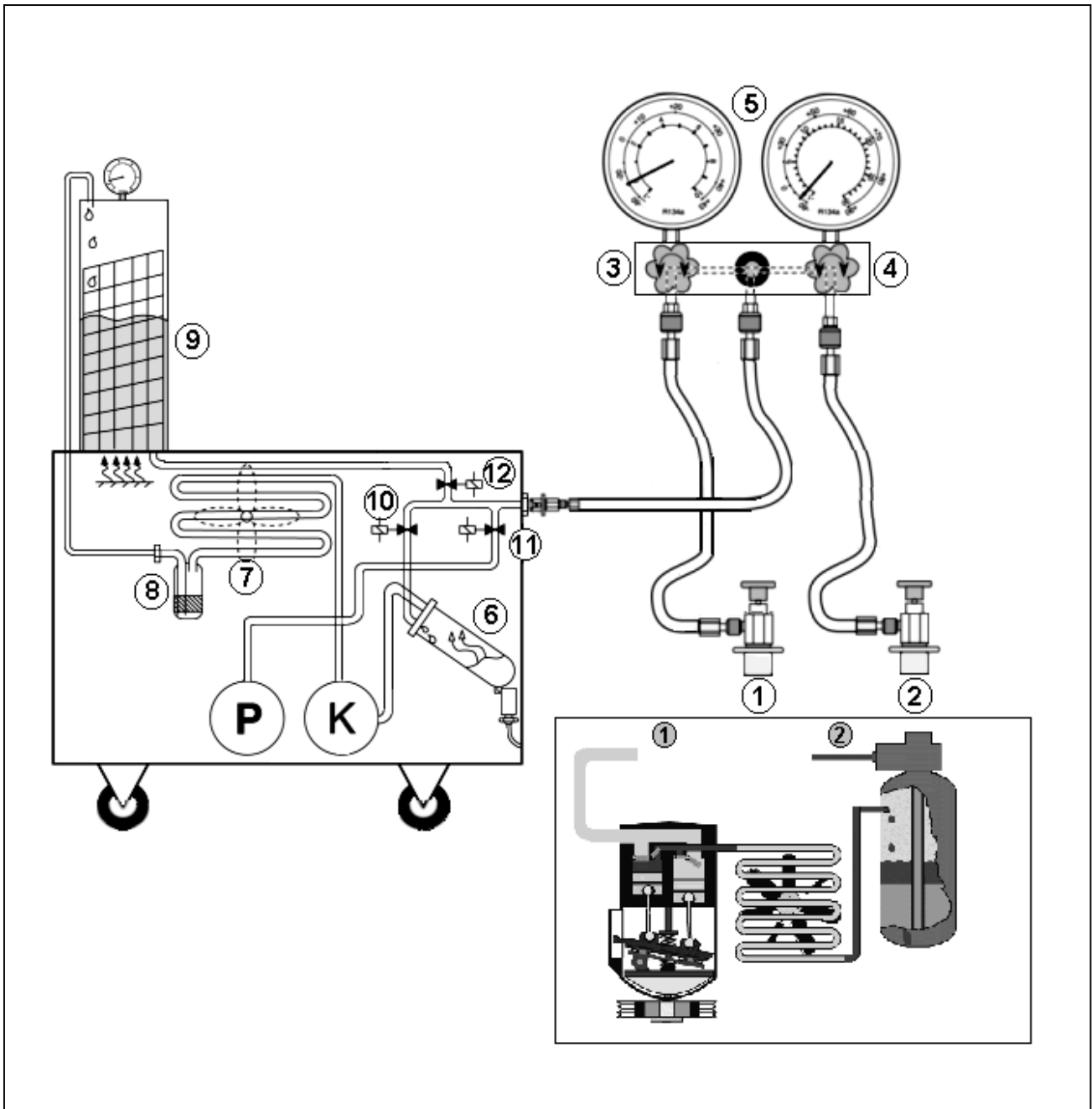


Abb. 1: Typisches Servicegerät zum Absaugen und Befüllen von Pkw-Klimaanlagen. Erläuterung: (1) Anschluss des ND-Schlauchs. (2) Anschluss der HD-Schlauchs. (3) und (4) Ventilhähne. (5) Manometeranzeigen. (6) Ölabscheider. (7) Kondensator. (8) Filtertrockner. (9) Vorratsbehälter. (10), (11), (12) Magnetventile. P = Vakuumpumpe. K = Kompressor. Rechts unten: Kompressor, Kondensator und Filtertrockner der Pkw-Klimaanlage. Graue (1) und (2): Serviceanschlüsse der Klimaanlage niederdruckseitig und hochdruckseitig. (Bildquelle: DaimlerChrysler 2001- modifiziert).

2. Evakuieren (20-30 Minuten)

Die Schläuche des Servicegeräts sind an der Klimaanlage angeschlossen. Durch Schließen des einen Magnetventils (10) und Öffnung des anderen (11) innerhalb des Servicegeräts wird die Leitung zur Vakuumpumpe (P) freigeschaltet. Die Pumpe saugt die Luft und andere nichtkondensierbare Gase aus der Anlage ab. Durch das dabei allmählich entstehende Vakuum wird evtl. vorhandene Feuchtigkeit zum Sieden gebracht und abgesaugt. Die Abluft wird in die Atmosphäre geblasen. Zugleich entsteht in der Anlage Unterdruck als Voraussetzung der Befüllung.

Die Dichtheitsprüfung mittels Vakuum (Vakuumcheck) besteht darin, dass die Anlage nach Abschalten der Vakuumpumpe mindestens 5 Minuten lang keinen Druckanstieg verzeichnet, der an den Manometer-Anzeigen (5) ablesbar wäre.

3. Befüllen (1-3 Minuten)

Niederdruckseite (1) und Hochdruckseite (2) der Klimaanlage sind an das Befüllgerät angeschlossen. Vor dem Befüllen wird der Ventilhahn (3) der ND-Seite verschlossen, da flüssiges Kältemittel nicht vor den Kompressor einströmen darf. Der Ventilhahn (4) der HD-Seite bleibt offen. Um den Kältekreislauf mit genügend Kältemittel zu befüllen, wird das Kältemittel im Vorratsbehälter der Befüllstation mit einer Heizung auf 25 bis 30°C erwärmt und damit der Druck im Vorratsbehälter auf ca. 7 bar erhöht.

Solange das Befüllventil (12) geöffnet ist, strömt flüssiges Kältemittel auf der HD-Seite in die Anlage ein. Im Maße des Abflusses aus dem transparenten Vorratsbehälter (9) sinkt dessen Füllpegel, so dass die Kältemittelabgabe anhand der in 50-Gramm-Intervallen umlaufenden Messlinien (die Volumen in Gewicht umgerechnet darstellen und die temperaturbedingte Ausdehnung berücksichtigen) visuell mitverfolgt werden kann.

Anstelle der Druckmethode befüllen manche Geräte mit einer zusätzlichen elektrischen Befüllpumpe (dies ist bei großen Füllmengen zwingend notwendig). Einige alte und alle neueren Geräte erlauben grammgenu ablesbare Füllmengen, da sie statt Sichtkontrolle eine elektronische Waage für die Vorratsflasche einsetzen.

4. Leerung des Befüllschlauchs

Im Zuge des Befüllvorgangs steigt der Druck in der Klimaanlage an und verhindert so eine völlige Kältemittel-Entleerung des Schlauches und der Manometerarmaturen. Bei der Abnahme vom Serviceanschluss wird die Schnellkupplung des Schlauchs automatisch verriegelt, so dass einerseits Kältemittelverluste aus dem unvollständig geleerten Schlauch und andererseits Eindringen von Luft und Feuchtigkeit in den Füllschlauch verhindert werden. (Nur eine auf 1 bis 3 Gramm geschätzte Kältemittelmenge zwischen Serviceventil und Innenraum der Schlauch-Schnellkupplung dampft zischend ab.)

Durch erneutes Anschalten des Kompressors wird der Schlauch leergesaugt. Abhängig von Schlauchlänge sowie Innentemperatur der Klimaanlage beträgt der nicht entleerte Kältemittelrest bis zu 50 Gramm. Seine Entleerung geschieht auch aus Gründen des Arbeitsschutzes. Denn auch das sicherste Verschlusssystem kann beim manuellen Ankuppeln des vollen Schlauches (bei der nächsten Absaugung) eine kleine Kältemittelverpuffung nicht ausschließen, die das Risiko örtlicher Erfrierungen in sich birgt.

II. Fehler der Mengenbestimmung, ihre Bedeutung und Korrektur

1. Abrundungen bei Messung nach Augenmaß auch bei elektronischem Wiegen

Alle neueren und einige Geräte älterer Baujahre (1990-1995) haben zur Mengenbestimmung für Absaugung und Befüllung eine elektronische Waage für den Vorratsbehälter, dessen Gewichtsveränderung digital und damit grammgenau angezeigt wird. Über solche Geräte verfügen drei der neun Autohäuser dieser Auswahl: zwei nutzen den FAST 2000 (Baujahre 1990 bis 1994) und eines den Robinair Vacuumaster (Baujahr 1996). Beim FAST 2000 muss der Monteur die Absaugung als Vorher-Nachher-Differenz des Flaschengewichts selbst ausrechnen (etwa 5329 gegen 4803 Gramm). Das Robinair-Gerät zeigt die Absaugmenge absolut, weil gegen Null an. Bei der Befüllung, die als der wichtigere Vorgang betrachtet wird, kann der Monteur bei allen drei Geräten die gewünschte Einzeldosis grammgenau eingeben, etwa 1000 Gramm, und diese wird, ergänzt um den kompensatorischen Überschuss, exakt aus der Vorratsflasche abgelassen.

Bei dem noch am meisten verbreiteten, oben beschriebenen, Gerätetyp (SECUMat 134 oder auch Waeco RHS 850) ist der Vorratsbehälter zugleich (transparenter) Messzylinder. Für Absaugung und Befüllung ist der Monteur auf die Messlinien angewiesen, welche den Zylinder in 50-Gramm-Intervallen umlaufen. Die Befüllmenge ist nicht gegen Null ablesbar, sondern wie die Absaugmenge als Differenz zwischen dem Pegelstand vorher und nachher, so dass nicht nur Kopfrechnen, sondern auch Augenmaß erforderlich sind. In der Praxis markiert der Monteur den Ausgangspegel außen am Messzylinder (Stift) und minimiert auf diese Weise mögliche Ableserfehler.

Die Nachweisblätter liefern keinen Beweis dafür, dass Geräte mit Waage und elektronischer Anzeige den Geräten mit bloßer Sichtkontrolle überlegen sind. Sämtliche handschriftlichen Eintragungen, auch die in den Computer manuell eingegebenen (in einem Autohaus der Fall), erfolgen in 50-Gramm-Schritten.

Das ist für die Befüllung nicht sonderlich überraschend. Fast alle Klimaanlage deutscher Automobile haben Normmengen in 50- oder 100-Gramm-Grenzen. Nur selten kommen 25- oder gar 10-Gramm-Abstände vor. Dies ist auch bei ausländischen Fabrikaten so (vgl. Autodata 2000; Waeco 4/2000). Da der Monteur die Normfüllmenge kennt, warum sollte er mehr als diese plus Schlauchreserve eintragen?³

Bei der Absaugmenge ist die Tatsache der 50-Gramm-Schritte für Eintragungen beider Gerätetypen auf den ersten Blick erstaunlich, können sie doch bis auf Ausnahmen nur auf Abrundungen nach oben oder unten beruhen. Für Messzylinder mit 50-Gramm-Intervallen ist dieses Verfahren einsichtig. Selbst bei optimaler Sichtkontrolle ist hier eine Abweichung vom effektiven Quantum bis zu 25 Gramm normal. Die elektronische Waage liefert dagegen grammgenaue Daten. Soweit sie nicht gegen Null misst, ist das angezeigte Gewicht der Vorratsflasche vorher zu notieren (Zettel, Taschenrechner): Beträgt es vor der Absaugung 4803 Gramm und danach 5329 Gramm, eine Differenz von 526 Gramm, trägt der Monteur entweder 500 oder 550 Gramm ein. 500 Gramm trägt er aber auch ein, wenn es nur 478 sind. Die Messungsgenauigkeit beträgt ca. 50

³ Für vorliegende Studie sind Messgenauigkeiten der Geräte beim Befüllen übrigens nicht so wichtig, da für die volle Klimaanlage ohnehin der werkseitige Normwert zugrundegelegt wird.

Gramm (je 25 Gramm nach oben oder unten). Bei Kältemittelverlusten von 200 Gramm sind das mehr als zehn Prozent Abweichung. Größere Exaktheit kostet mehr Zeit und wird von ihm nicht verlangt. Selbst in dem Autohaus mit dem Robinair-Gerät (Absaugung grammgenau auf dem Display) wird es nicht anders gehandhabt. Die Nachweisblätter unterscheiden auch hier nur 50-Gramm-Intervalle.

In dieser Studie wird in allen 841 Fällen der Kältemittelverlust als Differenz zwischen werkseitiger Normfüllung und vom Monteur eingetragener Absaugmenge bestimmt. Wie die Praxis zeigt, sind die Unterschiede zwischen der Mengenbestimmung der Absaugung per Augenmaß oder mit elektronischer Anzeige bezüglich Genauigkeit der Eintragungen nicht signifikant. In beiden Fällen wird auf 50-Gramm gerundet⁴. Wird die Routine der Monteure berücksichtigt, gibt es kaum Grund, die Verlässlichkeit der Eintragungen, die elektronische Messung nutzen, über jene der bloßen Sichtkontrolle zu stellen.

Für diese Studie folgt daraus, dass bei den Eintragungen grundsätzlich eine Abweichung von der wirklichen Absaugmenge im Umfang von ca. 25 Gramm nach oben oder unten bestehen kann. Davon auszunehmen sind lediglich die 323 Eintragungen von Kältemittel-Totalverlusten (Absaugung: 0 Gramm), wo Abrundungen weniger wahrscheinlich sind. Totalverluste machen zusammen allerdings fast vierzig Prozent aller 841 Eintragungen aus.

2. Der Rest im Schlauchsystem als Fehlerquelle der Befüllmenge

Wie am Schluss der Beschreibung des Befüllvorgangs erwähnt, gelingt keine völlige Entleerung des Befüllschlauches in die Klimaanlage. Ließe der Monteur nur die exakte Normfüllung aus dem Füllzylinder ab, fände eine systematische Unterfüllung der Klimaanlage statt. Darum schreiben manche Autohersteller kompensatorisch eine Überdosierung von 25 oder 50 Gramm vor. Diese Empfehlung zur Mehrabgabe machen auch Anbieter von Servicegeräten, unter denen es auch solche gibt, bei denen die Zusatzmenge in Abhängigkeit von der Länge der Serviceschläuche dauerhaft einprogrammiert werden kann. Das hat den Vorteil, dass der Monteur bei der exakten Anlagen-Normfüllung bleiben kann.

2.1 Ungeleerter Serviceschlauch überzeichnet gelegentlich Absaugmenge

Nach der Befüllung muss der Monteur den Rest aus dem Schlauch in jedem Fall zurücksaugen. Vergisst er dies und kuppelt den ungeleerten Schlauch bei der nächsten Absaugung an, riskiert er Erfrierungen an den Händen durch verpuffendes Kältemittelgas, auch wenn der Verschluss nur wenig davon austreten lässt. Im vorliegenden Zusammenhang ist von Bedeutung, dass die mit dem ungeleerten Schlauch abgesaugte Kältemittelmenge dann größer als der wirkliche Anlageninhalt ist. Es liegt ein Messfehler der Absaugmenge "nach oben" vor. Im Zuge der Befragung der Kältemonteure im Rahmen dieser Studie wurde dieser Messfehler erwähnt und sein "gelegentliches" Vorkommen mit Arbeitsdruck unter Leistungsentlohnung begründet.

⁴ Neueste Geräte mit Datenschnittstelle zum Werkstattrechner und/oder integriertem Drucker (z.B. das in einem Autohaus seit Mai 2001 eingesetzte Gerät Beissbarth MAC 26 oder der Waeco RHS 800) speichern oder stellen direkt abgesaugte und befüllte Kältemittelmengen in 5-Gramm-Schritten zur Verfügung. Mit stärkerer Verbreitung solcher Typen kann sich die Genauigkeit der Daten verbessern.

2.2 Dokumentierte Befüllmengen im Nachweis weichen oft von Normfüllung ab

Unabhängig von der Rücksaugung des Überschusses ist für die Mengenbestimmung der Tatbestand der kalkulierten Mehrzugabe an und für sich wichtiger als gelegentliche Überzeichnungen der Absaugung mit ungeleertem Hochdruckschlauch. Sofern ein Automobilhersteller seine typenspezifischen Füllmengen vorgaben mit dem Zusatz "plus 50 Gramm" versieht, tendieren die Monteure durchweg dazu, diese erhöhte Menge nicht nur aus der Vorratsflasche abzulassen, sondern sie auch als Befüllmenge in das Kältemittel-Nachweisblatt einzutragen. Die Rücksaugung nach der Befüllung wird - verständlicherweise - nicht gemessen und daher auch nicht wieder von der Abgabemenge abgezogen. Die eingetragene Befüllung ist darum in sehr vielen Fällen nicht gleich, sondern größer als die Normfüllung der Klimaanlage.

Aus den Nachweisblättern geht eindeutig hervor: Werkstätten (sechs der neun) mit Geräten, bei denen die Zusatzmenge vom Monteur selbst jedes Mal dosiert werden muss, tragen höhere Füllmengen (und damit höhere Füll Differenzen) ein als Werkstätten, bei denen die Zusatzmenge dauerhaft voreingestellt ist. Letztere können unmittelbar mit der unteren Befüllmenge arbeiten. In vorliegender Auswahl ist es sogar der Fall, dass die Anlagen der Fahrzeugmarke, bei der die Füllmengen für die diversen Modelle grammgenau, mithin ohne kompensatorische Zugabe, vorgegeben sind, ausschließlich mit Geräten abgesaugt und befüllt werden, deren überschüssige Kältemittelzugabe dauerhaft voreingestellt ist.

Die Konsequenz für vorliegende Studie ist diejenige, dass als Kältemittelverluste der einzelnen Fahrzeuge nicht immer die in den Nachweisblättern verzeichneten Füll Differenzen zwischen Absaugung und Befüllung genommen werden können. Es sind fallweise Korrekturen nötig. Kältemittelverlust ist hier generell die Differenz zwischen eingetragener Absaugung einerseits und der vom Fahrzeughersteller angegebenen Normfüllung andererseits, ob diese im Nachweisblatt als Befüllung eingetragen ist oder nicht.

Die fahrzeug- bzw. auch baujahrspezifisch wechselnden Angaben stammen aus Listen der drei Automobilhersteller sowie einschlägiger Literatur (Autodata 2000; Waeco 4/2000). Auf diese Weise werden m. E. Messfehler begrenzt. Ohnehin geht es in dieser Studie um Kältemittelverluste, die beim ersten Werkstatt-Termin der Klimaanlage seit Erstzulassung festgestellt werden. Auch deshalb ist die Werksfüllung der bessere Maßstab als die Befüllung der Werkstatt. Denn es kann unterstellt werden, dass kein Automobilwerk mehr Kältemittel als nötig einfüllt.

3. Temperaturdifferenzen zwischen Servicegerät und Klimaanlage bei Absaugung

Eine weitere mögliche Fehlerquelle, die bei Servicegeräten aller Ausführungen vorkommen kann, sei hier der Vollständigkeit halber angeführt. Sie betrifft nicht die Befüll-, sondern die Absaugmenge.

Der Kompressor im Servicegerät ist einzige Triebkraft des Kältemitteltransports. Er saugt das Kältemittel nicht nur aus der Klimaanlage heraus und drückt es in den Kondensator hinein. Sondern auch das bereits in der Flüssigkeits-Leitung hinter dem Kondensator befindliche Kältemittel fließt nur deshalb in den Vorratsbehälter weiter, weil dank der Kompressorarbeit aus dem Kondensator Flüssigkeit nachströmt. Sobald dieser Strom versiegt (Anlage leergesaugt), bleibt das Kältemittel auf der Schlussstrecke

zwischen Kondensator (7) und Sammelgefäß (9) stehen. Dies führt nicht grundsätzlich zu Messfehlern. Denn beim Absaugen der nächsten Klimaanlage wird eben dieser aus der vorherigen Anlage stammende Rest hinter dem Kondensator des Servicegerätes als erster in den Vorratsbehälter weitergeschoben. Erst danach fließt Kältemittel aus der aktuell abgesaugten Anlage ein – wieder bis auf den Rest hinter dem Kondensator usw.

Im Prinzip wird auf diese Weise der unvollständige Durchfluss der einen Absaugung immer wieder durch den gleichermaßen unvollständigen der nächsten Absaugung komplettiert. Nur bei Temperatur- und daher Ausdehnungsunterschieden zwischen neu einströmendem und altem Kältemittel kommt es zu Verzerrungen, die in dieser Studie jedoch nicht nachgeprüft wurden und daher nicht berücksichtigt werden.

4. Absaugung der Nachverdampfung vergessen

Bei der Beschreibung des Grundvorgangs der Absaugung wurde erläutert, dass nach der ersten Absaugung von ca. zwei Minuten innerhalb einer nicht komplett leeren Anlage Kältemittel im Umfang von 10 bis 20 Gramm nachdampfen, die im Öl gelöst waren oder aus der Tiefe des Kältekreislaufs nicht sofort erfasst wurden. Bei Automatikbetrieb, der bei allen in vorliegender Auswahl vorkommenden Servicegeräte möglich ist, ist der Absaugprozess auf mindestens drei weitere Minuten Länge eingestellt, so dass er nach dem ersten Abschalten durch einen eventuellen neuen Druckanstieg in der Anlage zwecks Restabsaugung wieder anspringt.

Bei Handbetrieb muss der Monteur nach der ersten Absaugung einen eventuellen Druckanstieg (Manometerkontrolle) abwarten und dann das Gerät wieder anschalten.

