

CLIMATE CHANGE

08/2015

Konzept zur Bewertung der technischen Innovationen zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben bei stationären Kälte- und Klimaanlagen

CLIMATE CHANGE 08/2015

Forschungskennzahl TE650430

Konzept zur Bewertung der technischen Innovationen zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben bei stationären Kälte- und Klimaanlageanlagen

von

Barbara Gschrey, Bastian Zeiger, Winfried Schwarz
Öko-Recherche GMBH, Frankfurt/Main

Thomas Bader
Coneer GmbH, Würzburg

Prof. Michael Kauffeld
Hochschule Karsruhe, Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Öko-Recherche GmbH
Münchener Str. 23
60329 Frankfurt/Main

Abschlussdatum:

Dezember 2014

Redaktion:

Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Dr. Cornelia Elsner

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/konzept-zur-bewertung-der-technischen-innovationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Juni 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde im Rahmen der Nationalen Klimainitiative mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl TE650430 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

"Konzept zur Bewertung der technischen Innovationen zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben bei stationären Kälte- und Klimaanlageanlagen"	1
Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	12
1 Zusammenfassung	15
1.1 Einführung	15
1.2 Zielsetzung des Vorhabens	15
1.3 Überblick über die Verwendung fluorierter Kältemittel in stationären Kälte- und Klimaanlagen in Deutschland	16
1.4 Aktivitäten der Bundesländer	16
1.5 Planung und Ablauf der Anlagenbesichtigungen	17
1.6 Datenauswertung und Nachrecherchen	17
1.6.1 Beschreibung der erhobenen Daten	18
1.6.2 Auswertung der Daten	20
1.7 Zusätzliche praktisch-orientierte Teile des Vorhabens	24
2 Summary	25
2.1 Introduction	25
2.2 Aims of the project	25
2.3 Overview of the use of fluorinated refrigerants in stationary refrigeration and air conditioning systems in Germany	25
2.4 Activities of the Bundesländer (federal states)	26
2.5 Planning and conducting on-site visits	27
2.6 Data analysis and follow-up work	27
2.6.1 Description of the collected data	28
2.6.2 Data analysis	30
2.7 Additional, practically oriented outcome of the project	33
3 Einführung	34
3.1 Relevante Vorschriften der ChemKlimaschutzV und der bisher gültigen F-Gase- Verordnung	35
3.2 Überarbeitung der F-Gase-Verordnung	36
4 Überblick über die Verwendung fluorierter Kältemittel in stationären Kälte- und Klimaanlagen in Deutschland	37
4.1 Anlagenzahl und Nachfüllmengen in Deutschland	37
4.2 Anwendung: Stationäre Klimatisierung	39
4.2.1 Raumklimageräte (Mobil, Singlesplit, Multisplit und VRF)	40

4.2.2	Zentrale Klimatisierung (Flüssigkeitskühlsätze/Chiller).....	41
4.3	Anwendung: Gewerbekälte	42
4.3.1	Zentralanlagen (Supermarktkälte).....	42
4.3.2	Verflüssigungssätze	43
4.4	Anwendung: Industriekälte	44
4.5	Statistische Daten zur Verwendung von Kältemitteln in Deutschland	45
5	Aktivitäten der Bundesländer	48
5.1	Initiativen zur Umsetzung der ChemKlimaschutzV in den Bundesländern	48
5.1.1	Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit	49
5.1.2	Beispiele für Initiativen auf Landesebene und nachgeordnete Behörden	49
5.1.3	Unterstützung des Vorhabens durch die zuständigen Behörden.....	53
6	Planung und Ablauf der Anlagenbesichtigungen	55
6.1	Erarbeitung des Fragebogens.....	55
6.2	Kriterien zur Auswahl der Anlagen	55
6.2.1	Anlagentypen	55
6.2.2	Kältemittel.....	56
6.2.3	Füllmenge der Anlagen	56
6.2.4	Herstellungsdatum der Anlagen.....	56
6.3	Begehung der Anlagen.....	56
6.3.1	Kontaktaufnahme und Terminabsprache	57
6.3.2	Ablauf der Begehungen	57
6.3.3	Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden.....	57
7	Datenauswertung und Nachrecherchen.....	58
7.1	Methodik der Datenauswertung	59
7.1.1	Begriffe	59
7.1.2	Methoden in der Datenverarbeitung	67
7.2	Beschreibung der erhobenen Daten	69
7.2.1	Besichtigte Anlagen.....	69
7.2.2	Daten aus dem elektronischen Erfassungssystem VDKF-Lec	84
7.2.3	Daten einer Discounterkette.....	95
7.2.4	Zusätzliche Daten zweier Einzelhandelsketten	105
7.2.5	Erläuterungen zu den Datenquellen.....	110
7.2.6	Grenzen der Untersuchung	112
7.3	Auswertung der Daten.....	113
7.3.1	Dokumentation als Faktor in der Auswertung.....	113
7.3.2	Nachfüllmengen und -raten im Vergleich.....	116