Es ist klar, dass unter allgemeinem Arbeitsdruck hin und wieder die Nachdampfung vergessen wird. Spätestens bei der Öffnung der Anlage macht sich das nachverdampfte Kältemittel als austretende Wolke bemerkbar. In solchen Fällen unterzeichnet die am Servicegerät abgelesene Absaugmenge den Anlageninhalt um 10 bis 20 Gramm.

Eine Quantifizierung der auf diese Weise erfolgten Messdifferenzen (und damit der durch unsachgemäßen Service zustande gekommenen Kältemittlemissionen) erfolgte im Rahmen dieser Studie nicht. Auch zu Schätzungen sehe ich mich nicht in der Lage - außer zu der Aussage, dass die Möglichkeit manuellen Abbruchs der Absaugdauer bei sechs der neun Geräte bestand.

5. Unterlassene Eintragungen

Am Schluss der Fehlerquellen-Diskussion über die Mengenbestimmung beim Klimaanlage-Service sei der quantitativ größte Fehler benannt: unbeabsichtigtes Vergessen der Eintragung des Absaug- und Befüllvorgang ins Nachweisblatt.

Obwohl das Kältemittel-Nachweisblatt in der Werkstatt üblicherweise in einer Mappe direkt auf dem Servicegerät liegt, wird in der allgemeinen Betriebsamkeit eines Kfz-Betriebs zwangsläufig die eine oder andere handschriftliche Eintragung des Vorgangs vergessen. Schon in den Nachweisblättern selbst ist ohne graphologische Spezialkenntnisse an mitunter ungewohnt gleichmäßigen Schriftzügen eines und des selben Monteurs, der einen und den selben Kugelschreiber benutzt, deutlich zu erkennen, wenn für

mehrere Fahrzeuge der zurückliegenden drei bis vier Tage die Eintragungen nachgeholt wurden. Dieses Nachholen findet aber nicht immer statt.

Die Befragung der Kältemonteur ergab Eigenschätzungen für vergessene Eintragungen zwischen "überhaupt keine" in kleineren Betrieben bis "mindestens zehn Prozent" in größeren Autohäusern. Obwohl ich den Mittelwert von 5% für zu niedrig halte, sei er hier als Maximum angenommen. Dies bedeutet, dass statt der Kältemittelverluste im Umfang von 477,2 Kilogramm fünf Prozent bzw. 24 Kilogramm mehr anzunehmen sind, mithin ca. 500 Kilogramm (501 kg). Der Verlust pro Fahrzeug ändert sich dadurch nicht, da auch die Zahl der Klimaanlage von 841 um 5 % ansteigt - auf 883.

Bei der Bestimmung der sogenannten irregulären Emissionsrate (vgl. Kapitel E und F) wird dieser Korrekturfaktor zu einer geringen Erhöhung führen. Die Rate der regulären Emissionen (vgl. Kapitel D) bleibt davon unberührt.

III. Kältemittelverluste, soweit vom Service selbst verursacht

Von der vergessenen Nachdampfung abgesehen gibt es zwei weitere Arten servicebedingter Kältemittellemissionen: Kältemittelverluste bei der Lecksuche und bei der Abkupplung des Befüllschlauchs.

1. Befüllungsverluste

Die Verluste beim Abkuppeln des Befüllschlauchs vom Serviceanschluss (siehe Beschreibung des Grundprozesses) werden auf maximal 1 bis 3 Gramm geschätzt. Die Selbstverriegelung des Schlauchendes bei der Abnahme vom Serviceventil (ohne manuelles Verschließen des Absperrventils ist die Kupplung nicht abzunehmen) ist eine große Errungenschaft, gemessen an der Zeit vor 1991, als das Kältemittel R-12 bei einer Anlagenöffnung grundsätzlich total in die Atmosphäre abgelassen wurde. Nach Aussagen der Anbieter von Servicegeräten ist die Verschlussicherheit technisch weitgehend ausgereizt, so dass die im Mittel auf zwei Gramm geschätzte Verlustmenge momentan als unvermeidlich gilt (Fachgespräche Servicegeräte 2001).

Da die 841 verschiedenen Klimaanlage der Auswahl abzüglich 31 nicht erfolgter Wiederbefüllungen (darunter Fahrzeuge zur Demontage), aber zuzüglich der 72 Mehrfachbefüllungen im selben oder folgenden Jahr - jeweils soweit dokumentiert - insgesamt 882 Mal befüllt wurden, wurden 882 mal 2 Gramm bzw. insgesamt knapp zwei Kilogramm Kältemittel bei Befüllungen in die Umgebungsluft abgegeben.

Anders gesagt: Da bei sämtlichen geöffneten Klimaanlage dieser Auswahl im Mittel 546 Gramm (64 %) als Verlust, bezogen auf die Durchschnitts-Füllmenge von 856 Gramm, festgestellt wurden, erhöht sich dieser Betrag durch Befüllungsverluste um 2 Gramm oder um 0,4% auf 548 Gramm.

2. Kältemittelverluste bei der Lecksuche mit Kontrastmittel

Zu den bereits erwähnten Totalverlusten zählen nicht nur Klimaanlage mit irregulären äußeren Schadeinwirkungen (Haupttyp: Unfall), die gewöhnlich Emissionen von 100% aufweisen, sondern auch Fahrzeuge mit Verlusten über 100%. Das sind Fahrzeuge, die wegen der selben Undichtigkeit Kältemittel von mehr als einer Anlagenfüllung verloren,

weil die undichte Anlage beim ersten Werkstattbesuch nicht repariert, sondern nur aufgefüllt wurde. Das trifft auf 29 aller 323 dokumentierten Totalverluste zu.

Findet der Monteur den Fehler an einer leeren Anlage nicht durch Augenschein und auch nicht beim Vakuumcheck nach dem Absaugen, dann setzt er die Fehlersuche fort, indem er die Klimaanlage entweder mit flüssigem Stickstoff oder mit Kältemittel auffüllt, um anhand des austretenden druckbildenden Gases das Leck zu orten. Zur Lecksuche verwendet er ein elektronisches Lecksuchgerät, das auf Kältemittel reagiert, das entweder in reiner Form oder, im Falle von Stickstoffspülung, als mitgerissener Rest aus der Anlage entweicht. In vielen Kfz-Betrieben üblich, wengleich von den Kompressorherstellern als Lecksuchmethode noch nicht generell freigegeben⁵, ist bei Kältemittelbefüllung die Zugabe eines Kontrastmittels (Tracers). Das sind einige Tropfen von mit einer fluoreszierenden Substanz versetztem und gefärbtem Kälteöl, das in den Befüllstrom des Kältemittels eingespeist wird. Dieses Verfahren wird in acht der neun Autohäuser dieser Auswahl angewandt.⁶

Nachdem die Klimaanlage einige Minuten gelaufen ist, kann in den meisten Fällen der Tracer mithilfe einer UV-Lampe als leuchtender Farbleck um die undichte Stelle herum geortet werden. (Da in einem solchen Fall erneut Kältemittel ausgetreten ist, steigt der Verlust für dieses Fahrzeug auf über 100 % an). Nach ihrer Beseitigung wird der Fleck im allgemeinen abgereinigt, damit es bei der nächsten Wartung nicht zu Missverständnissen kommt (vermeintlich neue Undichtigkeit).

Findet der Monteur die Undichtigkeit auch mit Tracer nicht am selben Tag, ist eine zwar wirksame, aber nur winzige Leckage zu vermuten, die erst über längere Frist und unter realen Fahrbedingungen so viel Kältemittel auslässt, so dass ihre Ortung über Fleckenbildung Tage bis Wochen zusätzlichen Betriebs erfordert. Der Fehler wird dann erst beim nächsten Werkstattbesuch erkannt und beseitigt. Emissionsraten von 200 % sind Folge dieser Lecksuchmethode - von den wenigen, in vorliegender Auswahl nur zwei - Fahrzeugen abgesehen, die in einem Jahr verschiedene Undichtigkeiten hatten.

Als servicebedingte Lecksuchemissionen werden hier diejenigen Kältemittelverluste bezeichnet, die zusätzlich zu Totalverlusten entstehen, wenn das Leck erst nach Austritt tracerhaltigen Kältemittels gefunden wird, sei es beim ersten oder bei einem nachfolgenden Werkstattbesuch. Die 29 betroffenen Fahrzeuge dieser Auswahl hatten zusätzlich zu ihren (ersten) Totalverlusten von 27,5 Kilogramm weitere Verluste von 20,5 Kilogramm. Letztere sind Serviceemissionen im engeren Sinn.

Von den bei den 841 Fahrzeugen insgesamt dokumentierten Kältemittelverlusten in Höhe von 459,2 Kilogramm sind somit 20,5 Kilogramm (4,5 %) erst im Zuge der Lecksuche entstanden.

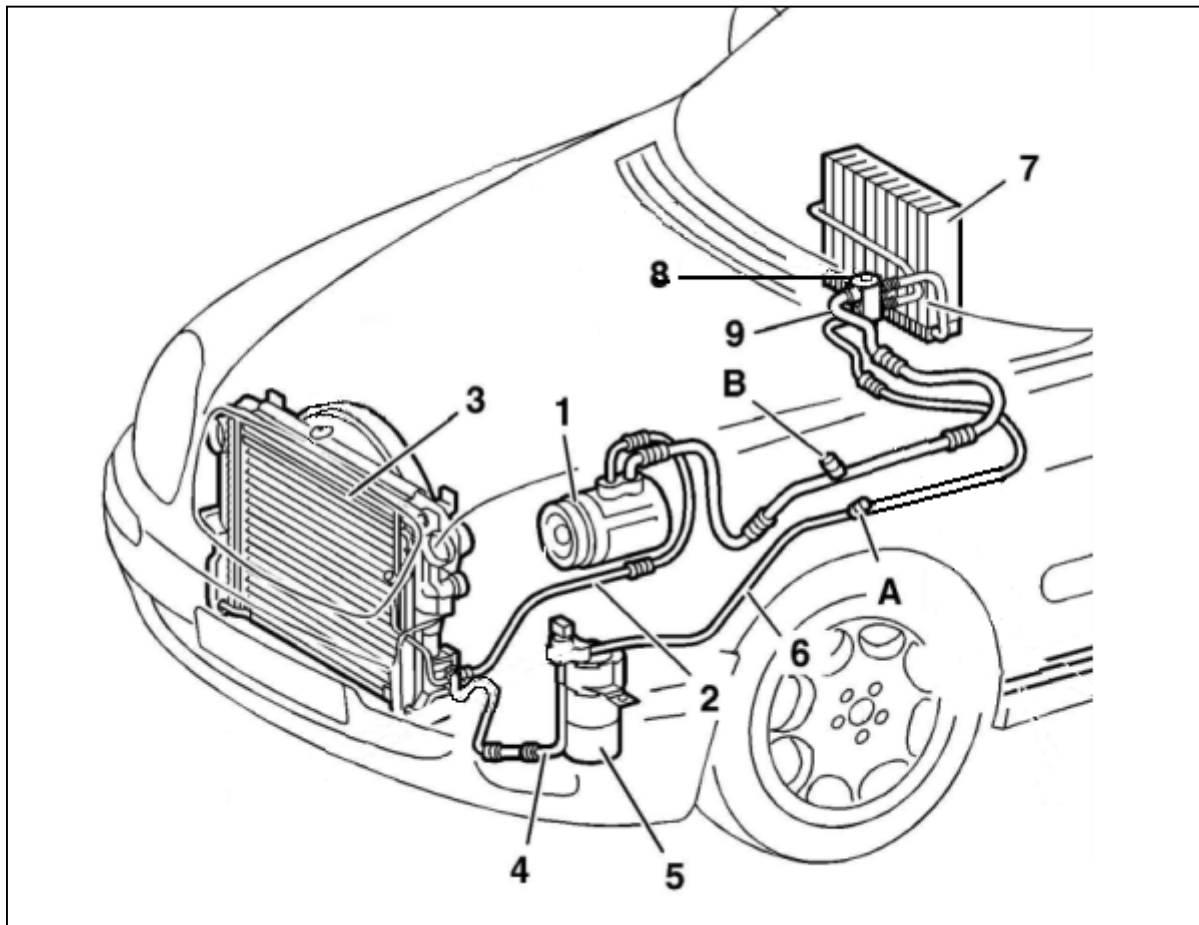
Auf weitere - außergewöhnliche - Kältemittelverluste in der Werkstatt sei noch hingewiesen. So ist in einem Nachweisblatt eines Autohauses für 1997 eine

⁵ Der Hauptgrund ist die Befürchtung, der Kompressor könne durch den Tracer Schaden erleiden. Soviel ist indes klar: Der Tracer löst sich im Öl, nicht im Kältemittel. Das Kältemittel, das vom Kompressor des Servicegeräts angesaugt wird, ist im Vorratsbehälter farblos.

⁶ Es ist klar, dass Druck-Dichtheitsprüfung mit Stickstoff die klimafreundlichere Lecksuche gegenüber der Füllung mit Kälte- und Kontrastmittel ist. Eines der neun Autohäuser verzichtet auf die Lecksuche mit Tracer. Den Nachweisblättern zufolge mit Erfolg. Denn diese zeigen keinen Eintrag von Mehrfachbesuch wegen eines und des selben Schadens.

Totalleakage des Tanks des Servicegeräts dokumentiert ("Befüllung 25 kg, Servicegerät undicht"). Die in diesem Fall über Nacht freigesetzten Kältemittel liegen in der Größenordnung der soeben erwähnten 29 Fälle von Serviceemissionen (20,5 kg in acht Autohäuser) bei der Lecksuche.

C. Motive der Klimaanlage-Öffnung und Ursachen der entdeckten Kältemittelverluste



Bildquelle: DaimlerChrysler 2001 (modifiziert)

Abbildung 2: Potentiell defekte Bauteile einer Pkw-Klimaanlage*

1. Kompressor
 2. Hochdruckleitung (gasförmig) zum Kondensator
 3. Kondensator
 4. Hochdruckleitung (flüssig) zum Trockner
 5. Trockner/Sammler (mit Hoch- und Niederdruckschalter)
 6. Hochdruckleitung (flüssig) zum Expansionsventil
 7. Verdampfer
 8. Expansionsventil vor Verdampfer
 9. Saugleitung (gasförmig) zum Kompressor
- A. Serviceanschluss auf der Hochdruckseite
B. Serviceanschluss auf der Niederdruckseite

* Einspritzung in den Verdampfer durch Expansionsventil, nicht Drossel. Im letzteren Fall befindet sich der Sammler nicht vor, sondern hinter dem Verdampfer.

Die Nachweisblätter dokumentieren für jedes Fahrzeug mit geöffneter Klimaanlage die vom Monteur mehr oder weniger exakt gemessene Kältemittel-Absaugung. Damit ist zugleich das Kältemitteldefizit zum Zeitpunkt der Öffnung gegeben. Es ist die Differenz zwischen abgesaugter Menge und Normfüllstand. Die auf diese Weise festgestellten Verlusten decken das ganze Spektrum zwischen 0 % und 100 % (und teilweise darüber) ab. Die dazugehörigen Erläuterungen der Kältemonteur sind zwar nicht immer aussagekräftig, doch reicht die Teilmenge exakter Angaben aus, um ein Bild von den hauptsächlichen Anlässen für die Öffnung des Kältekreislaufs zu gewinnen.

Tabelle 1 teilt sämtliche verzeichneten Kältemittel-Verlusten in kleine, mittlere und große ein und gibt in Spalte 2 ihre jeweiligen Anteile an allen geöffneten Klimaanlage und in Spalte 3 ihre Anteile am gesamten Kältemittelverlust wieder.

Tab. 1: Anteile kleiner, mittlerer und großer Kältemittelverluste am Gesamtverlust von 459,2 kg (841 Anlagen)		
KM-Verlust	Anteil an allen geöffneten Anlagen	Anteil am gesamten KM-Verlust
klein - unter 40 %	39 %	9 %
mittel – 40 % bis < 100 %	23 %	24 %
groß – 100 % und mehr*	38 %	67 %

* Verluste > 100 % resultieren aus mehrmaligen Verlusten einer Anlage im selben Jahr.

Kleine Verluste (unterhalb 40 %) werden bei ca. 40 % der geöffneten Klimaanlage festgestellt. Der Anteil dieser Gruppe am gesamten Kältemittelverlust beträgt nur 9 %. Das andere Extrem sind die Totalverluste von 100 % und mehr. Diese werden bei ebenfalls fast 40 % der Klimaanlage-Öffnungen gefunden, bilden aber zwei Drittel der insgesamt dokumentierten Kältemittelverluste (Tab. 1, letzte Zeile).

I. Behebung der Undichtigkeit: Hauptmotiv bei Kältemittel-Totalverlust

Kältemittel-Totalverluste führen zum Ausfall der Klimaanlage. Bereits vor dem Totalverlust kommt die Anlage (bei noch 100 bis 200 Gramm Inhalt) zum Stillstand, da extremer Kältemittelmangel den Anlagen-Hochdruck unter ca. 2 bar (eingestellter Sollwert) absenkt, wodurch der Kompressor entweder von einem speziellen Niederdruckschalter oder durch eine interne Regelung automatisch abgestellt wird. Bei zu wenig Druck würde das Kältemittel schon unter Null Grad Celsius verdampfen, was zur Vereisung der Anlage führen würde. Auch soll der Kompressor selbst vor Heißlaufen und Blockieren geschützt werden, da ohne Kältemittel auch kein Schmieröl mehr zirkuliert. Der Funktionsverlust der Klimaanlage wird vom Fahrer meist selbst bemerkt und gemeldet, er entgeht auch nicht der routinemäßigen Werkstatt-Inspektion mit elektronischem Fehlerauslesegerät, das den ausgeschalteten Kompressor registriert. Kältemittelmangel ist für den Monteur die naheliegende Diagnose, aufgrund derer er die Absaugung mit dem Servicegerät in Gang setzt, um die Anlagenundichtigkeit zu finden und zu beheben.

Klimaanlagen mit Kältemittel-Totalverlust werden prinzipiell aus einem einzigen Grund geöffnet, nämlich um die Ursache eben dieses Kältemittelverlustes zu beheben. Das ist das Hauptmotiv. Der Satz klingt selbstverständlich und trivial. Er ist es jedoch nicht. Denn er trifft auf Klimaanlage mit Verlusten unter 40 % so nicht zu.

Ein Totalverlust hat hauptsächlich externe Ursachen, kann aber auch interne haben.

Extern verursacht ist er, wenn mechanische Einwirkungen von außen Bauteile des Kältekreislaufes undicht machen: Unfälle mit Blechschaden im Frontbereich oder Steinschläge. Das mit Abstand am häufigsten undichte Bauteil bei Totalverlusten ist der Kondensator, da er ganz vorne am Fahrzeug, direkt vor dem Kühler, platziert ist.

Totalverluste haben dann interne Ursachen, wenn Bauteile ohne gewaltsame Einwirkung von außen einen irregulären Defekt erleiden, der eine wirksame Austrittsstelle für das Kältemittel bildet. Gemeint ist nicht die normale Abnutzung, der jedes Bauteil physisch unterliegt, sondern ein außergewöhnlicher Vorgang wie Bersten oder Korrosion des Kompressors, Platzen des Trockners, Lochbildung in der Rohrleitung, Risse im Verdampfer usw. Unfälle und Steinschläge einerseits und irreguläre Bauteildefekte andererseits haben gemeinsam das emissive Schadbild.

Die dokumentierten Ursachen von Kältemittel-Totalverlusten sind dreierlei:

1. Unfälle mit Karoserieschaden (zu 40 %),
2. Leichter Aufprall, Steinschlag und interne emissive Bauteildefekte (zu 40-50 %),
3. Unbekannt im Falle bloßer Nachfüllung (zu 10-15 %).

1. Leere Klimaanlage nach Unfall mit Karoserieschaden

Von den verzeichneten Totalverlusten sind ihrerseits rund 40 % Folge von Unfällen mit starkem Blechschaden im Frontbereich des Fahrzeugs. Dabei werden vordere Bauteile der Klimaanlage eingedrückt und - in der Regel schlagartig - undicht. Zu 90 % wird der Kondensator beschädigt, mitunter auch die an ihm angeschlossenen Hochdruck-Leitungen und der in der Nähe befindliche Trockner.

Beschädigt der Unfall nicht nur den Stoßfänger, sondern die Karosserie, wird das Fahrzeug dem Karosseriebauer übergeben, der außer der Instandsetzung der Blechschadens auch den Ersatz der defekten Bauteile der Klimaanlage durchführt. Der Kältemonteur prüft in solchen Fällen die Anlage vorher auf Leerstand und führt nachher eine Dichtheitsprüfung und die Wiederfüllung mit Kältemittel durch.

Im Nachweisblatt trägt er den Gesamtvorgang entweder in zwei Stufen ein: "Absaugung: 0 g, Befüllung: 0 g" und Tage später "Absaugung: 0 g, Befüllung: 1000 g" - jedes Mal mit der Bemerkung "Unfall". Alternativ fasst er den Gesamtvorgang zu einem zusammen: "Absaugung: 0 g, Befüllung: 1000 g, Bemerkung: Unfall". Das defekte Bauteil benennt er normalerweise nicht, da er es nicht selber ersetzt⁷.

2. Totalverlust durch Steinschlag oder irregulären Bauteildefekt

Weitere 40 bis 50 % der Totalverluste gehen auf Undichtigkeiten zurück, die entweder im Zuge eines leichten Aufpralls, eines unbemerkten Steinschlags oder eines außergewöhnlichen Bauteildefektes entstehen. Die Reparatur wird nicht dem Karosseriebauer übertragen, sondern erfolgt durch den Kältemonteur selbst, der über den Bauteilersatz auch Buch führt. Typischer Leckagefall ist auch hier der Kondensator,

⁷ Folgt im Nachweisblatt auf den Eintrag "Absaugung: 0 g, Befüllung: 0 g, Bemerkung: Unfall" kein zweiter Eintrag über eine Befüllung, handelt es sich um Totschaden mit Fahrzeug-Demontage - vom Vergessen der zweiten Eintragung einmal abgesehen.

dessen Undichtheit allerdings vorwiegend von Steinschlägen stammt. Ein Steinschlag zerstört die Oberfläche eines der kältemittelführenden Flachrohre, das an dieser Stelle korrodiert (Lochfraß). Die Herausbildung einer emissiven Undichtigkeit dauert maximal einige Wochen und wird befördert von feuchter und salzhaltiger Luft, die den Kondensator passiert.