7.3.3	Die Rolle von Havarien in den drei Datensätzen	122
7.3.4	Von Leckagen betroffene Bauteile	123
7.3.5	Ursachen für Kältemittelverluste beziehungsweise Emissionen	127
7.3.6	Vorgenommene Reparaturen und Verbesserungen	130
7.3.7	Führung der Aufzeichnungen sowie Einsichtnahme	130
7.3.8	Einhaltung der ChemKlimaschutzV und F-Gase-Verordnung	131
8	Fazit aus der Datenauswertung	134
8.1	Nachfüllmengen und -raten	134
8.2	Die Rolle von Havarien	134
8.3	Von Leckagen betroffene Bauteile	135
8.4	Ursachen für Kältemittelverluste beziehungsweise Emissionen	135
8.5	Vorgenommene Reparaturen und Verbesserungen	135
8.6	Führung der Aufzeichnungen sowie Einsichtnahme	135
8.7	Einhaltung der ChemKlimaschutzV	135
8.8	Zusätzliche Schlussfolgerungen	136
9	Verbesserung der Dichtheit von stationären Kälte- und Klimaanlage	137
9.1	Katalog technischer Möglichkeiten zur Verbesserung der Anlagendichtheit	141
10	Dichtheitsprüfung vor der Inbetriebnahme	144
10.1	EN 378	144
10.2	VDMA-Einheitsblatt 24 243	145
11	Leckageerkennungssysteme	147
11.1	Verfahren mit Additiven	147
11.2	Verfahren mit elektronischen Gassensoren	148
11.3	Innere Leckageerkennungssysteme	149
12	Kurzanleitung zur Überprüfung der Anlagen vor Ort	156
13	Literaturverzeichnis	159
14	Anhang	162
	Anhang I – Checkliste zur Überprüfung von stationären Kälteanlagen vor Ort	163
	Anhang II – Handbuch zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten	168
	Abkürzungen	168
	Die Befüllung von Anlagen	169
	Grundsätzliche Anforderung an die Aufzeichnungen	170
	Muster der manuellen Aufzeichnungen	171
	Elektronische Systeme	173
	Mindestanforderungen an elektronische Erfassung	175
	Anforderung an die Eingabeprozesse	177

Anforderung an die Ausgabeprozesse.....	177
Anforderung an die Datensicherheit.....	178
Datenbanksystem	178
Anhang III – Fragebogen der Anlagenbegehungen.....	179

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Kälte-Klimaanlagen in Deutschland laut Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (Preuß 2009). Angaben in Tausend Anlagen und Anteile am Gesamtbestand in Prozent.	38
Abbildung 2: Nachfüllmengen von F-Gas-Kältemitteln zur Instandhaltung des stationären Kälteanlagenbestands in Deutschland laut Destatis.	39
Abbildung 3: Anzahl der in Deutschland über die Jahre 2006 bis 2012 verkauften Split- Klimageräte (Quelle: JARN Special Issue Mai 2007, Mai 2008, Mai 2009, Mai 2010, Mai 2011, Mai 2012 und Mai 2013).	40
Abbildung 4: Multisplit-Außengerät (Öko-Rech. 2013).	40
Abbildung 5: Flüssigkeitskühlsatz (Öko-Recherche 2013).	41
Abbildung 6: Supermarkt-Zentralanlage (Öko-Recherche 2014).	42
Abbildung 7: Verflüssigungssatz (Öko-Recherche 2014).	43
Abbildung 8: Zwei industriell genutzte Zentralanlagen (Öko-Recherche 2014).	45
Abbildung 9: Emissionen versus Nachfüllmengen einer fiktiven Beispielanlage mit 300 kg Füllmenge in den Jahren 2004 bis 2013. Die Nachfüllmengen in den Jahren 2006 und 2011 gleichen nicht nur Emissionen desselben Jahres aus, sondern auch diejenigen der vorausgehenden Jahre seit der letzten Nachfüllung. Die Emissionen der Jahre 2012 und 2013 wurden bisher nicht ausgeglichen.	60
Abbildung 10: Standorte der durch CONEER GmbH und Öko-Recherche begangenen Anlagen (Quelle: Google Earth).	69
Abbildung 11: Anlagen unter 10 kg, zwischen 10 und 100 kg und über 100 kg Füllmenge im Datensatz aus den Anlagenbegehungen (Füllmenge, Anzahl der Anlagen, Anteil der Anlagen).	70
Abbildung 12: Nominale Gesamt-Füllmenge und Anzahl der betriebenen Anlagen über die Jahre 2008 bis 2012 im Datensatz aus den Anlagenbegehungen.	70
Abbildung 13: Anzahl der durch Begehungen erfassten Anlagen, die mit den Kältemitteln R134a, R404A, R407C, R410A, R422D, R507A und R417A betrieben werden (Kältemittel, Anzahl der Anlagen, Anteil der Anlagen).	71
Abbildung 14: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den einzelnen Jahren über alle erfassten Anlagen, ohne Unterscheidung nach Gerätetypen o.ä. (es wurden nur die Anlagen betrachtet, die im jeweiligen Jahr betrieben wurden). Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.	73
Abbildung 15: Erfasste Nachfüllmengen aus den Anlagenbegehungen pro in Betrieb befindlicher Anlage sowie durchschnittliche Füllmenge in den Jahren 2008 bis 2012.	73