Den Nachweisblättern zufolge ist ein undichter Kondensator mit 40 bis 50 % häufigste Einzelursache von Kältemittel-Totalverlusten ohne Blechschaden-Unfall und damit das häufigste Bauteil, das der Kältemonteur selber ersetzt; aber keineswegs das einzige. Die Reihenfolge der ersetzten Bauteile, sofern sie in den Nachweisblättern ausdrücklich bezeichnet werden (70 Fälle), gibt Tabelle 2 wieder.

Tab. 2: Vom Kältemonteur selbst ersetzte defekte Bauteile als Ursache von Kältemittel-Totalverlust (70 Nennungen - ohne Unfälle mit Karosserieschaden)	
Bauteil	Anteil an den vom Kältemonteur ersetzten Bauteilen
Kondensator	42 %
Rohrleitungen	17 %
Verdampfer	17 %
Expansionsorgan	9 %
Kompressor	8 %
Trockner	3 %
Dichtungen	4 %

Die ersetzten Bauteile werden hier nur angeführt, sofern sie die Primärursache des Totalverlustes waren. Dies zu erwähnen ist wichtig, da manche Komponenten wegen Sekundärdefekten ausgetauscht werden. So der Trockner, der grundsätzlich funktionsuntüchtig wird, wenn die Klimaanlage eine gewisse Zeit leer ist. Auch das Expansionsorgan muss oft als Folge eines anderen Bauteildefekts ersetzt werden, in diesem Falle des Kompressors, dessen Späne es verstopfen können. Auch sind häufig Leitungen mit zu erneuern, wenn das Bauteil, an das sie angeschlossen sind (Kondensator, Verdampfer, Expansionsorgan) Schaden genommen hat.

Während für undichte Kondensatoren (42 %) Steinschläge und leichte Aufprallunfälle hauptverantwortlich sind und dies auch für die am Kondensator angeschlossenen Hochdruck-Kältemittelleitungen gilt (17 %), sind Undichtigkeiten bei den weniger exponierten Bauteilen (41 %) viel seltener von außen bewirkt. Lassen defekte Kompressoren, Expansionsorgane, Trockner, Verbindungen oder Leitungen schlagartig so viel Kältemittel durch, dass ein Totalverlust entsteht, liegt dem oft ein interner irregulärer Schaden zugrunde, der z. B. aus Korrosion (auch elektrochemischer), Überlastung (Überdruck) oder herstellereitigen Verarbeitungsmängeln resultiert. Es ist auch der Fall möglich, dass Bauteile durch bereits eingetretenen Kältemittelmangel so stark Schaden nehmen (mangelnde Schmierung des Kompressors usw.), dass sie selber undicht werden, so dass auch noch das letzte Kältemittel austritt.

3. Totalverluste mit bloßer Neubefüllung ohne Reparatur

Nicht alle undichten Bauteile des Kältekreislaufs werden auch wirklich ersetzt, selbst wenn dies technisch möglich wäre oder sogar schon (etwa durch die Tracerzugabe) eingeleitet wurde. Etwa 10 bis 15 Prozent der Klimaanlage mit Totalverlust werden lediglich wiederbefüllt. Die Hauptgründe:

- Kunden erteilen keine Freigabe oder bringen das Fahrzeug nicht zum Kontrolltermin in der Hoffnung, mit bloßer Nachfüllung auszukommen, vor allem, wenn eine Undichtigkeit mit nur langsamem Kältemittelschwund anzunehmen ist.
- Kunden, die wegen abgelaufener Garantie- bzw. Kulanzzeit die Reparaturkosten selber tragen müssen, nehmen das Risiko erneuten Totalverlustes nach bloßer Nachfüllung in Kauf, da diese bis zu zehn Mal preiswerter als eine Reparatur ist.
- Kunden scheuen eine zeitraubende Reparatur, weil sie sich z.B. auf Dienstreise befinden und "nur mal schnell" ihre Klimaanlage in Gang bringen lassen wollen.
- Es gibt auch Fälle, in denen der Monteur die Undichtigkeit einfach nicht findet und von daher nichts anderes tun kann als nachzufüllen.

Den Fällen der "bloßen Nachfüllung" ist gemeinsam, dass die mechanische Undichtigkeit nicht identifiziert und einem bestimmten Bauteil zugeordnet wird und folglich auch in den Nachweisblättern kein ersetztes Bauteil dokumentiert ist.

II. Anlagenöffnung bei Kältemittelverlust unter 40 %

Jede Autoklimaanlage, auch die ausgeschaltete, unterliegt einem gewissen schleichenden Schwund seines permanent unter Druck stehenden Kältemittels durch Schlauchverbindungen, Kompressor- und Anschlussdichtungen, zumal diese wie auch die Funktionsbauteile des Kältekreislaufs selber den unregelmäßigen Bewegungen von Motor und Fahrzeug ausgesetzt sind. Dieser "normale" Verlust beeinträchtigt den Betrieb der Anlage lange Zeit nicht, zumal die Kältemittelfüllung einen relativ großen Funktions-Spielraum nach unten aufweist.

Der normale Kältemittelschwund wirkt sich lange Zeit nicht auf die Kühlwirkung aus, und zwar so lange nicht, wie ausschließlich flüssiges Kältemittel aus dem Sammler kommt, wo gasförmiges Kältemittel aus dem Kondensator normalerweise endgültig abgeschieden wird, und vom Expansionsorgan in den Verdampfer eingespritzt wird. Auf dem Phasenwechsel flüssig-gasförmig beruht bekanntlich die Kälteleistung des Verdampfers. Sobald der Kältemittelvorrat in der Anlage eine bestimmte Schwelle unterschreitet, erhält der Sammler vom Kondensator zu wenig Flüssigkeit und kann seinerseits gesättigtes Gas aus dem Kondensator nicht mehr zu flüssigem Kältemittel abscheiden.⁸ Von diesem Punkt an gelangt gasförmiges Kältemittel ("Flashgas") vor das Expansionsorgan, was sich in der Bildung von Gasbläschen in der Flüssigleitung zwischen Sammler und Expansionsorgan äußert.⁹ Das Expansionsorgan ist konstruktiv nicht auf die Zufuhr gasförmigen Kältemittels eingestellt und versorgt den Verdampfer nicht mehr gleichmäßig. Dieser kann mangels Flüssigkeitsaufnahme die Kälteleistung nicht mehr erbringen. Dieser Prozess verläuft, sobald er einmal eingesetzt hat, ziemlich rasch, bis praktisch kein Kühleffekt mehr besteht (Hausmann 2001).

⁸ Die unerwünschter Verdampfung vorbeugende Unterkühlung des Kältemittels lässt dann ebenfalls nach, da sie nur in der Flüssig-Phase stattfindet. Die Temperatur steigt an.

⁹ Bei Anlagen mit Drossel (Orifice Tube), wo sich der Sammler vor dem Kondensator (nach dem Verdampfer) befindet, kommt es bei zu wenig Kältemittel auf vergleichbare Art zu Flashgas-Bildung.

Die Höhe des Kältemittelverlustes, von dem ab die Klimaanlage keine Wirkung mehr zeigt, ist keine fixe Größe. Denn Kühlung ist erstens auch Frage subjektiver Empfindung, zweitens ist die kältemittelbedingte Funktionsfähigkeit objektiv von der technischen Anlagenauslegung wie Kapazität des Sammlers, Länge der Flüssigleitung zwischen Kondensator und Expansionsorgan u. dgl. abhängig. Dennoch lässt sich die Größenordnung auf "um 40 % herum" eingrenzen, was bedeutet, dass im Einzelfall 35% genauso möglich sind wie 45%.

Die Marke 40 %, die für kleine Kältemittelverluste steht, gründet sich auf Erfahrungen der im Rahmen der Studie befragten Monteure¹⁰, wonach 60 % Füllstand die Untergrenze bilden, oberhalb derer eine Pkw-Klimaanlage gerade noch hinreichend funktioniert, wenn sie sonst keinen Defekt hat (vgl. Kapitel D).

Wie oben gesehen, werden Klimaanlageanlagen mit Kältemittel-Totalverlust geöffnet, um eine irreguläre Emissionsursache, sprich: Undichtigkeit, zu finden und zu beheben. Demgegenüber bilden Kältemittelverluste unter 40 % für sich genommen grundsätzlich keinen Anlass für eine Öffnung. Die "möglichst volle Klimaanlage" ist nicht Ziel der Fahrzeuginspektion. Routinemessungen unterbleiben¹¹, zumal dafür das ganze Kältemittel abgesaugt und wiederbefüllt werden müsste (andere Messmethoden gibt es bisher nicht). So bleiben bei der großen Masse der die Werkstatt durchlaufenden Fahrzeuge Kältemittelverluste unter 40 % - anders als Totalverluste - unentdeckt.

Dennoch verzeichnen die Kältemittel-Nachweisblätter 40 % Fahrzeuge mit geöffneter Klimaanlage mit Verlusten von weniger als 40 % (s. Tab. 1). Die Motive für die Öffnung dieser Klimaanlageanlagen unterscheiden sich jedoch wesentlich von jenen mit Totalverlusten. Sie sind viererlei Art:

1. Ersatz defekter Bauteile, die keine Kältemittelverluste auslösen (zu 32 %).
2. Die Klimaanlage behindert Motor- und Kühlsystem-Reparatur (zu 22 %)
3. Schadensfeststellung und Vorbereitung für den Karosseriebau (zu 24 %)
4. Dichtheitsprüfungen auf Initiative des Kunden oder der Werkstatt (zu 30 %).

Es sei ausdrücklich betont, dass dies die Anlässe für die Öffnung der Klimaanlageanlagen sind, nicht - wie bei den Totalverlusten - bereits die Ursachen der Kältemittelverluste. Obwohl Kältemittelverluste bei der Wiederbefüllung stets ausgeglichen werden, wird deren Ursache bei nur geringfügigen Verlusten nicht primär gesucht.

1. Bauteildefekte, die selbst kein Kältemittel freisetzen

Bei 32 % der dokumentierten Absaugungen aus Klimaanlageanlagen, deren Kältemittel für ihren Betrieb noch ausreichend war (weniger als 40 % Verlust), lag ein Bauteildefekt vor, der sich in störenden Auffälligkeiten des Klimaanlageanlagenbetriebs äußerte. Absoluter Anlagenstillstand war die Ausnahme. Anhaltspunkte der Fehlerdiagnose waren u.a. ungewöhnliche Geräusche (klappernder Kompressor, pfeifendes Expansionsventil), unangenehme Gerüche (Bakterienbildung auf dem Verdampfer durch Kondenswasser),

¹⁰ Diese meinten generell, dass eine Klimaanlage bei "der Hälfte des Kältemittels" nicht mehr normal funktioniert, aber schon vorher so stark in der Leistung nachlässt, dass es der Fahrer merkt.

¹¹ Von der elektronischen Fehlerdiagnose abgesehen, beschränkt sich der Klimaanlageagentest bei der Inspektion meist auf eine kurze manuelle Prüfung des Kaltluftstroms aus dem Verdampfer während der Probefahrt bei eingeschalteter Klimaanlage. Manche Monteure drücken kurz das Ventil des HD-Service-Anschlusses nieder, um den Austrittsdruck des Kältemittels zu kontrollieren.

unregelmäßige Betriebsweise durch immer wieder anspringenden Kompressor (der wegen Verstopfungen im Kältekreislauf nicht mehr genug Kältemittel und Öl erhält) oder Lüfter (der bei vermindertem Wärmeaustausch des verschmutzten oder verstopften Kondensators vom Hochdruckschalter immer wieder ausgelöst wird) u.v.a. Anders als die Defekte mit Totalverlusten tangieren derartige Bauteildefekte die Dichtheit des Kältekreislaufs unmittelbar nicht oder nur unwesentlich. Solche "nicht-emissiven" Defekte der vom Kältemonteur ersetzten Bauteile sind offenkundig anderer Art als die "emissiven" Bauteildefekte, die Totalverluste erzeugen.¹²

Wie Tabelle 3 im Vergleich der mittleren mit der rechten Spalte zeigt, unterscheidet sich die Liste der ersetzten Bauteile bei geringem Kältemittelverlust signifikant von der Reihenfolge der Bauteildefekte mit Totalverlust ohne Karosserieschaden.

Tab. 3: Anteile der ersetzten defekten Bauteile bei Anlagen mit Kältemittelverlust < 40 % - 48 Nennungen (Vergleich: Anteile bei Totalverlust*)		
Ersetztes Bauteil	Kältemittelverlust < 40%	Kältemittel-Totalverlust*
Kompressor	63 %	8 %
Expansionsorgan	16 %	9 %
Verdampfer	5 %	17 %
Kondensator	5 %	42 %
Dichtungen	5 %	4 %
Trockner	3 %	3 %
Leitungen	2 %	17 %

* ohne Totalverluste mit Karosserieschaden, wo der Kondensator 90 % der ersetzten Bauteile ausmacht.

Unter den ersetzten Bauteilen bei geringen Kältemittelverlusten dominiert mit großem Abstand (64 %) der Kompressor, der bei Bauteildefekten mit Totalverlust nur 8 % ausmacht. Umgekehrt der Kondensator. Er ist nur mit 5 % an Bauteildefekten im Verlustbereich unter 40 % beteiligt, während er bei Totalverlust (ohne Blechschaden) 42 % der defekten Bauteile bildet. Offenbar wirken sich Schäden am Kompressor (defekte Magnetkupplung, defektes Regelventil, Kolbenfresser, Feuchtigkeitsschlag) weniger in emissiven Undichtigkeiten aus, bleiben mehr auf das Bauteil-Innere begrenzt, als Störungen des Kondensators, dessen Defekt fast immer schlagartigen Kältemittelaustritt zur Folge hat¹³. Das unterstreicht die These, dass Bauteildefekte im niedrigeren Verlustbereich anderer Art sind als Bauteildefekte, die zu hohen bis zu Totalverlusten des Kältemittels führen.

2. Klimaanlage als Hindernis für Motor- und Kühler-Reparatur

Etwa 22 % aller Absaugungen, bei denen die Kältemittelfüllung noch nicht 40 % verloren hatte, erfolgten nicht wegen der Klimaanlage selber, sondern wegen anderer Komponenten, zu denen die Klimaanlage den Zugang versperrte. In 17 % der Fälle war die Klimaanlage einem Aus- und Einbau des Motors im Wege, in 5 % einem Aus- und

¹² Ein Überblick über die häufigsten Klimaanlage defekte, ihre Ursachen und Beseitigungsmöglichkeiten findet sich u.a. in Waeco 3/2000b.

¹³ Ein nicht-emissiver Defekt beim Kondensator kann vorliegen, wenn dieser im Zuge leichter Aufprallvorgänge lediglich verbogen oder eingedrückt wird, ohne schon undicht zu werden. Der Kondensator wird u.U. auch bei sehr starker Verschmutzung, die den Wärmetausch blockiert, ausgetauscht, wenn zu befürchten ist, dass die Dampfstrahlreinigung seine feinen Lamellen beschädigt.

Einbau des Motorkühlsystems. In erster Linie waren es Kondensator und Hochdruckleitungen, die vorübergehend entfernt werden mussten. Eine derartige Klimaanlageöffnung geschieht grundsätzlich nicht wegen der Kältemittelverluste, wenngleich solche evtl. festgestellt und ausgeglichen werden.

3. Unfallschadensfeststellung und Vorbereitung für den Karosseriebau

Rund 24 % der Absaugungen, bei denen Kältemittelverluste unterhalb 40 % festgestellt wurden, wurden an Unfallfahrzeugen durchgeführt.

Wie es emissive und nichtemissive Bauteildefekte gibt, so gibt es auch emissive und nichtemissive Unfälle.¹⁴ Unfälle im Frontbereich des Fahrzeugs können die Klimaanlage stark beschädigen. Das ist die Hauptursache von Kältemittel-Totalverlusten. Allerdings können Unfälle, selbst mit starkem Blechschaden, die Klimaanlage auch unbeschädigt lassen oder nur Verbiegungen seiner exponierten Bauteile bewirken.

Die Absaugung bei einem Unfallfahrzeug dient daher einem doppelten Zweck. Erstens wird der eventuelle Schaden (Kältemittelverlust) der Klimaanlage festgestellt. Zweitens muss das Kältemittel vor Übergabe des Fahrzeugs an den Karosseriebauer ohnehin aus der Anlage entfernt werden. An der vollen Klimaanlage darf weder geschweißt noch gelötet werden. Das gilt auch für Schweiß- und Lötarbeiten am Fahrzeug, ebenso für die Ofentrocknung nach einer Reparaturlackierung, weil die Gefahr besteht, dass sich Teile der Klimaanlage erwärmen und die Hitze einen für ihre Komponenten zerstörerischen Überdruck erzeugt. Außerdem können aus dem Kältemittel Zersetzungsprodukte entstehen, die nicht nur toxisch, sondern auch korrosiv gegenüber Rohrleitungen und Anlagenteilen sind. Gemeint ist vor allem Fluorwasserstoff (HF).

4. Dichtheitsprüfungen auf Initiative des Kunden oder der Werkstatt

Die bisher genannten Absaugungen führten alle nur im Nebeneffekt zu Messungen des Kältemittel-Füllstands. In etwa 30 % der Fälle hatte die Absaugung eine (präventive) Füllmengenmessung zum direkten Ziel.

Zwei Drittel dieser Direktmessungen geschah auf Wunsch oder auf Beschwerde von Kunden hin. Deren Hauptmotiv war Unzufriedenheit mit der Kühlleistung ("kühlt nicht richtig")¹⁵. Der interessante Punkt ist, dass die Messungen im Durchschnitt nur etwa 10-15 % Kältemittelverlust zeigten, nur in Ausnahmen bis zu 30%. Mit anderen Worten: Es ist unwahrscheinlich, dass sich die Kühlleistung nach der Neubefüllung spürbar erhöhte. Meine Vermutung für die zahlreichen Leistungsbemängelungen an intakten Klimaanlageanlagen seitens der Kunden ist diejenige, dass die Erwartungen in die Wirksamkeit von Klimaanlageanlagen höher sind, als sie real erzielt wird.

Ein Drittel der Messungen erfolgte auf Initiative des Monteurs. Motiv hierfür war häufig der (nicht bestätigte) Verdacht, Kältemittelmangel könne die Ursache eines Anlagenfehlers sein, dessen Ursache sonst nirgendwo gefunden wurde.

¹⁴ Bereits Fischer (1997) unterschied zwischen Unfällen, welche die Klimaanlage zerstören, und Unfällen, die sie unbeschädigt lassen.

¹⁵ Ausnahme ist jener Fahrzeughalter, der nach Gummibissen eines Marders wissen wollte, ob seine Klimaanlage noch dicht sei (Sie hatte, nebenbei, kein Gramm Kältemittel verloren). Auch der Fahrer, der vor dem Urlaub in den Süden die Sicherheit einer vollen Anlage haben will, ist nicht die Regel.

III. Schlussfolgerungen für die Schätzmethode der Emissionsraten

Auch ohne Betrachtung der Mittelgruppe der Kältemittelverluste zwischen 40 und 99 % (wo sich die spezifischen Öffnungs-Anlässe der Klimaanlage vermischen und schwerer zu unterscheiden sind), liefert die Analyse der Anlagenöffnungen bei Totalverlusten und Verlusten unter 40 % wichtige Anhaltspunkte für das Hauptziel der Studie, die Abschätzung der jährlichen Emissionsraten von Pkw-Klimaanlagen auf empirischer Basis.

Die - idealtypische - Gegenüberstellung¹⁶ der Klimaanlage-Öffnungen ergibt:

Fazit 1: Hohe (hier: totale) Kältemittelverluste basieren auf irregulären Defekten des Kältekreislaufs. Die entstandene Undichtigkeit führt zum Ausfall der Klimaanlage. Deren Öffnung ist zwingend erforderlich und wird mit dem direkten Ziel der Behebung der Verlustquelle umgehend angestrebt bzw. durchgeführt.

Fazit 2: Begrenzte Verluste (Annahme: bis 40% der Normfüllung) führen für sich genommen nicht zum Ausfall der Klimaanlage. Sie werden lediglich indirekt festgestellt, und zwar bei Anlagenöffnungen, die aus anderen Motiven als der Behebung der Verlustquelle erfolgen: Austausch intern defekter Bauteile, Freilegung des Motors, Entleerung für Karosseriebau, präventive Füllstandskontrolle.

Aus Fazit 1 ergibt sich: Die Werkstattaufzeichnungen, sofern sie lückenlos für ein Jahr geführt werden, enthalten im Prinzip alle Fälle von Reparaturen irregulärer Undichtigkeiten. Damit umfassen sie die Summe der irregulären Emissionen, welche die von der Werkstatt betreuten klimatisierten Fahrzeugen insgesamt erzeugen. Daraus lässt sich eine Jahresrate der irregulären Emissionen ermitteln (s. Kapitel E).

Aus Fazit 2 ergibt sich: Kältemittelverluste unterhalb 40% gehen grundsätzlich nicht auf irreguläre Schäden zurück, sondern sind im Prinzip regulärer, aus der Bau- und Betriebsweise mobiler Klimaanlage resultierender Schwund. Da sie den Anlagenbetrieb nicht stören, werden sie generell nicht direkt gemessen. Eine Teilmenge erfährt jedoch qua Absaugung indirekte Messungen. Diese stellen eine zwar unbeabsichtigte, aber durchaus brauchbare Stichprobe der Normalemissionen dar. Daraus lässt sich eine Jahresrate der regulären Emissionen ermitteln (s. Kapitel D).