Abbildung 16: Anteil der begangenen Anlagen der pro Jahr nachgefüllt wurde. Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.	74
Abbildung 17: Jährliche Nachfüllraten der begangenen Anlagen bezogen auf das verwendete Kältemittel.....	74
Abbildung 18: Jährliche Nachfüllrate pro Anlage der durch Begehungen erfassten Anlagen, nach Anlagentyp und gesamt.	75
Abbildung 19: Anteil der nachgefüllten Kreisläufe in den Daten der begangenen Anlagen sowie deren Anzahl im erfassten Zeitraum (2008-2013), nach Anlagentyp unterteilt.....	75
Abbildung 20: Nachfüllraten der einzelnen Anlagentypen mit und ohne Havarien aus den Daten der begangenen Anlagen sowie die Anzahl der jeweils von Havarien betroffenen Anlagen im Zeitraum 2008-2013.	76
Abbildung 21: Anteil und Anzahl der von Havarien betroffenen Anlagen nach Anlagentyp (aus dem Datensatz der Begehungen) für den Zeitraum 2008-2013 und bezogen auf die Gesamtmenge der erfassten Anlagen.	77
Abbildung 22: Anteile der Undichtigkeiten an Bauteilen, Verbindungsstellen und Leitungen, Ventilen und ohne Angaben – bezogen auf die nachgefüllten Kreisläufe. Datengrundlage: Anlagenbegehungen.....	78
Abbildung 23: Anzahl von Undichtigkeiten an bestimmten Anlagenteilen (nur die 86 nachgefüllten Anlagen wurden berücksichtigt). Datengrundlage: Anlagenbegehungen.....	79
Abbildung 24: Art der Aufzeichnung in den Daten aus den Anlagenbegehungen.....	80
Abbildung 25: Bei den begangenen Anlagen zur Aufzeichnung verwendete Software.	80
Abbildung 26: Führung der Dokumentation im Datensatz aus den Anlagenbegehungen.....	81
Abbildung 27: Anteil der begangenen Anlagen, für die eine laut ChemKlimaschutzV ausreichende Anzahl an Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurde. Datengrundlage: Datensatz aus den Anlagenbegehungen.	84
Abbildung 28: Anteil der begangenen Anlagen, für die laut ChemKlimaschutzV vorgeschriebene Dichtheitsprüfungen nach Nachfüllungen dokumentiert wurden. Nur Anlagen mit Nachfüllungen wurden beachtet.	84
Abbildung 29: Anlagen zwischen 3 und 10 kg, zwischen 10 und 100 kg und über 100 kg Füllmenge im VDKF-Lec Datensatz (Füllmenge, Anzahl der Anlagen, Anteil der Anlagen).....	85
Abbildung 30: Nominale Gesamtfüllmenge und Anzahl der in VDKF-Lec erfassten Anlagen in den Jahren 2008-2012.....	86
Abbildung 31: Verwendung der Kältemittelfüllmengen in den einzelnen Anwendungsbereichen (> 3 kg Füllmenge) im VDKF-Lec Datensatz (Anlagentyp, Füllmenge, Anteil an Gesamtfüllmenge).	87
Abbildung 32: Anteil von Kältemitteln an der Gesamtfüllmenge im VDKF-Lec Datensatz (Kältemittel, Füllmenge, Anteil an Gesamtfüllmenge).....	88