Die Jahresraten der irregulären und regulären Emissionen bilden zusammen die Jahresrate der Gesamtemissionen.

¹⁶ Es gilt, sich dieser Idealtypisierung stets bewusst zu sein, da in der Realität keine scharfe Trennlinie zwischen hohen und niedrigen Verlusten verläuft. Auch Totalverluste können durch reguläre und wenig emissive Defekte, die lange genug anhalten, bedingt sein. Ebenso können Kältemittelverluste unterhalb 40% auf irregulären und emissiven Schäden gründen, die nur noch nicht lange genug Zeit für einen größeren Kältemittelaustritt hatten.

D. Die Jahresrate der normalen Emissionen

I. Regulärer Kältemittelverlust intakter Klimaanlageen

Regulärer Kältemittelverlust heißt nicht gleicher Emissionsverlauf für jede einzelne Klimaanlage. Deren Einschaltzeiten streuen breit um den Mittelwert 150 Jahresstunden (Taxis-Reischl 2000) herum. Die für Normalleckagen wohl noch wichtigere Laufzeit des Fahrzeugmotors (Vibrationen, Hitzeentwicklung) streut ebenfalls weit um die durchschnittlich 450 Stunden (dies. 1997) - abhängig von Fahrleistung und Straßenverkehrsverhältnissen. Der Fahrstil des Fahrers wirkt verschieden belastend. Der Umgang mit der Klimaanlage spielt eine Rolle¹⁷. Die den Anlagendruck mitbestimmende Umgebungstemperatur ist nicht für alle Anlagen gleich (Garage oder Stellplatz im Freien). In der Verarbeitungsqualität ist nur selten eine Anlage exakt wie die andere usw.

Der Ausgangspunkt der folgenden statistischen Analyse ist: Regulär emittierende Autoklimaanlagen mit ursprünglich werkseitigem Kältemittel R-134a (ab 1993) haben bis zum Mess-Zeitraum Mitte 1999 - Mitte 2001 zwar unterschiedlich viel Kältemittel verloren, enthalten aber generell noch so viel davon, dass normaler Anlagenbetrieb möglich ist - sofern kein irregulärer Defekt vorliegt.

Als normal bzw. regulär emittierende Klimaanlageen werden - in erster Näherung - diejenigen Klimaanlageen aus der Auswahl herangezogen, bei denen ein Kältemittelverlust unter 40 % festgestellt wurde. Denn 60% des ursprünglichen Kältemittels sind die mittlere Grenze für eine gerade noch intakte Klimaanlage, wenn die Erfahrung der befragten Kältemonteur zugrundegelegt wird. Vgl. die entsprechenden Ausführungen in Kapitel C, Abschnitt II.

Die 40%-Marke ist im Bewusstsein ihrer technischen Unschärfe nach oben und unten zu nutzen - als notwendige statistische Hilfsgröße mangels geeigneterer Kriterien für die zum Anlagenbetrieb "ausreichende" oder "nicht mehr ausreichende" Kältemittelmenge. Dabei ist außerdem die im Kapitel B erörterte grundsätzliche Mess-Ungenauigkeit der Absaugmengen (generelle Abweichung bis zu 50 Gramm) und daher aller empirisch bestimmter Verlustraten mitzubedenken. In dieser Studie kann es nur um Größenordnungen gehen, nicht um absolut exakte Größen selbst.

Die durchschnittliche Kältemittelfüllung der Klimaanlageen mit Verlusten unter 40 % beträgt 825 Gramm, ist folglich etwas geringer als bei allen 678 voll identifizierten Fahrzeugen (848 Gramm). Vgl. Kapitel A. 7. Bei Marke 1 sind es 738 Gramm, bei Marke 2 sind es 831 Gramm und bei Marke 3 sind es 898 Gramm.

II. Alle 282 Emissionsraten < 40 % in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter

Wird für die Gesamtheit der Klimaanlageen mit Kältemittelverlust < 40%, deren Alter ermittelt werden konnte (282 Stück), die zum Zeitpunkt ihrer Öffnung festgestellte Verlustrate (Differenz der Absaugmenge zur werkseitigen Normfüllung) gegen die Zeit-

¹⁷ Nur eine Minderheit der Fahrer lässt die Klimaanlage auch in der kalten Jahreszeit ab und zu kurz laufen. Dies gilt als wichtige Pflegemaßnahme für Schläuche und Dichtungen, um sie durch Kältemittel-Öl-Umlauf vor Versprödung und Austrocknung und damit beschleunigter Alterung zu schützen.

dauer seit Erstzulassung des Fahrzeugs aufgetragen, ist im Streudiagramm (Diagramm 2) ein Zusammenhang zwischen beiden Größen kaum ersichtlich.

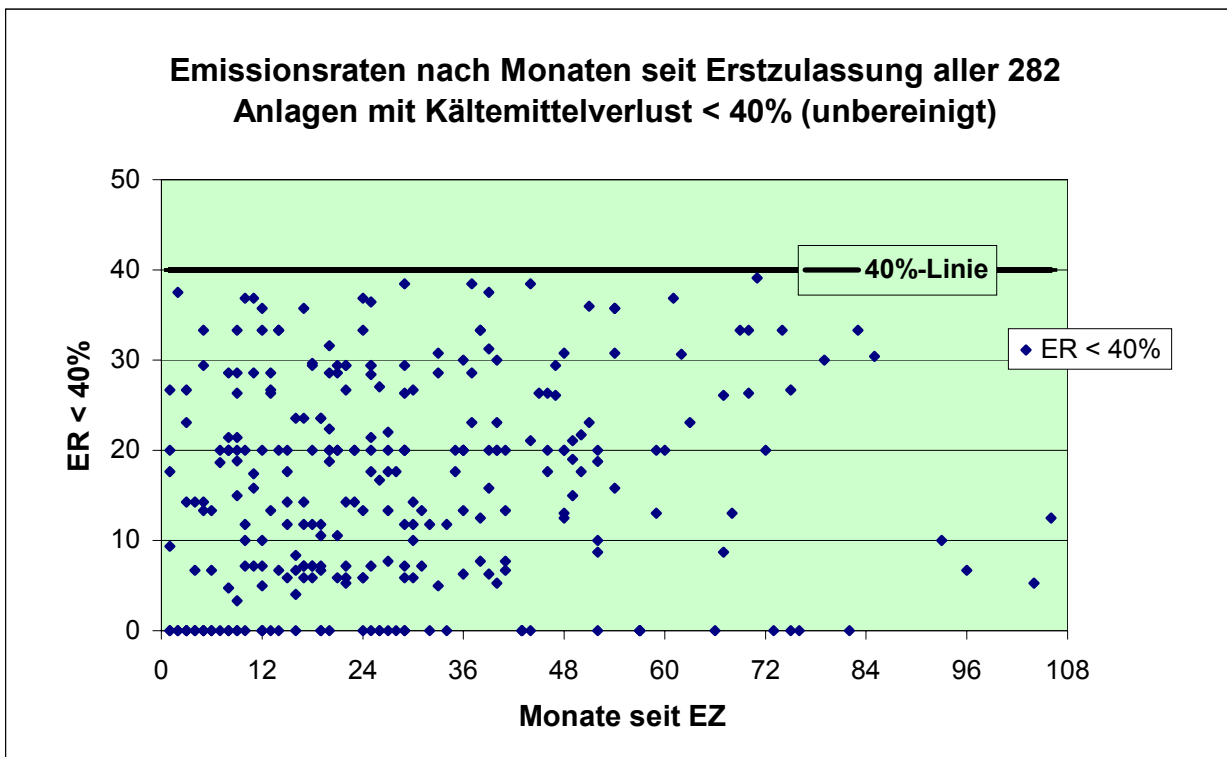


Diagramm 2: Emissionsraten (Verlustraten) nach Monaten seit Erstzulassung aller 282 Anlagen mit Kältemittelverlust < 40% (unbereinigt). Die Datenpunkte der 282 einzelnen Emissionsraten sind unterhalb der 40%-Linie ohne klare Richtung breit gestreut. Lediglich ihre erwartete Häufung auf der linken Seite der x-Achse ist signifikant: Werkstatt-Termine konzentrieren sich auf die ersten 48 Monate, in denen die Garantie- bzw. Kulanzregelung gilt. EZ = Erstzulassung.

Diagramm 2 zeigt unterhalb der 40%-Linie eine diffus gestreute Punktwolke. Lediglich die erwartete Schwerpunktbildung der auf der linken Seite der x-Achse ist signifikant: Die Werkstatt-Termine konzentrieren sich zu 82% auf die ersten 48 Monate, in denen noch die Garantie- bzw. Kulanzregelung für Reparaturen gilt.

Wird aus den breit gestreuten einzelnen Verlustraten der Mittelwert pro Altersjahrgang gebildet (Mittelwert der Monate 0-12, 13-24 usw.), ist ein klarer Trend nicht feststellbar.

Die Jahrgangsmittelwerte steigen zwar bis zum siebten Jahr grundsätzlich an, und zwar von 13 % bis auf 24 %, sinken aber in den beiden folgenden Jahren wieder auf den Ausgangswert. Vgl. Diagramm 3.

Die durch die Punktwolke aus 282 Kombinationen "Emissionsrate nach Monat" führende Kurve der Jahres-Mittelwerte macht keine Abhängigkeit der Emissionsraten vom Fahrzeugalter sichtbar.

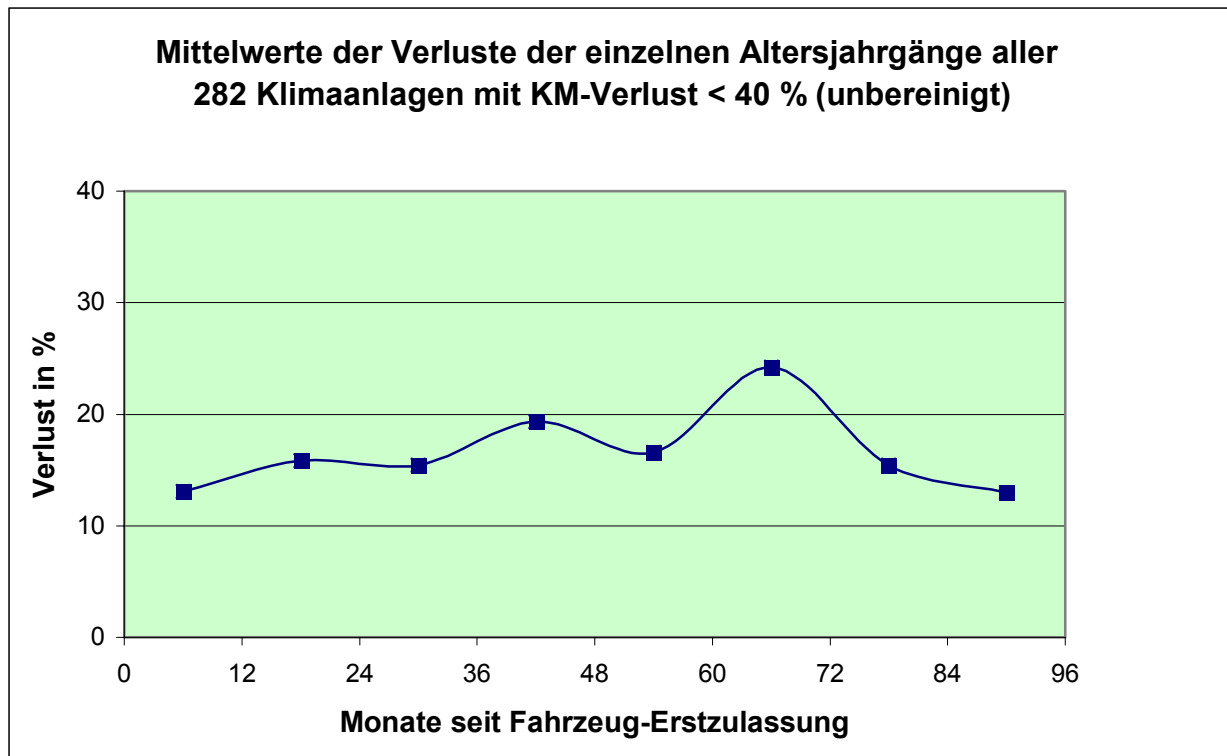


Diagramm 3: Trend der Emissionsraten unter 40 % nach Monaten (unbereinigt). Die durch die Punktwolke des Diagramms 2 (siehe dort) führende Kurve ist im Verlauf nicht eindeutig, um eine Abhängigkeit der Emissionsraten vom Fahrzeugalter sichtbar zu machen. Die Steigung bis zum siebten Jahr (zwischen 54. und 66. Monat) bricht ab. Die Kurve sinkt danach wieder.

Aus Diagramm 2 und 3 folgt, dass die Eingrenzung auf Klimaanlage mit weniger als 40% Kältemittelverlust eine **notwenige, aber keine hinreichende Bedingung** sein kann, um ausschließlich reguläre bzw. normale Emissionen zu identifizieren. Offenbar sind die Emissionsquellen bei den 282 Klimaanlage unter 40% Kältemittelverlust nicht alle regulärer Art. Im nächsten Schritt erfolgt daher eine Bereinigung: Es wird versucht, Anlagen mit irregulären Kältemittelverlusten aus der Gesamtmenge zu eliminieren.

III. Statistische Bereinigung der Normal-Emissionsraten

Nach der statistischen Bereinigung mit dem Ziel, die Fallzahl auf wirklich reguläre Emissionen zu begrenzen, bleiben von den 282 Klimaanlage mit Kältemittelverlust unter 40 % noch 216 (77 %) übrig. Diese sind für mich die unbeabsichtigt durchgeführte Stichprobe auf (a) ausreichend mit Kältemittel befüllte und (b) nur normaler Emission unterliegende Autoklimaanlagen. Sieben der 66 Streichungen erfolgen aufgrund der Erläuterungen in den Nachweisblättern, 59 Mal liegen sogenannte Ausreißer nach oben oder unten vor.

1. Aus den Nachweisblättern als irregulär erkennbar: Sieben Fälle

Die Monteurs-Bemerkungen in den Nachweisblättern gestatten in drei Fällen die Qualifizierung von Kältemittelverlusten < 40 % als irregulär. Zwei Mal nennen sie ausdrücklich Undichtigkeiten am Kompressor und ein Mal einen Unfall als Ursache von Emissionen um 20 % (nach anderthalb Jahren seit Erstzulassung). In vier weiteren

Fällen gehen aus den Nachweisblättern vorausgehender Jahre Vorverluste hervor, die in der Addition mit den Verlusten des aktuellen Jahres (2000, 2001) mehr als 40% Kältemittelschwund ergeben und daher voraussetzungsgemäß ausscheiden.

2. Elimination der Ausreißer nach oben und unten: 59 Fälle

Die meisten irregulären Emissionsfälle werden mittels eines plausiblen Kriteriums als "Ausreißer" nach oben und nach unten identifiziert.

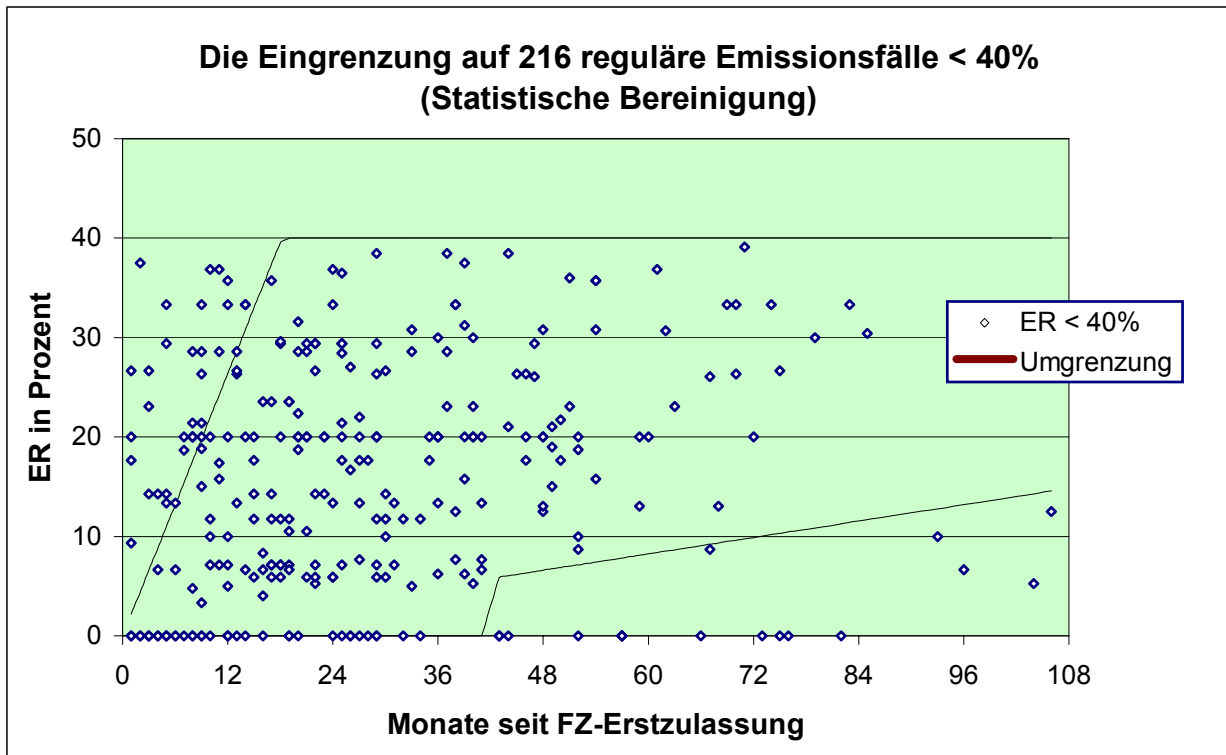


Diagramm 4: Die Eingrenzung auf 216 reguläre Emissionsfälle < 40 %. Es handelt sich um die selben 282 Emissionsfälle wie in Diagramm 2, von denen sich nach der Bereinigung 66 außerhalb (links außen und rechts unten) und 216 innerhalb der Umgrenzung befinden. Grundsätzlich scheiden Emissionsfälle als irregulär bedingt aus, wenn ihre Höhe entweder vier Mal so hoch oder so vier Mal so niedrig (letzteres erst ab 42 Monaten) wie der Durchschnitt ist.

Als Ausreißer nach oben gelten hier Verluste, die das Vierfache des durchschnittlichen Verlustes (vor der Bereinigung) betragen. Dieser Faktor folgt keiner statistischen Faustregel und ist letztlich willkürlich. Entscheidend ist m. E., dass er hoch genug angesetzt ist, um keine Emissionsfälle als irregulär auszuschließen, die möglicherweise normale sind. Emissionen von über dem Vierfachen des Durchschnitts scheinen mir so stark überhöht, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein irregulärer Defekt als Emissionsquelle zugrunde liegt¹⁸.

Der mittlere Verlust pro Monat liegt bei 0,55 % - mithin nach 10 Monaten bei 5,5 %. Konstellationen wie "10 Monate/22 % Verlust" scheiden daher aus ($4 \times 5,5 \% = 22 \%$). Insgesamt erfüllen 38 Fälle dieses Ausreißer-Kriterium nach oben. 33 weisen Verluste

¹⁸ Die Verminderung des Faktors 4 auf 3 für Ausreißer nach oben und entsprechend von $\frac{1}{4}$ auf $\frac{1}{3}$ für Ausreißer nach unten würde insgesamt nur 6 zusätzliche Fälle (3 nach oben, 3 nach unten) ganz knapp ausschließen. Diese Voreinengung des Emissionsbereichs wird nicht für sinnvoll gehalten.

von über dem Vierfachen des Mittelwerts im ersten Jahr auf, 6 weitere nach maximal 17 Monaten. Ausreißer nach oben gibt es definitionsgemäß nur bis maximal 18 Monate Fahrzeugalter, da ab 19 Monaten die 40 %-Emissionsgrenze überschritten wird, oberhalb derer Klimaanlage nicht mehr in Betracht kommen.

Als Ausreißer nach unten gelten Emissionen, die nur ein Viertel der durchschnittlichen Verlustrate (vor Bereinigung) betragen. Derart niedrige Emissionen werden als nicht real angesehen, in dem Sinne, dass bei solchen Klimaanlage ein Vorverlust unterstellt werden muss. Dieses Kriterium gilt jedoch nur für Emissionsfälle bei Fahrzeugen, die älter als 3,5 Jahre oder 42 Monate sind. So lange werden alle Verluste nach unten einschließlich der zahlreichen Null-Emissionen, als regulär betrachtet.

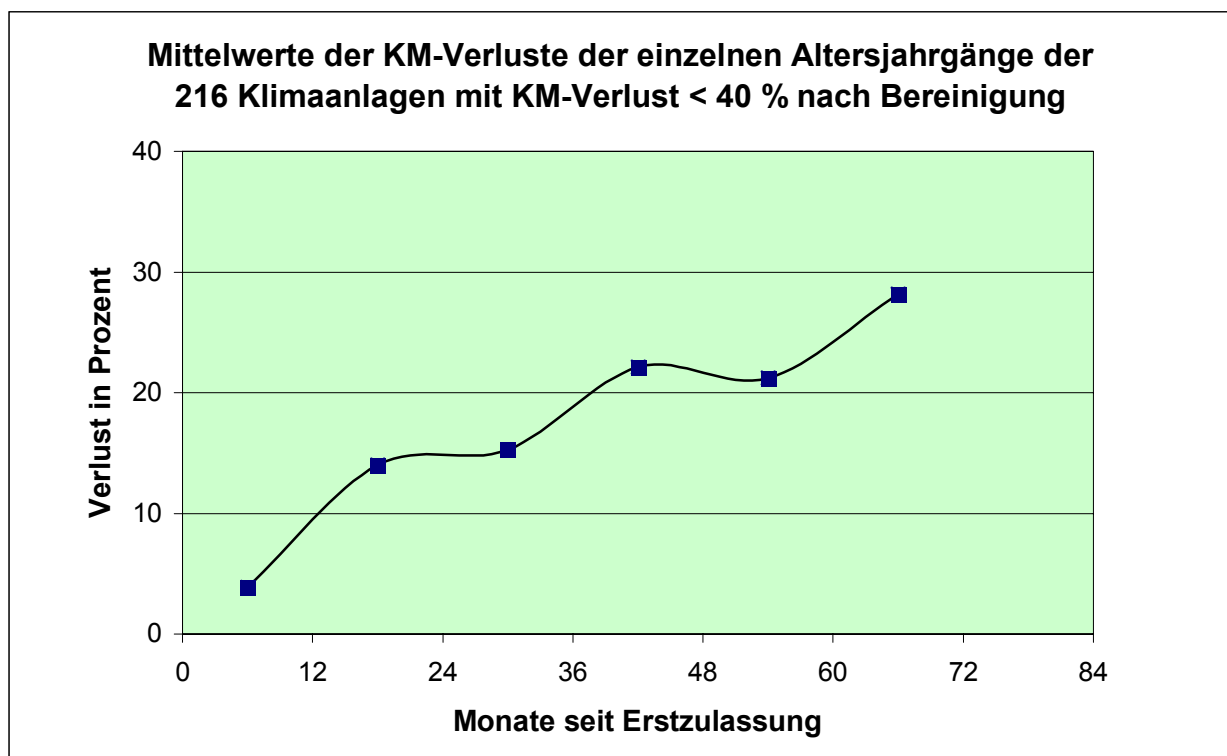


Diagramm 5: Mittelwerte der Kältemittel-Verluste der einzelnen Altersjahrgänge der 216 Klimaanlage mit Kältemittel-Verlust < 40 % nach der Bereinigung. Die Kurve weist nunmehr einen klaren Zunahmetrend auf, der von ca. 4 % (Mittelwert der ersten 12 Monate) bis auf knapp 29 % (Mittelwert der Monate 60 bis 72) verläuft, wenngleich die Steigung zwischen dem 48. und 60. Monat kurz unterbrochen ist. Aufgrund der Bereinigung gibt es für die Zeit über sieben Jahre hinaus keinen sinnvollen Mittelwert mehr, da nur noch ein Verlustfall im Zeitraum danach vorkommt. Gegenüber Diagramm 3 (Trend unbereinigt) zeigen die Jahrgangsmittelwerte der bereinigten Fälle durch ihre Streuung hindurch jetzt eine eindeutige Hauptrichtung von links unten nach rechts oben. Die Kurve wird links nicht mehr durch überhöhte Emissionsraten angehoben und rechts nicht mehr durch untertriebene abgesenkt.

Nach 42 Monaten sind Nullverluste erstens unwahrscheinlich, und zweitens sind 42 Monate der maximale Zeitraum, für den mir lückenlose Aufzeichnungen der Klimaanlageöffnungen vorliegen. Erst ab dem 43. Monat tritt das Ausschlusskriterium weniger als ein Viertel des Durchschnittsverlustes von 0,55 % je Monat in Kraft. Auf diese Weise werden 20 Ausreißer nach unten identifiziert: 14 Nullverluste sowie 5 Verluste unter 10 %. Nur ein Fall über 10 % (12 %) Verlust ist dabei, der nach 106 Monaten festgestellt wurde. Er scheidet wie die anderen deshalb aus, weil bei ihm ein Vorverlust mangels Datenmaterial zwar nicht nachweisbar, aber sehr wahrscheinlich ist.

Die bereinigten Emissionsfälle befinden sich im Diagramm 4 im Innenraum der Umgrenzung. Es wird grafisch sichtbar, wo die Ausreißer nach oben und unten lokalisiert sind: links außen die überhöhten Emissionen der ersten anderthalb Jahre, rechts unten die untertriebenen Emissionen nach den ersten dreieinhalb Jahren. Wie Diagramm 5 sichtbar macht, lassen die nach Elimination der 59 Ausreißer (sowie weiterer sieben irregulärer Fälle) verbliebenen Emissionsraten, werden sie zu Jahres-Mittelwerten zusammengefasst, bereits auf den ersten Blick einen klaren Aufwärtstrend entlang dem Fahrzeugalter erkennen - anders als noch Diagramm 3. Die bereinigten Fälle sind m.E. das geeignete Ausgangsmaterial für den im Abschnitt IV erfolgenden Versuch, die Jahresrate der Normalemission quantitativ zu bestimmen.

IV. Die bereinigte Jahresrate der Normalemissionen von 6,3 Prozent

Die Jahresrate der normalen Emissionen ergibt sich aus dem monatlichen Mittelwert aller 216 bereinigten Emissionsraten für den Zeitraum 0 bis 85 Monate von 0,523 Prozent. Die Jahresrate der regulären Emissionen ist das Zwölfwache des Monats-Mittelwerts: **6,3 Prozent**. Diese Emissionsrate gilt ausdrücklich nur für Klimaanlage bis zum Fahrzeugalter von sieben Jahren und ist aufgrund des letztlich willkürlich gewählten Bereinigungsfaktors mit Unsicherheiten behaftet. Sie setzt sich aus den Emissionsraten aller drei Automarken zusammen, die im nächsten Abschnitt noch auf Unterschiede hin betrachtet werden.

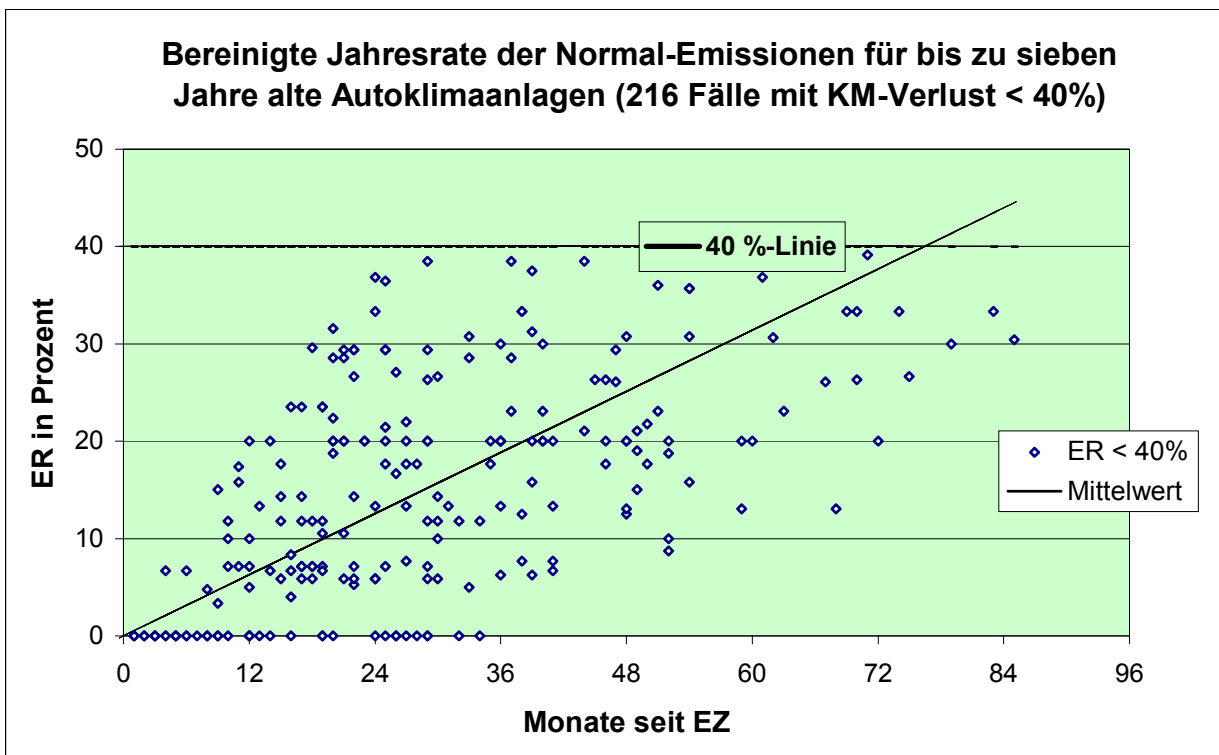


Diagramm 6: Die Jahresrate der Normal-Emissionen bei allen 216 Anlagen mit Kältemittelverlust < 40 % (bereinigt). Der Betrag, um den die Normal-Emissionen jährlich wachsen, ist der Jahres-Mittelwert der Kältemittelverluste aller bereinigten Fälle und in der Grafik folglich eine Gerade. Er beträgt 6,3 Prozent. Die Gerade des Mittelwerts (MW) geht vom Schnittpunkt Null aus und schneidet nach 76 Monaten die 40 %-Linie. Wegen dieser 40 %-Grenze finden sich nach 76 Monaten übrigens nur noch Datenpunkte darunter, nicht mehr darüber, was den MW rechnerisch senkt.

Werden die monatlich 0,52 oder jährlich 6,3 Prozent entlang der x-Achse (Monate seit Fahrzeug-Erstzulassung) aufgetragen, bildet sich eine Gerade, die die 40 %-Marke (gerade noch ausreichend Kältemittel) nach 76 Monaten (76,4), d.h. sechs Jahren und 5 Monaten schneidet.

Da es sich bei den 6,3 % um einen Mittelwert aus breit streuenden Einzelfällen handelt, der große Abweichungen nach oben und unten ausgleicht, heißt das in der Praxis natürlich nicht, dass nach 76 Monaten alle Autoklimaanlagen stillstehen. Die Erfahrung der Autofahrer spricht dagegen: Der eine war in sieben Jahren schon zwei Mal wegen der Klimaanlage in der Werkstatt, der andere noch gar nicht. (Ein dritter hat die Klimaanlage anderswo auffüllen lassen, ein hier nicht weiter untersuchter Fall). Es bedeutet aber, unter Absehung von den sonstigen empirischen Ungenauigkeiten dieser Studie, dass im Durchschnitt jährlich auf nicht-irreguläre Weise 6,3 % der ursprünglichen Kältemittelfüllung verloren gehen, wenn die ersten sieben Jahre zugrundegelegt werden.

V. Unterschiede der Normalemission bei den drei Automarken

Die nachfolgenden drei Diagramme 7-9 zeigen die normalen jährlichen Emissionsraten getrennt nach den drei Fahrzeugmarken. Es ist hier zu betonen, dass die Fälle nicht zahlreich genug sind, um aus ihnen bzw. ihrem Mittelwert unmittelbar mengenmäßige Schlüsse auf die Realität zu ziehen. Gleichwohl sind die Verschiedenheiten wichtig, lassen sie doch die Spannweite der Jahresrate der Normalemission nach unten und oben sehen.

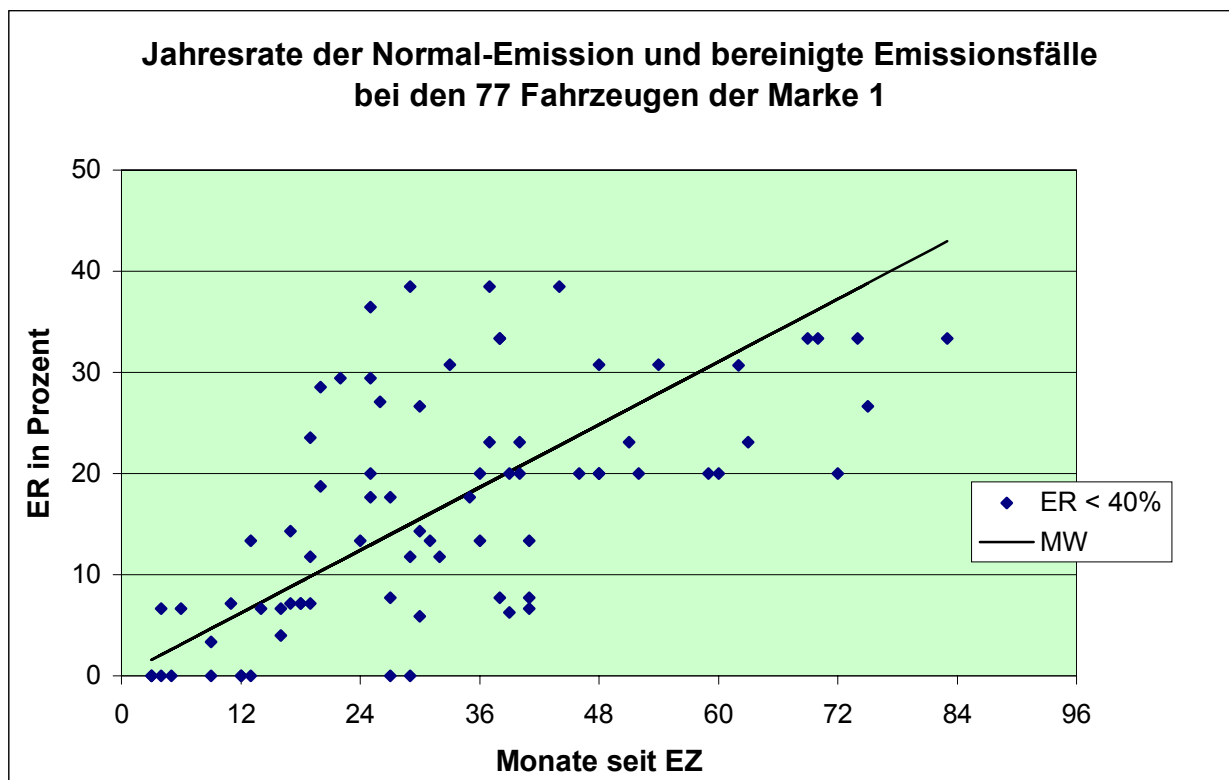


Diagramm 7: Jahresrate der Normal-Emission und bereinigte Emissionsfälle bei den 77 Fahrzeugen der Marke 1. Die Verhältnisse bei der Marke 1 sind fast wie die der Gesamtauswahl: Monatsrate: 0,52 %. Jahresrate: 6,2 %. Schneiden der 40 % nach 77,3 Monaten.

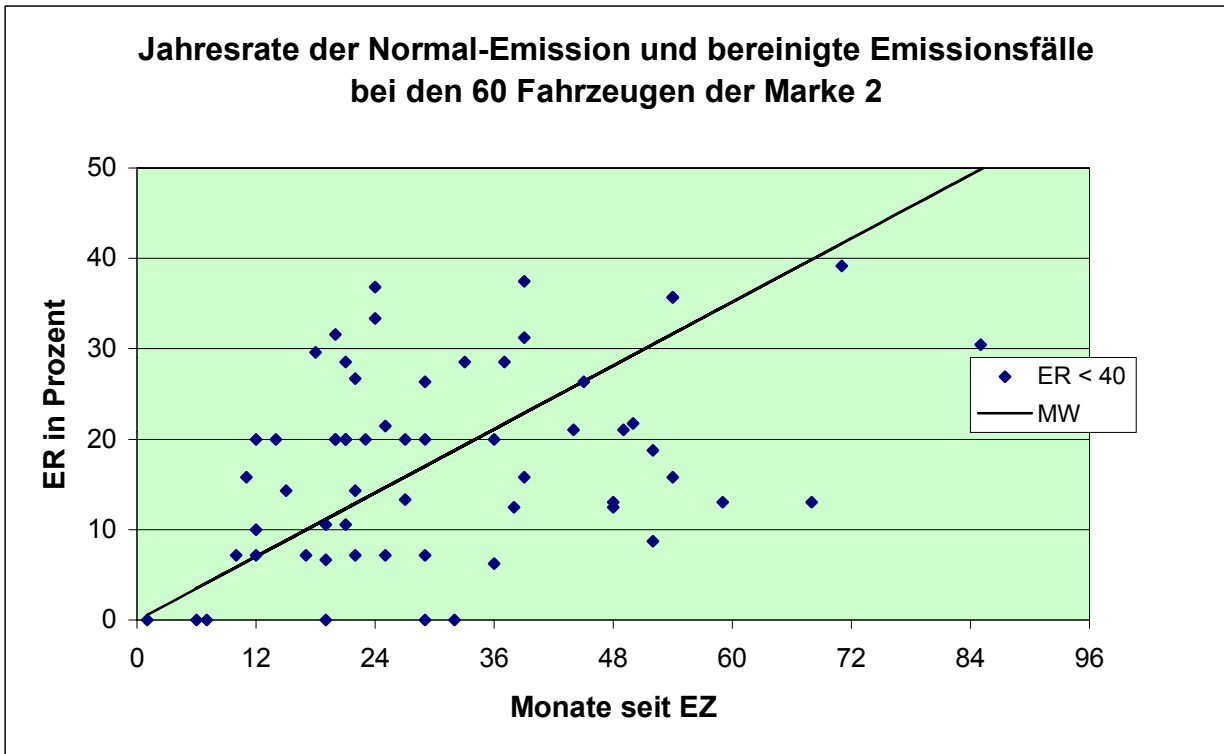


Diagramm 8: Jahresrate der Normal-Emission und bereinigte Emissionsfälle bei den 60 Fahrzeugen der Marke 2. Die Marke 2 weist die höchsten Emissionsraten auf: 0,59 % monatlich und 7,0 % pro Jahr. Die 40 %-Linie wird bereits nach 68,2 Monaten geschnitten.

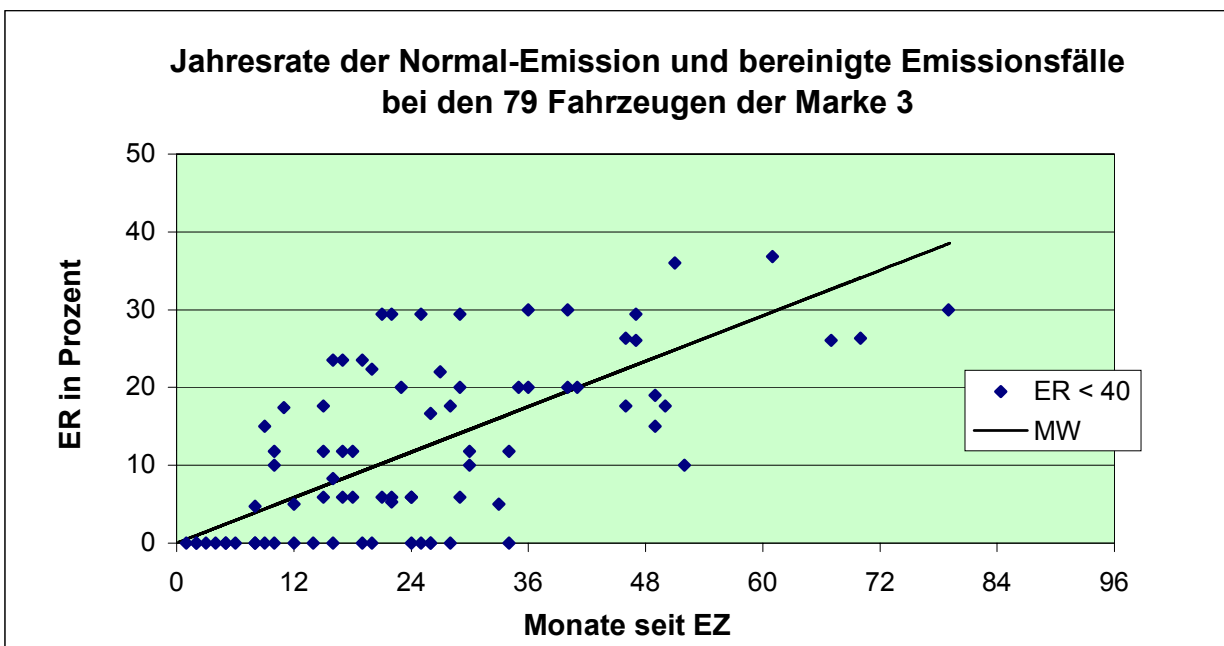


Diagramm 9: Jahresrate der Normal-Emission und bereinigte Emissionsfälle bei den 79 Fahrzeugen der Marke 3. Die Marke 3 hat die niedrigsten Emissionsraten der Auswahl: Pro Monat nur 0,49 % und jährlich 5,8 %. Schneiden der 40 %-Linie erst nach 82,1 Monaten.

Die jährlichen Normal-Emissionsraten differieren zwischen den drei Automarken um über 1 % (5,8 - 7,0). Die 40 % -Linie wird von Marke 2 nach 68 Monaten erreicht, von Marke 3 erst nach 82.

VI. Die Vorgaben der Automobilhersteller für normalen Schwund

Der jährliche durchschnittliche Prozentsatz von 6,3 bedeutet, bezogen auf die durchschnittliche Füllmenge der Klimaanlage unter 40 % Kältemittelverlust von 825 Gramm (s. Einleitung zu diesem Kapitel D) einen normalen (nicht gesamten) Kältemittelschwund von jährlich 52 Gramm.