Abbildung 33: Jährliche Gesamtnachfüllrate im VDKF-Lec Datensatz für die Jahre 2008-2012.....	89
Abbildung 34: Jährliche Gesamtnachfüllrate pro Jahr im VDKF-Lec Datensatz für Anlagen unterschiedlicher Baujahre.....	89
Abbildung 35: Erfasste Nachfüllmengen pro Anlage (in kg) aus der VDKF-Lec-Erfassung sowie die durchschnittliche Füllmenge der im System erfassten Anlagen in den Jahren 2009-2012.....	90
Abbildung 36: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den VDKF-Lec Daten bezogen auf das verwendete Kältemittel.....	90
Abbildung 37: Jährliche Gesamtnachfüllrate im VDKF-Lec Datensatz mit und ohne Havarien sowie die Häufigkeit der Havarie-Ereignisse im jeweiligen Jahr.....	91
Abbildung 38: Häufigkeit der Undichtigkeiten an bestimmten Bauteilen, Rohrleitungen, Ventilen und sonstigen Orten. Datengrundlage: VDKF-Lec-Datensatz.	92
Abbildung 39: VDKF-Lec: Undichte Stellen, ausgedrückt als Anteile aller genannten Leckageorte an Anlagen mit Nachfüllmengen (betroffenes Bauteil, absolute Häufigkeit, Anteil der genannten Leckageorte).	92
Abbildung 40: Häufigkeit der Undichtigkeiten an bestimmten Bauteilen, Rohrleitungen, Ventilen und sonstigen Orten in der Gewerbekälte. Datengrundlage: VDKF-Lec Datensatz.	93
Abbildung 41: VDKF-Lec: Undichte Stellen ausgedrückt als Anteil aller genannten Leckageorte bei Gewerbekälteanlagen mit Nachfüllmengen (betroffenes Bauteil, absolute Häufigkeit, Anteil der genannten Leckageorte).	93
Abbildung 42: Anlagen unter 10 kg, zwischen 10 und 100 kg und über 100 kg Füllmenge im Discounter-Datensatz (Füllmenge, Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl).	95
Abbildung 43: Nominale Gesamt-Füllmenge und Anzahl der betriebenen Anlagen in den Jahren 2009 bis 2013 im Discounter-Datensatz.	96
Abbildung 44: Anzahl der Anlagen im Discounter-Datensatz, die mit den Kältemitteln R134a, R410A, R407C und R4040A betrieben werden (Kältemittel, Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl).	96
Abbildung 45: Jährliche Gesamtnachfüllrate im Discounter-Datensatz in den einzelnen Jahren über alle erfassten Anlagen, ohne Unterscheidung nach Gerätetypen o.ä. (es wurden nur die Anlagen betrachtet, die im jeweiligen Jahr auch betrieben wurden). Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.	98
Abbildung 46: Im Discounter-Datensatz erfasste Nachfüllmengen pro betriebene Anlagen sowie durchschnittliche Füllmengen in den Jahren 2009 bis 2012.	98
Abbildung 47: Anteil der nachgefüllten Anlagen im Discounter-Datensatz. Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.	99

Abbildung 48: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage im Discounter-Datensatz bezogen auf das verwendete Kältemittel.....	99
Abbildung 49: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage sowie Anzahl der nachgefüllten Anlagen im Discounter-Datensatz, nach Anlagentyp.	100
Abbildung 50: Nachfüllraten der einzelnen Anlagentypen mit und ohne Havarien aus den Discounter-Daten sowie die Anzahl der jeweils von Havarien betroffenen Anlagen.	101
Abbildung 51: Einfluss von Havarien auf die jährliche Nachfüllrate im Discounter-Datensatz.	101
Abbildung 52: Häufigkeit von Undichtigkeiten an Bauteilen, Verbindungsstellen und Leitungen, Ventilen und ohne Angaben – bezogen auf die nachgefüllten Kreisläufe. Datengrundlage: Discounter-Daten.....	102
Abbildung 53: Anzahl der Undichtigkeiten an bestimmten Anlagenteilen (nur die tatsächlich nachgefüllten Anlagen wurden berücksichtigt). Datengrundlage: Discounter-Daten.....	102
Abbildung 54: Anteil der Anlagen, für die eine laut ChemKlimaschutzV nicht ausreichende Anzahl an Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurde (Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl). Datengrundlage: Discounter-Datensatz.....	104
Abbildung 55: Anteil der nachgefüllten Anlagen bei denen die durch ChemKlimaschutzV vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen nach Nachfüllungen dokumentiert wurden (Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl). Datengrundlage: Discounter-Datensatz.	105
Abbildung 56: Daten einer Supermarktkette (Kette 2) von Anlagen nach Füllmengen: unter 10 kg, zwischen 10 und 100 kg und über 100 kg (oben Füllmenge, darunter Anzahl der Anlagen, unten Anteil an der Gesamtzahl).....	106
Abbildung 57: Anzahl der Anlagen im Datensatz der zweiten Supermarktkette (Kette 2), die mit den Kältemitteln R134a und R404A betrieben werden (Kältemittel, Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl).....	107
Abbildung 58: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den-Datensätzen der beiden Supermarktketten für die Jahre 2009 bis 2013. Daten der Kette 2 liegen nur für 2012 vor.	107
Abbildung 59: Jährliche Gesamtnachfüllrate pro Kältemittel im Datensatz der beiden Supermarktketten.	108
Abbildung 60: Einfluss von Havarien auf die Nachfüllrate im Datensatz von Kette 2 unter der Annahme, dass es sich ausschließlich um Zentralanlagen handelt.	109
Abbildung 61: Verhältnis der drei Datensätze zueinander. Größenverhältnisse sind nicht maßstabsgetreu wiedergegeben. Der Anteil der freigegebenen bzw. berücksichtigten Anlagen bzw. teilgenommenen Betriebe ist in Klammern angegeben. „Freigegeben“ bezieht sich auf die freiwillige Freigabe der über das VDKF-Lec erfassten Anlagendaten auf Seiten des Anlagenbetreibers. „Nicht berücksichtigt“ bezieht sich auf die	