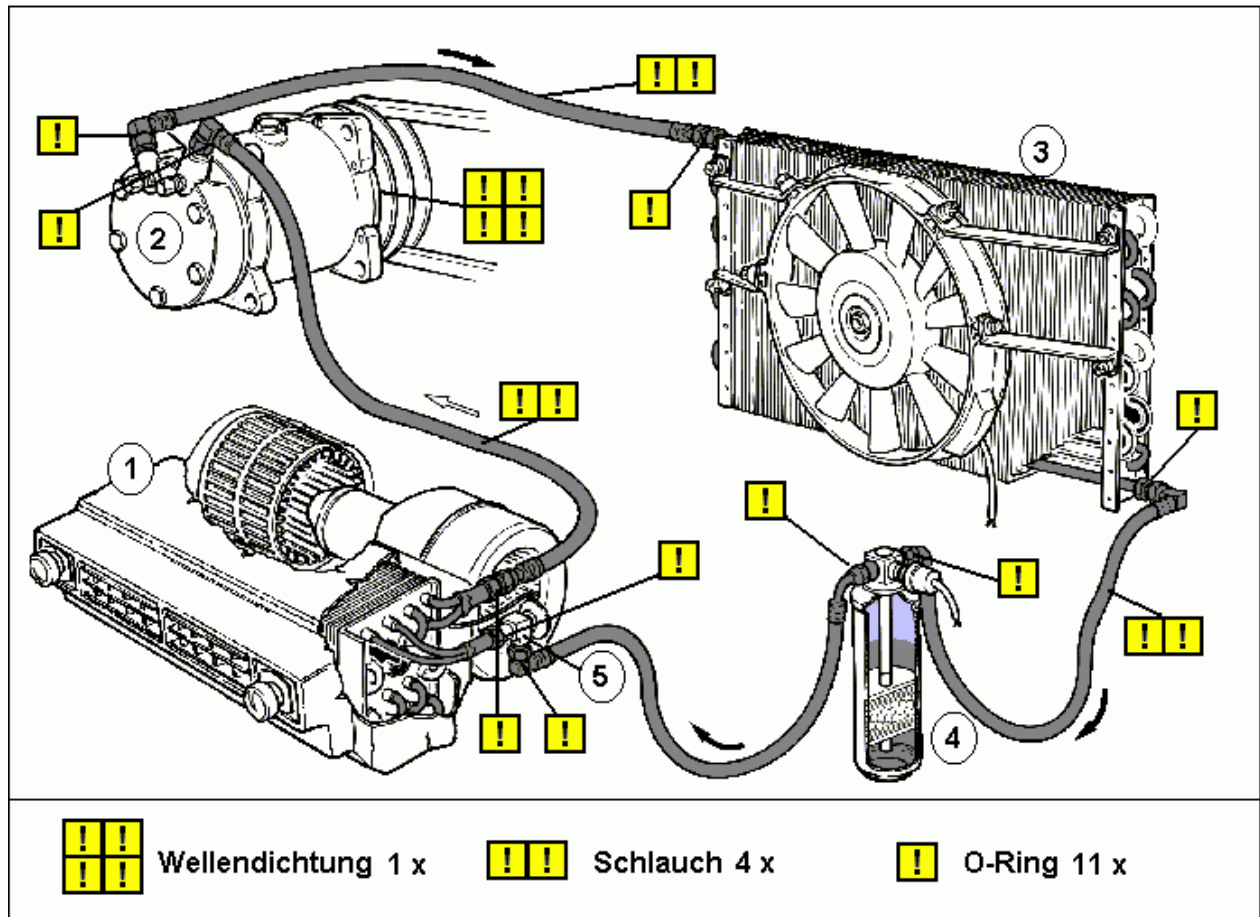


Abb. 3: Autoklimaanlage mit den wichtigsten Austrittsstellen von R-134a im Rahmen normalen Kältemittel-Schwundes nach Vorgaben der Autohersteller. Aus der Wellendichtung des Kompressors sind maximal 10 – 30 Gramm jährlich zulässig (4 Ausrufezeichen). Aus dem Schlauchsystem (im Bild vier Schläuche) insgesamt 10 - 20 Gramm (je zwei Ausrufezeichen). Aus jedem O-Ring (im Bild elf Dichtungsringe) 2 - 3 Gramm. Insgesamt sind bei der abgebildeten Anlage jährliche Verluste von 42 bis 83 Gramm "normal". Die Zahl der Ausrufezeichen (!) entspricht der Bedeutung einzelner Verlustquellen. Kältekreislauf: 1 = Verdampfer. 2 = Kompressor. 3 = Kondensator. 4 = Sammler/Trockner. 5 = Expansionsventil.

Bildquelle: WAECO - modifiziert.

Den Anbietern kompletter Auto-Klimasysteme zufolge (Fachgespräche Klimaanlagen 2001) geben die Automobilhersteller für den Kältemittelverlust durch Dichtungen und Schläuche Spielräume vor, innerhalb derer eine Autoklimaanlage als "dicht" akzeptiert wird. Danach müssen sich die Kältemittelverluste pro Jahr in folgenden Grenzen halten:

- Wellendichtung des Kompressors: 10 – 30 Gramm,
- Flexible Schlauchleitungen 10 – 20 Gramm,
- Pro O-Ring an Bauteil-Anschlüssen 2 - 3 Gramm.

Die Zahl der Anschlüsse an den - ausbaubaren - Bauteilen Kompressor, Verdampfer, Kondensator, Trockner, Expansionsorgan und damit die Zahl der O-Ring-Dichtungen differiert konstruktionsbedingt zwischen sieben und elf. Der Normalschwund durch die O-Ringe darf daher zwischen 14 und 33 Gramm schwanken¹⁹.

Der von den Automobilherstellern zugestandene jährliche Kältemittelverlust beträgt aus allen drei Quellen zusammen zwischen 34 und 83 Gramm.

Die in dieser Studie ermittelten durchschnittlichen 52 Gramm Normalemission pro Jahr pro Klimaanlage unter sieben Jahren Nutzungsdauer liegen etwa in der Mitte des Gesamt-Spielraums. Sie sind kein Widerspruch, eher eine Bestätigung der Realitätsnähe der Vorgaben.

Umgekehrt bestätigen die Spielräume die Realitätsnähe des aufgrund der betrieblichen Nachweisblätter ermittelten Ergebnisses, das übrigens zwischen den drei Automarken von 46 Gramm (Marke 1) bis 58 Gramm (Marke 2) schwankt. Der normale Jahresverlust bei Marke 3 deckt sich mit dem Durchschnittsverlust von 52 Gramm.

¹⁹ Die heute schon antreffbare Integration des Trockners in den Kondensator erspart zwei Anschlüsse und damit Verlustquellen von ca. 5 Gramm. Gleiches gilt auch bei Integration des Expansionsventils in den Verdampfer. Die weitgehend realisierte Verringerung des Elastomer-Anteils an den Verbindungsleitungen zwischen den Bauteilen zugunsten von Aluminium-Rohren hat gleichfalls den Normalschwund verringert. Es gibt jedoch Grenzen für den Ersatz von Schläuchen durch Rohre, u.a. wegen der besseren Wärme- und Schallisolation flexibler Elastomerleitungen. Gerade die am stärksten durch hohe Drücke (bis 20 bar) und Temperaturen ("Überhitzung" des Gases über 100 °C) belastete Einzelleitung, die Druckleitung vom Kompressor zu Kondensator, ist am wenigsten durch Metallrohre zu ersetzen, da sie nicht nur einen sehr großen Durchmesser und Biegefähigkeit braucht, sondern wegen der Anbindung an den vibrierenden Motor ein Ausgleichspotential aufweisen muss.

E. Die Jahresrate der irregulären Emissionen

Zur Ermittlung der normalen Emissionsrate ging ich indirekt vor. Die bei Kältemittelabsaugungen an Autoklimaanlagen unter 40 % Verlust gewonnenen Daten dienten als "Werkstatt-Stichprobe" auf Fahrzeuge, die überwiegend noch gar nicht wegen ihrer Klimaanlage in der Werkstatt waren. Dies ist bei den irregulären Emissionen anders. Diese äußern sich in auffälligen Betriebsstörungen oder in Funktionsausfall und werden vom Fahrer beim Einschalten wahrgenommen. Mit gewissem Zeitverzug, der allerdings in der kalten Jahreszeit mehrere Monate dauern kann (vgl. Diagramm 1 in Kapitel A), erfolgt ein Werkstattbesuch.

Ausgangspunkt nachfolgender Abschätzungen ist: Irreguläre Emissionsfälle, zu deren Behandlung die Öffnung (Absaugung/Befüllung) der Klimaanlage zwingend erforderlich ist, werden grundsätzlich in der zuständigen Werkstatt behandelt und, soweit diese Kältemittel-Nachweise führt, dokumentiert. Die in den Nachweisblättern enthaltenen nicht-normalen Emissionen (alle Kältemittelverluste über 40 % und diejenigen unter 40 %, die bei der Bereinigung in Kapitel D eliminiert wurden) sind daher direkt die Gesamtheit der irregulären Emissionen grundsätzlich aller Fahrzeuge, die zum Normalumkreis einer bestimmten Werkstatt gehören.

I. Inspektionen als Bezugsgröße der irregulären Emissionsfälle

Mit Normalumkreis sind quantitativ alle Fahrzeuge gemeint, die im Falle eines Klimaanlagendefekts in eine bestimmte Werkstatt gebracht würden; anders gesagt: die Fahrzeuge der Stammkunden, im Branchenjargon auch "loyale" Kunden genannt. Welche betriebliche Zählgröße ist dafür geeignet? Die von den Betrieben registrierten täglichen Fahrzeugdurchgänge sind zu hoch, weil sie Mehrfachzählungen eines und des selben Fahrzeugs enthalten. Geeigneter erscheinen die Jahresinspektionen, die vom Betrieb ebenfalls gezählt werden. Regelmäßige Inspektionen bestehen aus "großen" oder "kleinen", die je nach Fahrzeugmarke auch Wartungsdienste oder Pflegedienste heißen. Für den vorliegenden Zweck kommt der Umstand gelegen, dass im bundesweiten Durchschnitt im Jahr 2000 jedes Fahrzeug etwa einer (1,05) regulärer Wartung/Inspektion unterzogen wurde (DAT-Veedol 2001, 23 f.). Mit anderen Worten: Die Zahl der jährlichen Inspektionen kann als Zahl derjenigen Fahrzeuge genommen werden, die den jährlichen Normalumkreis eines Kfz-Betriebes bilden.

Alle neun Autohäuser dieser Auswahl stellten für mindestens einen ganzen Jahrgang mit Kältemittelaufzeichnungen (Jahrgänge 1999 oder 2000 oder die 12 Monate Mai 2000 - Mai 2001) die dazugehörige Zahl sowohl der Fahrzeugdurchgänge als auch der regelmäßigen Jahresinspektionen zur Verfügung. Vgl. Tab. 4.

Tabelle 4: Jährliche Fahrzeugdurchsätze und Inspektionen nach Automarken sowie "irreguläre" Emissionsfälle 1999-2001 in 9 Werkstätten					
	1. Durchsatz	2. Inspektionen	3. zu 2.	4. Irreg. Emissionsfälle	4. zu 2.
Marke 1	30.396	8.495	28 %	113	1,3 %
Marke 2	57.226	16.118	28 %	200	1,2 %
Marke 3	37.966	9.556	25 %	167	1,7 %
Gesamt	125.588	34.169	27 %	480	1,4 %

Quelle: Mitteilungen und Kältemittel-Nachweise von neun Autohäusern für 1999-2001.

Wie Tabelle 4 zeigt, waren von insgesamt 125.588 Fahrzeugdurchläufen 34.169 oder 27 % regelmäßige Jahresinspektionen. Die 34.169 Fahrzeuge sind der feste Umkreis der von den Vertragswerkstätten betreuten Fahrzeuge. Davon wurden im Zeitraum eines Jahres 480 Klimaanlage mit irregulären Emissionen geöffnet, das sind 1,4 % im Durchschnitt aller drei Fahrzeugmarken, die sich übrigens in den Relationen alle sehr ähnlich sind. (Noch die 175 Anlagenöffnungen mit Normalemissionen dazugenommen, wurden 655 Anlagen abgesaugt und befüllt, das sind 1,9 % der "Stammkundenautos".)

Die Zahl der in diesem Kapitel verwendeten Emissionsfälle (480) richtet sich danach, ob der Zeitpunkt ihrer Feststellung (und Eintragung) in einen mir verfügbaren Inspektionsjahrgang (Bezugszeitraum) fällt oder nicht. Liegt der Inspektionszeitraum 2000 vor, fallen Emissionsfälle ab Januar 2001 hier weg, die in anderem Zusammenhang, etwa im vorherigen Kapitel verwendet wurden. Dieser Einengung korrespondiert auf der anderen Seite eine Ausweitung: Da hier an einem Emissionsfall nur Höhe und Fahrzeugmarke interessieren, können auch Fälle berücksichtigt werden, bei denen das Fahrzeugalter oder gar der Typ nicht ermittelt werden konnten.

Gegen die Verwendung der Inspektionen im Zusammenhang mit Klimaanlage wurde betrieblich oft der naheliegende Einwand erhoben, dass die Klimaanlage nicht zum Arbeitsumfang der Routinewartung gehöre und die meisten Störungen vom Kunden selbst außerhalb der Inspektion angezeigt würden. Für vorliegende Zwecke ist dieser Sachverhalt unerheblich. Die Inspektionen sind nichts als die quantitative Bezugsgröße für die dokumentierten Kältemittlemissionen, und zwar ihre Obergrenze.

II. Eingrenzung der Inspektionen auf Fahrzeuge mit Klimaanlage

Die Kältemittlemissionen sind selbstverständlich nicht auf alle inspizierten Fahrzeuge zu beziehen, sondern nur auf diejenigen, die mit einer Klimaanlage ausgerüstet sind.

Die Eingrenzung der Inspektionen auf klimatisierte Fahrzeuge, und zwar solche mit ursprünglicher R-134a-Anlage, erfordert mehrere Zwischenschritte. Kein Autohaus unterscheidet seine Inspektionen nach Fahrzeugen mit und ohne Klimaanlage.

Der Ausrüstungsstand der Neuwagen mit Klimaanlage verzeichnet seit 1993 Jahr für Jahr hohe Wachstumsraten, und eine Sättigung ist heute noch nicht in Sicht. Daraus folgt, dass nicht nur jede Fahrzeugmarke, sondern von dieser wieder jeder einzelne Zulassungsjahrgang eine besondere Ausstattungsquote aufweist, abgesehen von der weitergehenden Differenzierung nach den zahlreichen Fahrzeugtypen einer Marke.

Um für ein markengebundenes Autohaus die Klimatisierungsquote eines Inspektionsjahrgangs (z.B. 2000) zu ermitteln, sind zwei Grundschriffe nötig.

- Erstens sind die gesamten Fahrzeug-Inspektionen des Betriebs nach ihren einzelnen Zulassungsjahrgängen (Altersstruktur) aufzugliedern.
- Zweitens ist für jeden einzelnen Zulassungsjahrgang einer Automarke die spezifische Klimatisierungsquote (MAC-Quote) zu ermitteln.

Erst die Beziehung der jahrgangsspezifischen MAC-Quoten auf die Mengenteile der einzelnen Jahrgänge am laufenden Inspektionsjahr ergibt die MAC-Quote eines

Inspektionsjahres. Dabei ist der Messfehler in Kauf zu nehmen, dass die jahrgangsspezifischen MAC-Quoten nur bundesweit erhältlich sind und von der Quote der von einem bestimmten Autohaus betreuten Fahrzeuge mehr oder weniger abweichen.

1. Modell der Altersstruktur der Jahresinspektionen

Die Autohäuser interessiert an den Fahrzeugjahren in erster Linie, wie hoch der Anteil der Fahrzeuge, die zur Inspektion zu ihnen kommen, am gesamten Altersjahrgang ist (Betriebsloyalität). Darüber, bzw. über die abnehmende Inanspruchnahme einer Vertragswerkstatt mit zunehmendem Fahrzeualter, gibt es auch allgemeine Daten (u.a. DAT-Veedol 2001). Die quantitative Zusammensetzung der Jahresinspektionen nach Fahrzeualter ist eine andere Frage, der die Autohäuser normalerweise nicht nachgehen, obwohl sie mit der ersten zusammenhängt.

Zusammen mit einigen Kundendienst- bzw. -Serviceleitern sowie der regionalen Vertriebsabteilung eines deutschen Herstellers wurde ein Modell der Altersstruktur der Jahresinspektionen entwickelt, das zumindest für das Jahr 2000 der Realität von Vertragswerkstätten recht nahe kommen dürfte. Denn für 2000 ließen sich die Expertenschätzungen am Betriebsrechner dreier Autohäuser (zwei Marken) durch Computer-Durchläufe abstützen, die die inspizierten Fahrzeuge nach dem Jahr der Erstzulassung selektierten. Dieses Modell ist im Diagramm 10 wiedergegeben.

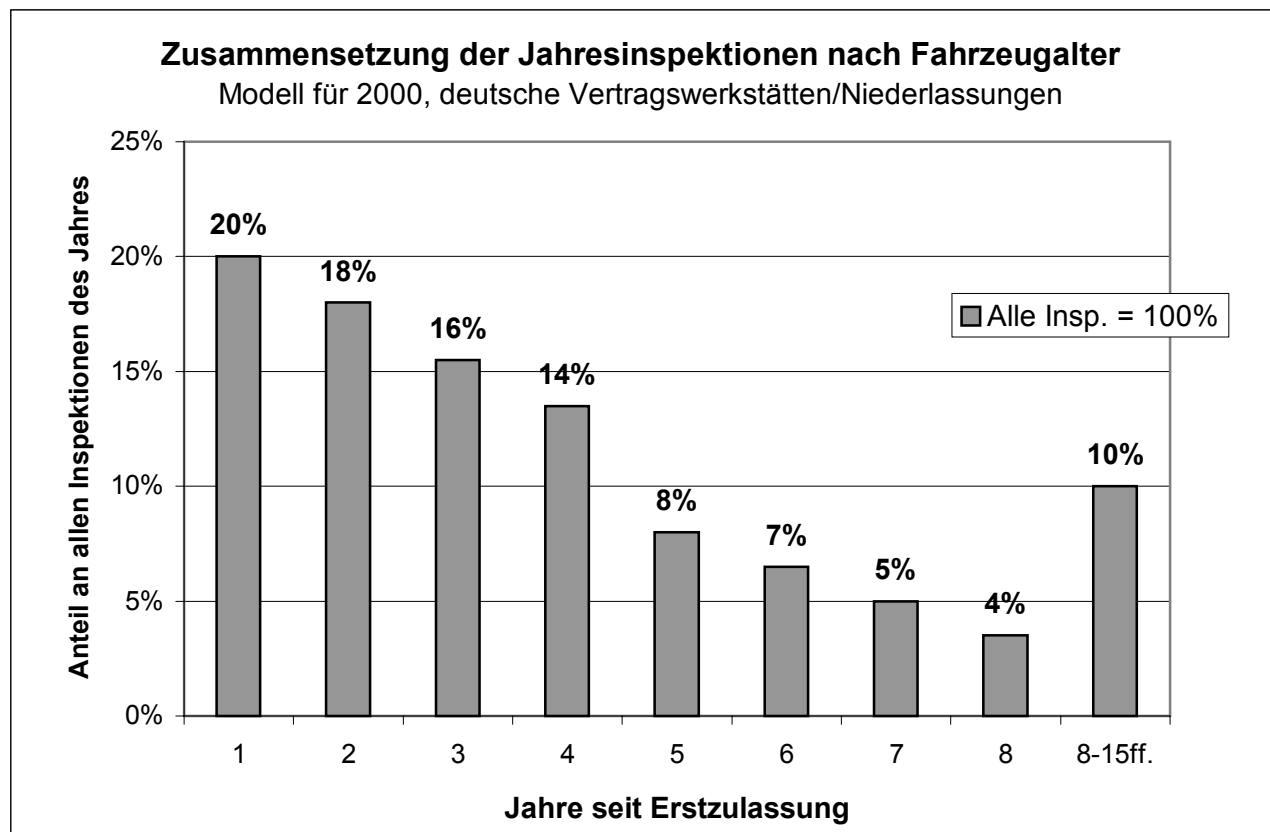


Diagramm 10: Zusammensetzung der Jahresinspektionen nach Fahrzeualter. Modell für 2000, Vertragswerkstätten/Niederlassungen. Auf die vier jüngeren Altersjahrgänge entfallen über zwei Drittel aller Inspektionen. Ältere Fahrzeuge sind zu unter einem Drittel vertreten.

Das Diagramm zeigt deutlich das Übergewicht der vier jüngsten Jahrgänge an den Inspektionen (zusammen 68 %), was aufgrund der vierjährigen Bindungskraft der

Garantie- und Kulanz-Regelungen nicht überrascht. Fahrzeuge über vier Jahre (Zeitpunkt der ersten Besitzumschreibung) machen zusammen nur ein Drittel der Inspektionen aus. Die beiden Säulen rechts außen im Diagramm verdienen besondere Aufmerksamkeit. Im Jahre 2000 hatten 14 % der inspizierten Fahrzeuge ein Alter von acht Jahren und mehr, was bedeutet, dass 14 % der Fahrzeuge mit großer Wahrscheinlichkeit keine werkseitige R-134a-Klimaanlage, die erst ab 1993/1994 wirklich Allgemeingut wurde, hatten.

Das Altersstrukturmodell wird den Inspektionen aller drei fraglichen Bezugszeiträume zugrundegelegt: denen der Jahre 1999 bzw. 2000 und des Zwölfmonatszeitraums Mai 2000 bis Mai 2001.

2. Klimatisierungsquoten der Inspektionszeiträume 1999, 2000 und 2001

Alle sechs deutschen Massenhersteller von Personenwagen übermittelten für 1999 bis 2000 für ihre von fünf (BMW, Audi) bis zu fünfzehn (Ford) verschiedenen Fahrzeugtypen die werkseitige Ausstattung mit Klimaanlage für im Inland abgesetzte Pkw. Zugleich gaben sie typenspezifische Informationen über die von Mitte 1991 bis Ende 1993 dauernde komplizierte Umstiegsphase von R-12 auf R-134a. Zusammen mit den im Öko-Recherche-Archiv befindlichen Daten zu den Jahren 1994 bis 1998 ließen sich daraus für jedes Kalenderjahr die markenspezifischen Klimatisierungsquoten (MAC-Quoten) aus den typenspezifischen ermitteln.

Tab. 5: Ausrüstungsgrad mit Klimaanlage der im Inland abgesetzten neuen Pkw (nur deutsche Marken von 1995 bis 2000)						
Marke	2000	1999	1998	1997	1996	1995
A	97 %	93 %	84 %	84 %	75 %	71 %
B	97 %	93 %	91 %	81 %	75 %	57 %
C	94 %	90 %	87 %	75 %	67 %	58 %
D	80 %	74 %	63 %	46 %	42 %	20 %
E	82 %	78 %	64 %	55 %	40 %	19 %
F	82 %	75 %	66 %	55 %	17 %	11 %

In Tabelle 5 werden diese Quoten ohne Nennung der Automarke wiedergegeben, um Rückschlüsse aus der markenspezifischen Klimatisierungsquote für die Inspektionszeiträume, die sich aus den Quoten von 1992 bis 2000 f. ergibt (s.u.), auf die Identität der drei effektiv ausgewählten Automarken zu verhindern.