Anlagen des Discounters, die nicht in der zufälligen Auswahl enthalten sind. „Teilgenommen“ bezieht sich darauf, dass nicht jeder kontaktierte Betreiber einer Anlagenbegehung zugestimmt hat.	112
Abbildung 62: Verteilung der Nachfüllraten in den Daten aus den Anlagenbegehungen.	113
Abbildung 63: Dokumentation der undichten Stellen bei nachgefüllten Kreisläufen. Datengrundlage: Anlagenbegehungen.	114
Abbildung 64: Anteil nachgefüllter Kreisläufe in den Datensätzen aus den Anlagenbegehungen, aus dem VDKF-Lec und dem Discounter- Datensatz.	117
Abbildung 65: Jährliche Gesamtnachfüllraten im Vergleich zwischen den drei Datensätzen.	118
Abbildung 66: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage aus der Anlagenbegehung, dem Discounter- sowie dem Supermärkte-Datensatz.	118
Abbildung 67: Jährliche Gesamtnachfüllraten pro Kältemittel in allen drei Datensätzen für die vier im Datensatz aus der Anlagenbegehung am häufigsten verwendeten Kältemittel.	119
Abbildung 68: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage für R134a, R404A und R422D in Zentralanlagen im Datensatz aus den Anlagenbegehungen sowie für R134a und R404A in Zentralanlagen im Discounter-Datensatz und dem Supermarkt-Datensatz.	121
Abbildung 69: Übergeordnete Leckageorte als Anteil der nachgefüllten Anlagen in den Daten aus den Anlagenbegehungen und im Discounter- Datensatz.	124
Abbildung 70: Häufigkeit der Leckageorte ausgedrückt als Anteil an den nachgefüllten Anlagen. Datensatz aus den Anlagenbegehungen und Discounter- Datensatz.	125
Abbildung 71: Wellenschlauch zwischen Verdichter und Leitungsführung. (Quelle: Öko-Recherche 2014).	126
Abbildung 72: Orte der Kältemittelverluste an 62 Gewerbekälteanlagen in Hessen und Sachsen 1999 (Birndt 1999).	127
Abbildung 73: Gründe für die Bestellung des Serviceunternehmens (Cowan et al 2010).	128
Abbildung 74: Die zunehmenden Kosten eines nicht behobenen Kältemittellecks aufgeteilt in (von oben nach unten) Folgekosten, Reparaturkosten, Kältemittelkosten und zusätzliche Energiekosten (IIR2010).	138
Abbildung 75: Orte der Kältemittelverluste (nach Anzahl der Leckagen, nicht nach Menge!) an 62 Gewerbekälteanlagen in Hessen und Sachsen im Jahr 1999 (FKT1999).	138
Abbildung 76: Vergleich der von zwei Servicefirmen protokollierten Kältemittelleckagen (Cowan et al. 2010).	140
Abbildung 77: Kältemittelleckageorte an Verbundanlagen (Cowan et al. 2010).	140
Abbildung 78: Kältemittelleckageorte am Verdichterverbund (Cowan et al. 2010).	141

Abbildung 79: Veröffentlichte Kältemittelleckageraten von diversen Studien aus verschiedenen Ländern (IIR 2014).	141
Abbildung 80: Einfluss der Kältemittelfüllmenge auf die Überhitzung (rechts (Tassou und Grace 2005)) und auf die Überhitzung und Unterkühlung (links (Choi et al. 2012)).	150
Abbildung 81: Abhängigkeit der Kältemittelüberhitzung am Austritt des Verdampfers von der Kältemittelfüllmenge (Tassou und Grace 2005).	150
Abbildung 82: Einfluss der Kältemittelfüllmenge auf den Verdampfungs- (links) und Verflüssigungsdruck (rechts) (Grace et al. 2005).	151
Abbildung 83: Abhängigkeit der Kälteleistung von der Kältemittelfüllmenge (Grace et al. 2005).	152
Abbildung 84: Abhängigkeit der Kälteleistungszahl von der Kältemittelfüllmenge (Grace et al. 2005).	153

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der geschätzten Anzahl von Kälteanlagen in den relevanten stationären Anwendungen. Nur Anlagen über 3 kg Füllmenge sind hier berücksichtigt.	16
Table 2: Overview of the estimated number of refrigerant systems in relevant stationary applications. Only systems with charges of more than 3 kg of refrigerant are listed.	26
Tabelle 3: ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale Kältemittelverlustraten	35
Tabelle 4: Vorgaben über Dichtheitsprüfungen (DHPs) in der F-Gase-Verordnung	36
Tabelle 5: Anzahl der Betriebe in den verschiedenen Einsatzbereichen von Verflüssigungssätzen.	43
Tabelle 6: Übersicht nach Bundesländern: Erhebung klimawirksamer Stoffe nach UStatG (Abschneidegrenze: Verwendungsmenge < 20 kg/Jahr; Quelle: Statistische Ämter der Länder).....	46
Tabelle 7: Zuständigkeiten in vier Beispiel-Bundesländern	48
Tabelle 8: Übersicht der beteiligten Bundesländer an diesem Forschungsvorhaben	54
Tabelle 9: Havarien und damit verbundene Kältemittelverluste im gesamten Discounter-Datensatz (alle Filialen; im Gesamt sind auch die Havarien von 19 steckerfertigen Aggregaten enthalten).....	63
Tabelle 10: Für die Untersuchung festgelegte Havarie-Untergrenzen für die einzelnen Anlagentypen.	64
Tabelle 11: Anzahl der sich in Betrieb befindlichen Anlagen pro Jahr, Anlagentyp und Größe (2013). Datengrundlage: Daten aus den Anlagenbegehungen.	71
Tabelle 12: Anteil der begangenen Anlagen nach verwendetem Kältemittel (am häufigsten verwendetes Kältemittel für jeden Anlagentyp hervorgehoben).	72
Tabelle 13: Anzahl der durch Begehungen erfassten Anlagen mit Havarien sowie nach deren Größe.	77
Tabelle 14: Beschreibung der Einsicht (Art der Einsicht, Anteil der Anlagen), die Betreiber in die Aufzeichnungen der begangenen Anlagen haben. Die Tabelle bezieht sich auf alle begangenen Anlagen (2008-2013).	81
Tabelle 15: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten aller begangenen Anlagen im Vergleich zu ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverluste.	82
Tabelle 16: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten der nachgefüllten Anlagen im Vergleich zu ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverluste.	82
Tabelle 17: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten ohne Havarien im Vergleich zu ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverluste. Bezug: alle Anlagen.	82

Tabelle 18: Anlagen aus den Begehungen, für die laut ChemKlimaschutzV in 2012 nicht ausreichend Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurden - nach Anlagentyp.....	83
Tabelle 19: Fehlende Dichtheitsprüfungen im Datensatz aus den Anlagenbegehungen dargestellt nach Größe.....	83
Tabelle 20: Anzahl der durch VDKF-Lec in 2008-2013 erfassten Anlagen nach Typ.....	86
Tabelle 21: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den VDKF-Lec-Daten für kleine, mittlere und große Anlagen im Vergleich zu den ChemKlimaschutzV- Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten – in Prozent.	94
Tabelle 22: Jährliche Gesamtnachfüllraten in den VDKF-Lec-Daten für Anlagen unterschiedlichen Alters im Vergleich zu den ChemKlimaschutzV- Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten – in Prozent.	94
Tabelle 23: Anzahl der sich in Betrieb befindlichen Anlagen pro Jahr, Anlagentyp und Anlagengröße (2013) im Discounter-Datensatz.....	96
Tabelle 24: Anzahl der Klimaanlage, Verflüssigungssätze und Zentralanlagen mit bestimmten Kältemitteln im Discounter-Datensatz. Das pro Anlagentyp am häufigsten verwendete Kältemittel ist hervorgehoben.	97
Tabelle 25: Anzahl und Anteil der Anlagen mit Havarien nach Anlagentyp (Discounter- Datensatz).	100
Tabelle 26: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten aller Anlagen im Discounter- Datensatzim Vergleich mit den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten.....	103
Tabelle 27: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten der nachgefüllten Anlagen Discounter-Datensatz im Vergleich mit den ChemKlimaschutzV- Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten.	103
Tabelle 28: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten ohne Havarien im Discounter- Datensatz im Vergleich mit den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten.....	104
Tabelle 29: Anlagen des Discounter-Datensatzes, für die 2012 nicht die vorgeschriebene Häufigkeit von Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurden - nach Anlagentyp.....	105
Tabelle 30: Fehlende Dichtheitsprüfungen im Discounter-Datensatz dargestellt nach Größe.	105
Tabelle 31: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten der Anlagen über 100 kg Füllmenge in den Daten der Kette 2-im Vergleich mit den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten. Die erste Zeile enthält die Raten aller Anlagen, die zweite Zeile nur die der nachgefüllten Anlagen und die dritte die Rate aller Anlagen ohne Havarien. Aufgrund der Datengrundlage konnte der Vergleich nur auf Jahre genau angestellt werden.....	110