Der abschließende Schritt ist die Gewichtung der jahresspezifischen MAC-Quoten mit dem quantitativen Anteil des betreffenden Fahrzeugjahrgangs an den Jahresinspektionen, wie er sich aus dem Modell in Diagramm 10 ergibt.

Auf diese Weise kommen insgesamt neun MAC-Quoten zustande, drei für jede der drei ausgewählten Automarken: eine für das Inspektionsjahr 1999, eine für 2000 und eine für Mai 2000 bis Mai 2001.

Aus dem allgemeinen Wachstum der MAC-Quoten resultiert, wie Tabelle 6 zeigt, dass die MAC-Quote der Inspektionen im Zeitraum Mai 2000 - Mai 2001 deutlich höher als im Jahr 1999 ist. Diese Quoten werden auf absehbare Zeit noch weiter anwachsen.

Tab. 6: Klimatisierungsquoten (MAC-Quoten) der drei Inspektionszeiträume nach Automarken für 1999-2001

Geltungszeitraum	Marke 1	Marke 2	Marke 3
Inspektionen 1999	64 %	37 %	68 %
Inspektionen 2000	73 %	47 %	75 %
Inspektionen 5/2000-5/2001	78 %	53 %	80 %

Eine MAC-Quote von 75 % bei der Marke 3 für "Inspektionen 2000" (Tabelle 6, letzte Spalte, vorletzte Zeile) sagt aus, dass von den Fahrzeugen, die im Jahr 2000 in die Jahresinspektion kamen, 75 Prozent eine werkseitige R-134a-Klimaanlage hatten.

3. Die Werkstatttrate der klimatisierten Fahrzeuge

Insgesamt 18 Mal konnten ganze Jahre irregulärer Emissionsfälle der drei Automarken auf die respektiven Inspektionszeiträume bezogen werden, in denen sie festgestellt worden waren: 4 Mal für das volle Kalenderjahr 1999, 10 Mal für das volle Kalenderjahr 2000 und 4 Mal für den Zeitraum 5/2000-5/2001. In der Zusammenfassung der einzelnen Berechnungen und gegliedert nach Fahrzeugmarken ergibt sich zunächst der prozentuale Anteil der irregulären Emissionsfälle an den Werkstatt-Inspektionen von Fahrzeugen mit Klimaanlage. Diesen Anteil nennen ich die Werkstatttrate (Tabelle 7).

Tab. 7: Die Werkstatt-Rate (irreguläre Emissionsfälle) der Fahrzeuge mit Klimaanlage der drei Automarken für 1999-2001 (9 Autohäuser)

	Alle Inspektionen	Mittlere MAC-Quote	Inspektionen von MAC-Pkw	Irreg. Emissionsfälle	Werkstatt-Rate
Marke 1	8.495	73 %	6.202	113	1,8 %
Marke 2	16.118	48 %	7.772	200	2,6 %
Marke 3	9.556	77 %	7.370	167	2,3 %
Gesamt	34.169	62 %	21.344	480	2,2 %

In den gleichen Zeiträumen, in denen in den neun Autohäusern 480 irreguläre Emissionsfälle festgestellt und dokumentiert wurden, fanden dort insgesamt 21.344 Inspektionen an klimatisierten Fahrzeugen (nicht an der Klimaanlage!) statt. Die Inspektionen von Fahrzeugen mit Klimaanlage (MAC-Pkw) wurden hier durch Multiplikation der gesamten Inspektionen mit der markenspezifischen MAC-Quote ermittelt. Diese beträgt insgesamt im Durchschnitt der drei Automarken 62 %; sie ist am niedrigsten bei der Marke 2 (48 %) und an höchsten bei der Marke 3 (77 %). Der (rechnerische) Anteil der irregulären Emissionsfälle an den Inspektion von MAC-Pkw oder die "Werkstatttrate der MAC-Pkw" beträgt im Durchschnitt aller drei Marken 2,2 %.

III. Die Jahresrate der irregulären Emissionen

Die Rate der irregulären Emissionen ergibt sich, indem die Werkstatttraten der MAC-Pkw mit den Kältemittel-Verlustraten gewichtet werden, die bei den Klimaanlageöffnungen festgestellt wurden. Diese aus den Nachweisblättern gewonnenen Verlustraten liegen für alle 480 fraglichen Fahrzeuge sowohl in absoluten Größen als auch als Prozentsätze vor. Sie sind ebenso wie die resultierenden markenspezifischen Jahresraten der irregulären Emissionen in Tabelle 8 eingetragen.

Tab. 8: Die Jahresraten der irregulären Emissionen bei Klimaanlage der drei Automarken für 1999-2001 (9 Autohäuser)

	Irreguläre Emissionsfälle	Werkstatt-Rate	Kältemittel-Verlust in kg	Verlust-Rate*	Jahresrate d. irr. Emission
Marke 1	113	1,8 %	67,0	82 %	1,5 %
Marke 2	200	2,6 %	147,3	85 %	2,2 %
Marke 3	167	2,3 %	133,1	84 %	1,9 %
Gesamt	480	2,2 %	347,4	84 %	1,9 %

* Anteile des "Kältemittelverlusts in kg" an der Summe der Normfüllmengen von 81,4 kg (Marke 1), 173 kg (Marke 2), 158,5 kg (Marke 3) bzw. der Summe von 412,9 kg.

Die Jahresrate der irregulären Emissionen ist niedriger als die Werkstatttrate. Die Werkstatttrate beträgt durchschnittlich 2,2 %. Die Jahresrate der irregulären Emissionen beträgt wegen der Verlustrate von weniger als 100 %, nämlich 84 %, nur **1,9 %**.

Diese Rate schwankt für die drei Automarken zwischen 1,5 % (Marke 1) und 2,2 % (Marke 2). Sie ist etwa ein Drittel so hoch wie die Rate der normalen Emissionen (hier 6,3 %).

Es zeigt sich, dass der in Kapitel B benannte Messfehler "unterlassener Eintrag" des Absaugvorgangs die Emissionsrate absolut nur wenig erhöht. Bei 5 % vergessenen Einträgen und einem entsprechend 5 % höheren irregulären Kältemittelverlust stiege die Jahresrate der irregulären Emissionen von 1,9 auf knapp 2,0 Prozent: um (absolut) 0,1 Prozent.

F. Die Jahresrate der Gesamt-Emissionen für maximal sieben Jahre alte Klimaanlage

I. Die errechnete Emissionsrate von 8,2 Prozent

Die durchschnittliche jährliche Rate der Emissionen setzt sich additiv aus der Rate der normalen Emissionen und der Rate der irregulären Emissionen zusammen.

Die Jahresrate der normalen Emissionen beträgt im Durchschnitt 6,3 Prozent. Die Jahresrate der irregulären Emissionen beträgt im Durchschnitt 1,9 Prozent. Daher ist die Jahresrate der Gesamtemissionen auf **8,2** Prozent zu beziffern.

Das bedeutet, dass Personen-Kraftfahrzeuge mit werkseitiger R-134a-Klimaanlage pro Jahr über acht Prozent ihrer Kältemittelfüllung verlieren. Bezogen auf die Durchschnittsfüllmenge (856 g) sind das **70 Gramm** jährlich. Das bedeutet nicht, dass diese Kältemittel alle aufgefüllt werden, was bislang nur für den Teil der Klimaanlage gilt, die irreguläre Verluste und Defekte haben. Die Mehrheit der klimatisierten Fahrzeuge unterliegt nur der normalen Emission und hat noch nicht die kritische Füllstandsgrenze (um 60 % herum) erreicht, weil sie noch zu jung dafür ist.

Auf eine wichtige Einschränkung ist hier aufmerksam zu machen: Die Emissionsraten gelten nur für Fahrzeuge bis maximal sieben Jahre ab Erstzulassung. Ältere Fahrzeuge (über 84 Monate) kommen in der Ermittlung der Normalemissionsrate nicht vor. R-134a-Klimaanlagen gibt es massenhaft erst seit 1993. Es lässt sich nicht sagen, ob die Verluste mit fortschreitendem Alterungsprozess der Anlagen linear weiterverlaufen, oder ob sich die Rate der Normalemission, wie Experten befürchten (Holdack-Janssen 2000) beschleunigen wird.

Schließlich gilt es bei der Rate der Gesamtemission noch zu beachten, dass, eben weil die Fahrzeuge noch nicht so alt sind, mögliche Emissionen bei der Entsorgung in den 6,3 % (Normalrate) oder 8,2 % (Gesamtrate) noch nicht berücksichtigt sind.

Trotz der eingeschränkten Aussagekraft aufgrund der geringen Fallzahlen sei noch ein Blick auf die Unterschiede der Emissionsraten bei den drei verschiedenen Fahrzeugmarken erlaubt. An Tabelle 9 ist m. E. weniger von Bedeutung, dass die Marke 2 nicht nur bei der Normalrate, sondern auch bei der Rate der irregulären Emissionen (sowie beim Verlust in Gramm pro Fahrzeug) die höchsten Werte aufweist. Wichtiger erscheint mir der Umstand, dass überhaupt Abweichungen zwischen den Marken existieren, die aggregiert nicht sichtbar sind. Denn diese Abweichungen legen nahe, für die gefundene mittlere Jahresrate der Emissionen von 8,2 einen Spielraum nach oben und unten anzusetzen.

Tab. 9: Jahresraten der Emissionen und Verlust in Gramm pro Fahrzeug bei den drei Automarken				
Fahrzeug	Normal-ER	Irreguläre ER	Gesamt-ER	Gramm/Jahr*
Marke 1	6,2	1,5	7,7	57
Marke 2	7,0	2,2	9,2	79
Marke 3	5,8	1,9	7,7	72
Alle Marken	6,3	1,9	8,2	70

* Die Füllmengen betragen 734 g (Marke 1), 857 g (Marke 2) und 932 g (Marke 3).

II. Fehlerspielräume der ermittelten Größen

Gegen die Studie und ihre Resultate lassen sich grundsätzliche statistisch-methodologische Vorbehalte im Sinne mangelnder Repräsentativität und Aussagekraft erheben. Die Auswahl der untersuchten Klimaanlageanlagen ist gewiss zu klein und stellt außerdem keine systematisch erhobene Zufalls-Stichprobe dar. Dies zeigt sich schon in der Konzentration auf Vertragswerkstätten, die erstens nur einen Teil der klimatisierten Fahrzeuge und zweitens nur den jüngeren davon (Häufung der weniger als vier Jahre alten Fahrzeuge) betreuen.

Diese Mängel waren schon von Anfang an bekannt. Ich begnüge mich mit dem Verweis darauf, dass eine umfassende repräsentative Erhebung im vorgegebenen Rahmen nicht durchführbar war.

Davon abgesehen gibt es aber immanente Fehlerquellen, für die Korrekturfaktoren bzw. Fehlerspielräume eingeführt werden müssen.

Eine wichtige Fehlerquelle zeigte sich im Verlauf der Studie, und zwar in Kapitel D bei der Bestimmung der Normal-Emissionsrate. Die Gleichsetzung von regulären Kältemittelverlusten mit "Kältemittelverlusten unter 40 %" erwies sich bereits nach der ersten grafischen Darstellung (Diagramm 2) als zu schematisch. Ein nicht unerheblicher Teil der Kältemittelverluste kleiner als 40 % geht nicht, wie anfangs angenommen, auf reguläre, sondern auf irreguläre Ereignisse zurück. Diese wurden nach einem Kriterium (mehr als das Vierfache des Mittelwerts) eliminiert, das dem Autor als plausibel erscheint, das aber letztlich willkürlich gesetzt ist und nicht garantieren kann, dass die bereinigte Auswahl tatsächlich nur noch Anlagen mit normalem Kältemittelschwund enthält. Diese Fehlerquelle ist mit der Vorgehensweise einer nachträglichen Auswertung von Kältemittel-Nachweisblättern zwangsläufig verbunden und in ihrer Auswirkung auf das Ergebnis nach Auffassung des Autors nicht zu quantifizieren. Sie wäre durch einen anderen, allerdings viel aufwendigeren, empirischen Ansatz zu vermeiden, der eigene Füllstandsmessungen an intakten Fahrzeugklimaanlagen kontrolliert durchführt und auswertet.

1. Fehler in der Nachweisführung der Absaug- und Befüllvorgänge

Die generelle Ablesefehler-Wahrscheinlichkeit von plus oder minus 25 Gramm wirkt sich in beide Richtungen, nach oben und unten, bis zu 15 % aus.

Wie in Kapitel B erörtert, kann die bei den Eintragungen ins Nachweisblatt erfolgende Rundung auf 50-Gramm-Abstände die Emission nach oben oder unten um 25 Gramm verfälschen. Als Normalemissionen zählen ausnahmslos Kältemittelverluste von weniger als 40 %. Das sind maximal 340 Gramm von den durchschnittlichen 850 Gramm Füllmenge. Auf die Mitte zwischen 0 und 40% bezogen, mithin auf 170 Gramm, sind 25 Gramm Abweichung immerhin 15 Prozent.

Auch bei der Rate der irregulären Emissionen spielt der Abrundungsfehler eine gewisse Rolle, wenn auch wegen der Totalverluste längst nicht im gleichen Ausmaß. Es kommen aber die unterlassenen Eintragungen von Kältemittelverlusten hinzu, die ich auf mindestens 5 % geschätzt hatte (Kapitel B. II.5).

2. Abweichungen zwischen den drei Automarken

Die drei Automarken miteinander verglichen, weichen sowohl die Raten der normalen als auch die Raten der irregulären Emissionen um über 15 % vom Durchschnittswert nach oben oder unten ab.

III. Die Jahresraten der Emissionen mit Fehlerspielräumen

Um sowohl den Messungenauigkeiten als auch den Abweichungen bei den Werten der drei verschiedenen Automarken in dieser Studie Rechnung zu tragen, werden bei den ermittelten Emissionsraten jeweils Fehlertoleranzen im Mindestumfang von 25 % nach oben und unten festgesetzt. Diese Spielräume werden auch grafisch im Diagramm 11 dargestellt.

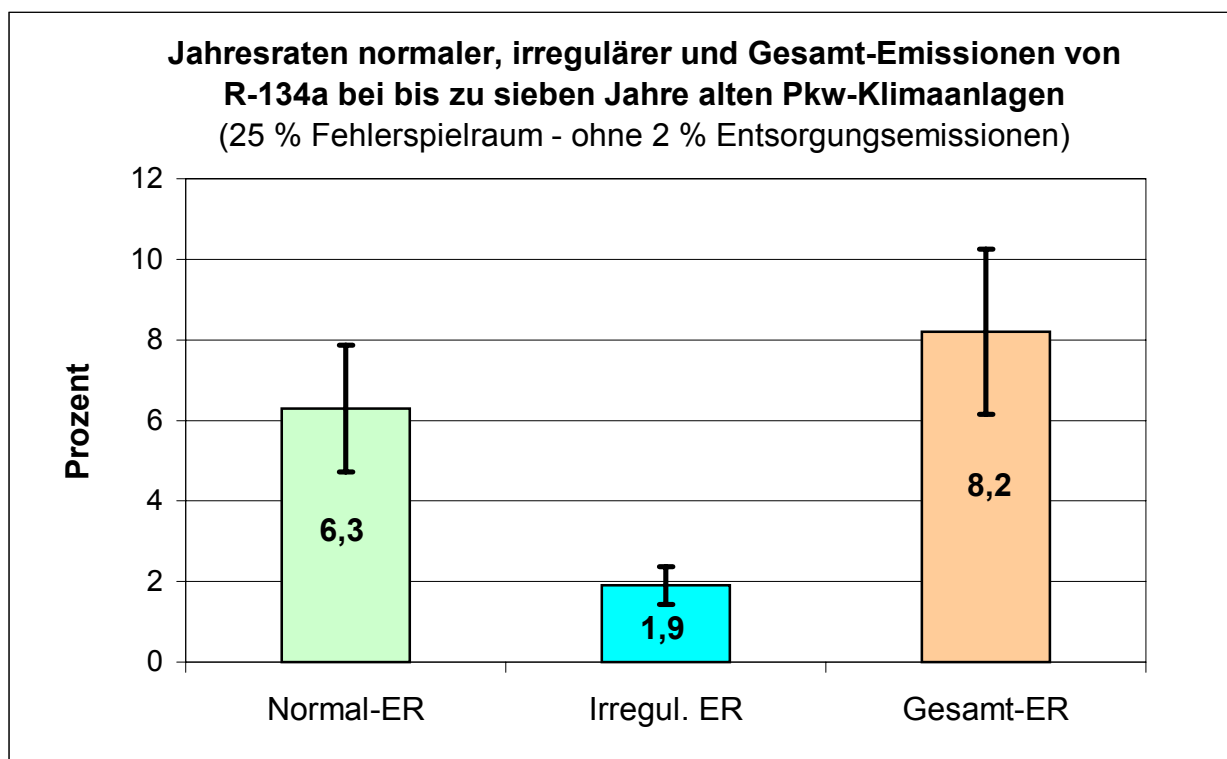


Diagramm 11: Jahresraten der normalen, irregulären und Gesamt-Emissionen bei maximal sieben Jahre alten Autoklimaanlagen - mit Fehlerspielraum 25 % und ohne ca. 2 % jährliche Entsorgungsemissionen. Die Gesamtrate 8,2 % setzt sich aus der Normalrate (6,3 %) und der irregulären Emissionsrate (1,9 %) zusammen. Die Untersuchung ergibt die Notwendigkeit eines Fehlerspielraums nach oben und unten von 25 %. Demzufolge bewegt sich die Gesamtrate im Bereich zwischen 6,2 und 10,3 Prozent.

Mit Berücksichtigung eines erforderlichen Fehlerspielraums nach oben und unten in Höhe von 25 %, bewegt sich die Gesamtrate für bis zu sieben Jahre alte Klimaanlagen (ohne Entsorgungsverluste) zwischen 6,2 und 10,3 Prozent. Die laufenden Gesamtemissionen von R-134a aus Pkw-Klimaanlagen sind für das Jahre 2000 auf den Bereich von 685 bis 1140 Tonnen einzugrenzen. Die verschiedenen Werte ergeben sich je nach dem, ob eine Emissionsrate von 6,2 % (Minimum) oder 10,3 % (Maximum) auf die in inländischen Pkw umlaufenden 11 500 Tonnen Kältemittel angelegt wird. Die 11 500 t wiederum resultieren aus folgenden Parametern: 13 Mio. klimatisierte Pkw (30 % Ausstattungsquote des Gesamtbestands) und 850 g durchschnittliche R-134a-Füllung.

IV. Entsorgungsemissionen heben die Jahresrate auf zehn Prozent

Es ist hier noch einmal daran zu erinnern, dass eine für die ersten sieben Nutzungsjahre ermittelte jährliche Emissionsrate grundsätzlich anders, nämlich niedriger, ausfällt als eine jährliche Emissionsrate, die sich aus der gesamten Lebensdauer ergibt. Hier wäre zunächst die von manchen Experten (u.a. Holdack-Janssen 2000) befürchtete alterungsbedingte Beschleunigung der normalen Anlagenundichtheit zu erwähnen, die im Rahmen dieser Studie nicht überprüft und auch nicht quantifiziert wurde. Die Rate der Normalemissionen bleibt hier bei 6,3 %.

Wichtiger sind die Verluste bei der Altauverschrottung. Die Schwachstelle sind nicht die inländischen Altau-Verwerter. Diese sind bereits jetzt in großem Umfang mit Servicegeräten zur Kältemittel-Absaugung ausgestattet, und in den kommenden Jahren dürfte sich die Situation dank nationaler und EU-weiter Regulierung weiter verbessern. Die Schwachstelle ist der Umstand, dass den ca. 1400 inländischen Verwertern gegenwärtig nicht einmal die Hälfte der gelöschten Altfahrzeuge (1,3 – 1,5 Mio. Stück) zugeführt wird (Arge Altau 2000, 34). Etwa die Hälfte eines ursprünglichen inländischen Zulassungs-Jahrgangs wird vorher als Gebrauchtwagen ins Ausland außerhalb der EU exportiert (Arge Altau 2000, 48). Über die Kältemittelabsaugung in den Importländern ist mir nichts bekannt. Sie dürfte aber praktisch keine Rolle spielen, was zugegebenermaßen der Überprüfung bedarf. Diese wäre wichtig, da offenbar "alle westeuropäischen Staaten" (ebenda) mit dem Exportproblem konfrontiert sind.

Wird bei einem klimatisierten Altau eine noch vorhandene Kältemittelmenge von 50 % der Normfüllung zugrundegelegt und schematisch für inländische Verwertung eine 100-prozentige Kältemittel-Rückgewinnung und für exportierte Fahrzeuge gar keine angenommen, dann werden insgesamt 25 % der Kältemittel, bezogen auf einen ganzen Altersjahrgang, nicht zurückgewonnen.

Interessanterweise wurde eine maximal 75-prozentige Rückgewinnung bei R-134a-Klimaanlagen bereits 1996 von Pettersen/Hafner – bislang unwidersprochen – öffentlich vorgetragen. Auch Tujibayashi kam 1999 für den Inselstaat Japan auf die gleiche Größenordnung (70 %), und zwar als anzustrebendes Ziel für das Jahr 2010.

Auf 12 bzw. 13 Jahre Lebensdauer einer Autoklimaanlage verteilt bewirken die Entsorgungsverluste einen Anstieg der Jahresrate der Gesamtemissionen um 2 %. Diese bewegt sich infolgedessen im Bereich von zehn Prozent, sofern sich mittelfristig die Situation nicht wesentlich ändert.

Es existiert ein großes Abschätzungsrisiko für die Kältemittel-Emissionsraten, sobald der Zeitraum der ersten sieben Jahre überschritten wird.