Tabelle 32: Informationen über ein Leckageerkennungssystem (wenn installiert).	
Datengrundlage: Anlagenbegehungen.	115
Tabelle 33: Dokumentation der Instandsetzung in den Daten aus den	
Anlagenbegehungen.	115
Tabelle 34: Havarieanteile an der Nachfüllmenge und der jährlichen	
Gesamtnachfüllrate (Anlagenbegehungen und VDKF-Lec: 2008-	
2012 Daten; Discounter: 2009-2012 Daten).	123
Tabelle 35: Rangfolge der am häufigsten genannten Leckageorte in allen drei	
Datensätzen.	125
Tabelle 36: Zusätzlich genannte Gründe für eine Nachfüllung (Qualitative Angaben)	
aus den Anlagenbegehungen.	129
Tabelle 37: Jährliche Nachfüllrate pro Anlage nach Art des Wartungsvertrags.	
Datengrundlage: Daten aus den Anlagenbegehungen.	130
Tabelle 38: Fehlende Dichtheitsprüfungen bei Kreisläufen mit digitalen bzw.	
manuellen Aufzeichnungen im Datensatz aus der	
Anlagenbegehung.	132
Tabelle 39: Messverfahren zur Groblecksuche an Kälteanlagen vor Inbetriebnahme (in	
Anlehnung an VDMA 24 243).	146
Tabelle 40: Messverfahren zur Feinlecksuche an Kälteanlagen vor Inbetriebnahme (in	
Anlehnung an VDMA 24 243).	146

1 Zusammenfassung

1.1 Einführung

Die Bundesregierung hat sich im Rahmen ihrer Klimaschutzziele zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 80-95% bis 2050 gegenüber 1990 verpflichtet. Auch Emissionen von fluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW und FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆; gemeinsam als sogenannte F-Gase bezeichnet) spielen in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle.

F-Gase wurden zum Teil als Ersatzstoffe für ozonschichtschädigende Stoffe entwickelt, und besonders HFKW werden in Deutschland als Kältemittel eingesetzt.

Treibhausgasemissionen aus dem Kälte- und Klimabereich entstehen sowohl direkt durch Kältemittelverluste an undichten Kälteanlagen, sowie indirekt durch den Energieverbrauch dieser Anlagen. In den letzten Jahrzehnten haben die Verwendung, und damit auch die Emissionen von F-Gasen, besonders in der Kälte- und Klimatechnik, stark zugenommen. Aktuell wird auch für die Zukunft ein klar ansteigender Trend prognostiziert. Die Verordnung (EG) Nr. 842/2006 (auch F-Gase-Verordnung genannt) sowie die deutsche Umsetzung dieses Regelwerks in der Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung (ChemKlimaschutzV) legen Auflagen für den Betrieb von stationären Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen fest. Neben Aufzeichnungspflichten und vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen sind an dieser Stelle besonders die Höchstgrenzen für spezifische jährliche Kältemittelverluste aus solchen Anlagen zu nennen.

1.2 Zielsetzung des Vorhabens

Nach vier Jahren Laufzeit der ChemKlimaschutzV wurde im Rahmen dieses Vorhabens untersucht, inwieweit die Verordnung in der Praxis umgesetzt wurde. Es wird zu klären versucht, welche technischen Innovationen für die Einhaltung der oben genannten Höchstgrenzen notwendig waren und in welchem Umfang sie bereits realisiert sind.

Das Vorhaben wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt, den zuständigen Behörden auf Landesebene, Kältetechnik-Verbänden und den Betreibern vor Ort durchgeführt. Um die zentralen Fragen des Vorhabens zu klären, dienten sowohl ausführliche Begehungen von über 300 Kälteanlagen, elektronische Aufzeichnungen von über 35.000 Anlagen sowie auch eine Reihe von Experteninterviews als Datengrundlage.

Im Rahmen des Vorhabens entwickelten die Projektpartner zusätzliche Produkte: eine Checkliste für die Begehung von Anlagen vor Ort, einen Katalog technischer Möglichkeiten zur Verbesserung der Dichtheit von Kälteanlagen und ein Handbuch zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten.

Das Vorhaben wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministeriums im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt. Mit der Nationalen Klimaschutzinitiative initiiert und fördert das Bundesumweltministerium seit 2008 zahlreiche Projekte, die einen Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen leisten. Ihre Programme und Projekte decken ein breites Spektrum an Klimaschutzaktivitäten ab: Von der Entwicklung langfristiger Strategien bis hin zu konkreten Hilfestellungen und investiven Fördermaßnahmen.

1.3 Überblick über die Verwendung fluorierter Kältemittel in stationären Kälte- und Klimaanlageanlagen in Deutschland

Aktuellen Schätzungen zufolge gibt es in Deutschland 110-122 Millionen Kälteanlagen bzw. Wärmepumpen aller Größenordnungen. Darin enthalten sind die zahlreichen Geräte mit kleinen Füllmengen wie die Haushaltskühlgeräte und etwa 38 Millionen Klimaanlageanlagen, aber auch größere Anlagen wie etwa 1,7 Millionen Gewerbekälteanlagen, 575.000 Industriekälteanlagen und 420.000 Supermarktkälteanlagen. Tabelle 1 zeigt aus diesen Schätzungen nur die Zahl der Anlagen über 3 kg Füllmenge.