Exakte Zahlenwerte sind und waren übrigens nicht das Ziel dieser Studie. In aller erster Linie ging es um die Größenordnung, und zwar für die Emissionen aus werkseitigen R-134a-Klimaanlagen, die maximal sieben bis acht Jahre alt sind.

Diese Größenordnung im Bereich zwischen 6 und 11 Prozent, bzw. unter Einschluss der Entsorgungsemissionen, auf 8 bis 13 Prozent lokalisiert zu haben, halte ich durch diese Studie für geleistet.

G. Zur Frage der Emissionsminderung durch regelmäßige Anlageninspektion

Regelmäßige Wartungen werden von allen Herstellern der Klimaanlage empfohlen (Fachgespräche Klimaanlage 2001). Sie sind aber nicht im Leistungsumfang der Fahrzeuginspektionen enthalten, den die Autohersteller bestimmen. Vorsorgende Wartung findet auf freiwilliger Basis und daher nur selten statt, obwohl viele Autohäuser eine Prüfung intakter Klimaanlage anbieten, vergleichbar der nachfolgend (Kasten) angeführten.

Klimaanlagen-Check (Empfehlung gemäß WAECO)

Alle 12 Monate

Funktionsprüfungen: Hoch- und Niederdruckswerte, Kondensatorlüfter, Temperatur an der Gebläseluft für den Fahrgastraum.

Sichtprüfungen: Verschmutzungen oder Beschädigungen am Kondensator, Fehlersuche an der Klimaanlage mit dem Lecksuchgerät

Alle 24 Monate

Trockner wechseln

Kältemittel absaugen und reinigen, gleichzeitig die Anlage entfeuchten.

Befüllung auf die Normmenge.

I. Klimaanlage-Wartung erhöht Betriebssicherheit

Prüfungen ohne Öffnung des Kältekreislaufs können Anhaltspunkte für Störungen liefern und ev. den Wirkungsgrad der Anlage verbessern, wenn z. B. der verschmutzte Kondensator gereinigt wird. Im letzteren Fall kann der Kraftstoffverbrauch sinken – ein Beitrag zum Klimaschutz. Aufgrund zu niedriger Druckwerte und zu hoher Luftaustrittstemperatur aus dem Verdampfer kann starker Kältemittelverlust vermutet, allerdings nicht behoben werden, solange die Anlage zu bleibt. Lecksuche an der intakten geschlossenen Anlage macht wenig Sinn: Normaler Kältemittelaustritt über Schläuche und Dichtungen wird weder detektiert noch beseitigt. Bei irregulärer Undichtigkeit wiederum erübrigt sie sich, weil Kältemittelmangel die Anlage schon gestoppt hat.

Prüfungen mit Öffnung des Kältekreislaufs der intakten Anlage sind technisch sinnvoller. Das Kältemittel wird im Servicegerät gereinigt, sprich: entfeuchtet. Entfeuchtet wird auch die leere Anlage durch das Vakuum. Trocknerwechsel sorgt dafür, dass nach Schließung der Anlage die Bindung eindiffundierter Feuchtigkeit weitergehen kann. Die Nachfüllung schließlich beugt kältemittelverlust-bedingten Betriebsstörungen vor. Sofern keine irregulären Schäden eintreten, bewirken Reinigung und Nachfüllung von Kältemittel eine größere Funktionszuverlässigkeit der Klimaanlage.

Eine ganz andere Frage ist jedoch, ob durch derartige Maßnahmen effektive Kältemittlemissionen verhindert werden.

II. Regel-Wartung grundsätzlich nicht emissionsmindernd

Die Frage sollte für die verschiedenen Arten von Emissionen einzeln geprüft werden.

Was **Entsorgungsemissionen** betrifft, so hängt deren Vermeidung ausschließlich davon ab, ob das Kältemittel bei der Verschrottung entnommen wird oder nicht. Eine Minderung durch regelmäßige Wartung einschließlich Nachfüllung von Kältemittel gibt es bei dieser Art von Emissionen nicht. (Eher umgekehrt: Die Klimaanlage, die bei der Altautosverschrottung nicht ordnungsgemäß trocken gepumpt wird, bildet mehr Emissionen, wenn sie voll als wenn sie halbleer ist.)

Auf **irreguläre Emissionen**, die durch Unfälle und Steinschlag ausgelöst werden, trifft das gleiche zu. Eine Regelwartung verhindert äußere Beschädigungen der Klimaanlage mit schlagartigem Kältemittelaustritt nicht.

Die **normalen Emissionen** sind in erster Linie der Kältemittelschwund durch die Dichtungen, der unvermeidlich mit der gegenwärtigen Klimaanlage-Bauweise des Kompressorantriebs durch den Fahrzeugmotor verbunden ist (s. Kapitel D. 6). Regelmäßiges Nachfüllen von Kältemittel (Öffnung der Anlage erforderlich) kann zwar den Zeitpunkt immer wieder hinausschieben, ab dem zu wenig Kältemittel zu Betriebsstörungen führt. Aber dadurch werden die Emissionen nicht geringer.

III. Teilweise Vorbeugung irregulärer Emissionen minimal

Von Anbietern der Servicegeräte wurden dennoch zwei Beispiele vorgebracht, wo ihrer Meinung nach regelmäßige Wartungen und Dichtheitsprüfungen Emissionen verhindern könnten (Fachgespräche Servicegeräte 2001). Beide Fälle betreffen irreguläre Emissionen.

1. Zwei Beispiele möglicher Emissionsminderung durch Wartung

Beispiel 1: Wird das Kältemittel nicht regelmäßig gereinigt, dann kann die eingedrungene Feuchtigkeit die Aufnahmekapazität des Trockners übersteigen und mit dem fluorierten Kältemittel aggressive Säure (HF) bilden - mit der Folge innerer Korrosion und Undichtwerdens der metallischen Bauteile.

Beispiel 2: Eine Undichtheit, ob durch innere oder äußere Ereignisse bewirkt, ist noch so klein, dass der Kältemittelaustritt noch zu gering ist, um sich als Störung bemerkbar zu machen. Die undichte Stelle wächst jedoch langfristig zu einer solchen Größe, dass sie tendenziell das ganze Kältemittel durchlässt. Eine rechtzeitige Dichtheitsprüfung würde den Kältemittelaustritt begrenzen.

2. Innere Korrosion durch saures Kältemittel unwahrscheinlich

Das erste Beispiel wird von Experten (Fachgespräche Klimaanlage 2001) als nichtig zurückgewiesen. Erstens sei die Trocknerkapazität so ausgelegt, dass sie die im Normalbetrieb eindringende Feuchtigkeit für die ganze Lebensdauer aufnimmt. Zweitens: Sollte auf irreguläre Weise Feuchtigkeit in den Kältekreislauf gelangen, werde

diese - nichtverdampfende - Flüssigkeit, noch bevor sie Säure bilden kann, den Kompressor mit einem "Flüssigkeitsschlag" schädigen, so dass er ausfällt. Das führe nicht zu Kältemittlemissionen, aber zur Öffnung des Kältekreislaufs in der Werkstatt, um den Kompressor auszutauschen.

Fazit zu Beispiel 1: Eine regelmäßige Entfeuchtung (samt Neuauffüllung) des Kältemittels ist zweifellos sinnvoll, um die Zuverlässigkeit der Anlage zu heben. Aber regelmäßige Inspektionen beugen irregulärem Feuchtigkeitseintritt nicht vor. Wenn es aber zu einem solchen kommt, macht er sich, ohne Kältemittelverlust, als (nicht-emissiver) Bauteildefekt bemerkbar, der zur Störung der Klimaanlage und damit ohnehin zu ihrer Öffnung in der Werkstatt führt.

3. Detektion langsam wachsender kleiner Undichtigkeiten

Das zweite Beispiel berührt die Grundfrage, wie groß eine Leckage sein muss, um im Zuge einer regelmäßigen Dichtheitskontrolle gefunden werden zu können.

Für das manuelle Lecksuchgerät, mit dem eine ungeöffnete Anlage geprüft wird, sind die Hauptemissionen, nämlich normale Kältemittelaustritte durch intakte Dichtungen hindurch, zu klein. Das Gerät spricht nur auf größere Undichtigkeiten an, und da kommt es in aller Regel zu spät. Zuverlässige Lecksuchmethoden sind nur nach Öffnung der Anlage möglich. Hier werden zwei Verfahren angewandt.

Das erste Verfahren ist die Befüllung der abgesaugten Anlage mit flüssigem Stickstoff, der mit Hilfe des Druckminderers aus der unter 200 bar Druck stehenden Gasflasche in die Anlage dosiert wird, um dort Drücke bis 20 bar und mehr aufzubauen, um extreme Betriebsbedingungen zu simulieren. Dann besteht die Chance, mit dem Lecksuchgerät undichte Stellen zu orten, die bei normaler Werkstattumgebung zu wenig Kältemittel durchließen.

Das zweite, wegen seines geringeren Aufwands häufigere, Verfahren ist die Zugabe eines Kontrastmittels bei der Befüllung der Anlage mit Kältemittel (vgl. Kapitel B, III. 2). Der Druck in der Anlage steigt durch das Kältemittel zwar nicht so hoch wie bei Stickstoffzufuhr. Wenn aber nicht sofort ein Farbfleck (sichtbar unter UV-Beleuchtung) die Undichtigkeit anzeigt, wird dem Autofahrer ein erneuter Termin nach einem gewissen Zeitraum angeboten, während dem die Klimaanlage unter realen Bedingungen läuft und die Emissionsquelle sichtbar werden lässt.

Um auf das Beispiel 2 zurückzukommen: Weder die Stickstoff-, noch die Tracermethode²⁰ sind geeignet, um normale Leckagen durch intakte Dichtungen zu bestimmen. Intakte Dichtungen zu wechseln, gäbe auch wenig Sinn. Neue Dichtungen würden das Tempo des Kältemittelaustritts nicht zwangsläufig herabsetzen. Die Verfahren sind jedoch geeignet, um "irreguläre" Emissionsquellen zu detektieren.

Irreguläre Undichtigkeiten, auf die knapp 2 % der Jahresemissionen aus (maximal sieben Jahre alten) Klimaanlagen entfallen, sind im allgemeinen nicht mit schleichendem, sondern raschem Kältemittelaustritt verbunden. Ein durch Steinschlag äußerlich verletzter Kondensator ist spätestens binnen eines Monats durch Lochfraß so undicht,

²⁰ Da der Farbstoff ans Kälteöl, nicht ans Kältemittel, gebunden ist, bildet sich bei minimalen Undichtigkeiten, durch die nur Gas, nicht aber Öl dringen kann, kein Farbfleck.

dass kaum noch Kältemittel in der Anlage bleibt (Hausmann 2001). Im Zuge von Frontalunfällen mit Karosserieschaden erfolgt der Kältemittelaustritt ohnehin schlagartig. Unfälle und Steinschläge sind die mit Abstand häufigsten Ursachen irregulärer Kältemittelverluste (vgl. Kapitel C, I). Auch andere irregulär undicht gewordene Bauteile (Kompressor, Verdampfer, Trockner) zeigen in der Regel einen raschen bis sprunghaften Schadensverlauf, wenn etwa der Kompressor zerbricht oder der Trockner platzt.

Das Loch, das derart langsam und zugleich kontinuierlich wächst, dass es bis zur nächsten Regelinspektion, die in einem halben oder auch erst in zwei Jahren erfolgen mag, den Anlagenbetrieb nicht stört, mag es geben. Aber es ist eine Ausnahme unter den irregulären Schadensfällen. Diese wirken sich hauptsächlich in so kurzfristigem Kältemittelverlust aus, dass eine Wartung im Abstand von zwei oder vier Jahren entweder zu früh oder zu spät kommt. Das Fahrzeug muss sofort in die Werkstatt.

4. Verhinderte und bei der Wartung entstehende Emissionen etwa gleich groß

Wird großzügig angenommen, dass fünfzehn Prozent der irregulären Emissionsfälle von der Art der langsam wachsenden Undichtigkeit sind, die den Anlagenbetrieb vor der Inspektion noch nicht stört, aber bei der Inspektion dennoch gefunden wird. Die verhinderten Emissionen bewegen sich unter dieser Voraussetzung im Bereich von 0,2 % des gesamten jährlichen Kältemittelverlustes. Das sind, bezogen auf die im Jahr 2000 umlaufende Kältemittelmenge von 11 050 t (13 Mio. R-134a-Klimaanlagen à 850 Gramm), verhinderte Emissionen von maximal 22 t jährlich.

Dagegen steht der enorme Aufwand von jährlich 6,5 Mio. Klimaanlageanlagen-Öffnungen im Falle zweijähriger Regelwartung (größer darf der Abstand nicht sein, um solche Undichtigkeiten rechtzeitig zu orten).

Beachtet werden muss, dass sich die pro Wartung üblichen 2 Gramm Befüllungsverluste (s. Kapitel B, III, 1) auf jährlich insgesamt 13 t aufsummieren und dass Serviceverluste im Umfang von 0,1 %²¹ oder 10,4 t entstehen können, wenn die Undichtigkeit nicht beim ersten Werkstatt-Termin gefunden wird.

Folglich werden etwa genauso viele Emissionen durch die Wartung verhindert wie durch die Wartung neu erzeugt.

Fazit: Grundsätzlich beugen regelmäßige Wartungen, obwohl sie die Betriebssicherheit der Anlage erhöhen und zu Kraftstoffersparnis führen können, direkten Kältemittel-Emissionen nicht vor. Im Detail zeigen selbst zwei denkbare Sonderfälle, dass eine turnusmäßige Wartung Kältemittelverluste entweder nicht oder nur um den Preis gleichgroßer Wartungsemissionen verhindert.

²¹ Aus dieser Studie abgeleiteter Prozentsatz: 20,5 kg (bei 29 Pkw) bezogen auf 21 300 Inspektionen klimatisierter Pkw der 9 Autohäuser.

Danksagung und Quellen-Nachweise

Für die positiv-kritische Betreuung dieser Studie sei ganz besonders Frau Katja Schwaab vom Umweltbundesamt gedankt.

Während der ganzen Studie pflegte der Autor Meinungs austausch mit Jochen Harnisch (ECOFYS). Dessen Ideen und Änderungsvorschläge wurden nahezu ausnahmslos berücksichtigt. Auch ihm sei vorneweg mein Dank ausgesprochen.

Bemerkung zu den ungenannten Quellen

Die wichtigsten Informationsquellen der Studie können leider nicht mit Namen benannt werden, ohne die Identität der drei Automarken offen zu legen. Deshalb muss darauf verzichtet werden. Dies ist insofern schade, weil nicht nur die Nachweisblätter, sondern auch, ja vor allem, die Erfahrungen der Kältemonteure aus den neun Werkstätten die wirkliche Basis der Studie darstellen. Kundendienstleiter, Umwelt- und Sicherheitsbeauftragte sowie Ausbildungsmeister und teilweise Geschäftsführer waren ebenso daran beteiligt wie die Auszubildenden, die die Daten aus dem Betriebsrechner übertrugen. Genauso unentbehrlich war die Hilfe der Vertriebsorganisationen der drei Automobilhersteller sowie die Informationen und Anregungen aus den Unternehmenszentralen. Ihnen allen sei hier herzlich gedankt. Vier Namen müssen allerdings wenigstens in der Abkürzung erscheinen: Die Herren F. und S. vom Autohaus L., Herr P. vom Autohaus V., und Dr. M. aus einem der drei Automobilunternehmen.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt selbstverständlich beim Autor allein.

Nachweise

- AFCE (Alliance Froid Climatisation Environment), Projection à 15 ans des émissions de HFC, Rapport d'étude par L. Palandre, D. Clodic, A.M. Pougin, mai 1998;
- Arbeitsgemeinschaft Altauto: 1. Monitoringbericht gemäß Punkt 3.6 der Freiwilligen Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Entsorgung von Altfahrzeugen (Pkw) im Rahmen des Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetzes der Bundesregierung, vorgelegt am 31. März 2000, Berichtszeitraum: 1. April 1998 bis 31. März 2000;
- Autodata: Klimaanlage-Fachbuch Nr. 1. Prüfung und Diagnose der Bauteile für Fahrzeuge mit Markteinführung 1991-1997, Maiderhead (UK) 2000 bzw. Essen 2000;
- Baker, James A. (Delphi Automotive Systems, Inc): Mobile Air Conditioning: HFC-134a Emissions and Emission Reduction Strategies, in: Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs, Petten, 26-28 May 1999;
- Clodic, D., Ben Yahia, M. (Centre d'Energétique, Ecole des Mines de Paris): New Test Bench for Measuring Leak Flow Rate of Mobile Air Conditioning Hoses and Fittings. Earth Technology Conference, Baltimore, 1997.
- DaimlerChrysler AG: Global Training - Basistraining NFZ-/PKW-Klimaanlagen NKE 1 - PKE 1, Stuttgart, 2. Aufl. 2/2001.
- DAT-Veedol-Report 2001 (Untersuchungszeitraum Oktober bis Dezember 2000, Supplement in: kfz-betrieb, Nr 16, v. 19.04. 2001;
- Fachgespräche Klimaanlage: Persönliche Gespräche auf der IAA 2001 mit Vertretern von Klimaanlage-Anbietern. Roland Haussmann (Valeo GmbH & Co GmbH Hockenheim), Herr Ludwig (Behr GmbH & Co Stuttgart), Frank Heiermann (Denso Automotive Deutschland GmbH Eching) und Josef Lohmann (WAECO International GmbH Emsdetten - für Delphi-Diavia Nachrüstklimateure), Frankfurt am Main, 18.09.2001;

- Fachgespräche Servicegeräte: Persönliche Gespräche im Untersuchungszeitraum mit Wolfgang Schmidt (Behr GmbH & Co Stuttgart), Stephan Behring (WAECO International GmbH Emsdetten), Rolf Hägele, Marius Mollesack (Christof Fischer GmbH Stuttgart), Michael John (Techmess-Elektronik GmbH Gunningen), Dieter Holstein (Longus Paul Lange & Co Stuttgart), Karl-Heinz Mettke/Karl-Heinz Baur (Beissbarth GmbH München), Horst König (Robinair SPX Europe GmbH, Hainburg);
- Fischer, Marcus: Klimawirksame Emissionen durch Pkw-Klimaanlagen. Diplomarbeit an der TU Berlin, FB 10, ISS-Fahrzeugtechnik, 1997;
- Hausmann, Roland (Valeo GmbH & Co GmbH) Hockenheim, pers. Mitt., 18.09.2001;
- Holdack-Janssen, Hinrich: Zukünftige Kältemittel in Pkw-Klimaanlagen - CO₂ oder brennbare Stoffe?, in: Reichelt, Johannes (Hrsg.): Fahrzeugklimatisierung mit natürlichen Kältemitteln, Heidelberg 1996, S. 13-26;
- Holdack-Janssen, Hinrich: Entwicklung der Pkw-Klimatisierung, in: Ki Luft- und Kältetechnik 1/1998, 8 ff.;
- Holdack-Janssen, Hinrich (FH Braunschweig/Wolfenbüttel, Institut für Fahrzeugbau), pers. Mitt. 05.10.2000;
- IPCC 1999 = IPCC/OECD/IEA Programme for National Greenhouse Gas Inventories, Good Practice in Inventory Preparation for Industrial Processes and the New Gases, Draft Meeting Report Washington DC, United States, 26-28 January 1999;
- KBA Kraffahrt-Bundes-Amt: Vorab-Information über die Neuzulassungen von Personenkraftwagen in Deutschland nach Herstellern und Typgruppen, Flensburg, 25. Januar 2001;
- Öko-Recherche (Schwarz, W./Leisewitz, A.): R12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, August 1998;
- Öko-Recherche (Schwarz, W./Leisewitz, A.): Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und SF₆ in Deutschland, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Oktober 1999.
- Pettersen, J./Hafner, A.: Energetischer Wirkungsgrad und TEWI von CO₂-Fahrzeugen-Klimaanlagen, in: Reichelt, Johannes (Hrsg.): Fahrzeugklimatisierung mit natürlichen Kältemitteln, Heidelberg 1996, S. 64-77;
- Preisegger, Ewald (Solvay Fluor und Derivate GmbH): Automotive Air Conditioning Impact of Refrigerant on Global Warming, in: Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs, Petten, 26-28 May 1999;
- Schwarz, W: Prognose der Emissionen von R-134a aus Fahrzeug-Klimaanlagen bis 2010/20. DKV-Tagungsbericht Bremen 2000, 27. Jahrgang, Band III, 61-73;
- Taxis-Reischl, Brigitte (Behr GmbH & Co) Stuttgart, pers. Mitt., 04.10.2000;
- Taxis-Reischl, Brigitte (Behr GmbH & Co): Energieverbrauch von Klimaanlagen und Wege zur Verbrauchsreduzierung, in: Sonderdruck Motorkühlung und Klimatechnik: Technische Innovation '97, aus ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 99. Jg., Heft 9/97, S. VII-X;
- Tujibayashi, Yoshiyuki (Nissan Motor Co., Ltd.), Action plan related to emission control of HFC134a refrigerant for automobile air-conditioning systems, in: Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs, Petten, 26-28 May 1999;
- UNEP-RTOC 1998 = UNEP 1998 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, 1998 Assessment, Nairobi 1998.
- VDA (Hrsg.): Grundlagen zur Sachkunde Fahrzeugklimaanlagen, Frankfurt am Main 1996;
- VDA Verband der Automobilindustrie, Tatsachen und Fakten aus der Kraftverkehrswirtschaft, Ausgaben 1992, 1996 und 2000, Frankfurt am Main;
- WAECO International GmbH: Fahrzeugklimatisierung - Technische Grundlagen, Emsdetten 3/2000a;
- WAECO International GmbH: Fahrzeugklimatisierung - Diagnose-Handbuch, Emsdetten 3/2000b;
- WAECO International GmbH: Füllmengen-Handbuch - Filling Capacities, Emsdetten 4/2000.