Tabelle 1: Übersicht der geschätzten Anzahl von Kälteanlagen in den relevanten stationären Anwendungen. Nur Anlagen über 3 kg Füllmenge sind hier berücksichtigt.

Anwendung	Geschätzte Anzahl in Deutschland (Jahr der Schätzung)
Raumklimageräte (große Splitgeräte sowie Multisplit mit und ohne VRF)	1,1 Millionen (2008)
Zentrale Klimatisierung (Flüssigkeitskühlsätze/Chiller)	90.000 (2010)
Zentralanlagen (Supermarktkälte)	420.451 (2008)
Verflüssigungssätze	420.000 (2008-2013)
Industriekälte	575.500 (2011)

Laut den jährlichen Erhebungen zu klimawirksamen Stoffen nach dem Umweltstatistikgesetz (UStatG), wird für die Instandhaltung von Kälteanlagen in Deutschland seit 2007 eine steigende Menge an Kältemitteln eingesetzt. 2012 wurden gemäß diesen Daten 1.352 Tonnen Kältemittel in stationären Kälteanlagen (auch unter 3 kg Füllmenge) nachgefüllt. Aus den UStatG Erhebungen geht außerdem hervor, dass vor allem in der Kfz-Herstellung, im verarbeitenden Gewerbe und im Maschinenbau große Mengen an F-Gasen als Kältemittel verwendet werden.

1.4 Aktivitäten der Bundesländer

Die Umsetzung der ChemKlimaschutzV (und damit auch der F-Gase-Verordnung) ist Sache der Bundesländer. Die Zuständigkeiten für die verschiedenen betrieblichen Vorgaben der Verordnung wie z.B. die Anerkennung gemäß § 5 Abs. 3, die Zertifizierung gemäß § 6 Abs. 1 oder die Überwachung sind jedoch in einigen Bundesländern auf der Ebene von Landkreisen oder sogar Gemeinden angesiedelt. In Baden-Württemberg beispielsweise sind die Landesämter der Kreise und kreisfreien Städte für die Überwachung der Anlagenbetreiber zuständig.

Die Länder werden in Ihrer Arbeit von der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC) unterstützt. Die Ausschüsse der BLAC haben in der Vergangenheit unter anderem durch eine formale und fortschreitende Interpretation der ChemKlimaschutzV und F-Gase-Verordnung zu einer effektiven Umsetzung der Vorgaben beigetragen.

Neben einer aktiven Beteiligung an den Anlagenbesichtigungen stellte eine Vielzahl von Bundesländern für das Vorhaben Informationen zu Initiativen in der Umsetzung der ChemKlimaschutzV zur Verfügung. So berichteten einige Länder von einheitlichen Leitfäden und Checklisten für den Vollzug durch die nachgeordneten Behörden. Ergebnisse von Vollzugsbesuchen auf Kreisebene werden z.B. in Sachsen-Anhalt zentral gesammelt. Außerdem berichteten einige Länder von sogenannten „Kontroll-Offensiven“

und Schwerpunktaktionen mit Fokus auf stationäre Kälteanlagen und die Umsetzung der ChemKlimaschutzV. In ganz Deutschland wurden aufgrund dieser Aktionen in den letzten Jahren einige tausend Kälteanlagen kontrolliert.

Auch auf Kreis- und Gemeindeebene gibt es einige Initiativen. So wurden neben der Durchführung lokaler Kontroll-Offensiven auch z.B. Materialien und Informationen zu den Vorgaben der ChemKlimaschutzV für Betreiber und die Öffentlichkeit erarbeitet.

1.5 Planung und Ablauf der Anlagenbesichtigungen

Der Fragebogen, welcher der Erfassung von Anlagen vor Ort zugrunde lag, beruhte auf Erfahrungen aus der Entwicklung und dem Betrieb des elektronischen Erfassungssystems MobiLec. Er wurde zu Beginn der Studie auf Funktionalität und Korrektheit geprüft und im Laufe der Studie fortwährend evaluiert.

Die Teilnahme an der Studie von Seiten der Betreiber war freiwillig, und es war daher nur bedingt möglich, zu besichtigende Anlagen gezielt auszuwählen. Die Auswahl der 300 besichtigten Anlagen kann dennoch als annähernd zufällig angenommen werden. Es wurde versucht, möglichst viele Anwendungsbereiche und Anlagentypen im empirischen Teil des Vorhabens abzudecken, um die Umsetzung aller relevanten Vorgaben der ChemKlimaschutzV beurteilen zu können. Daher wurden Anlagen nach den folgenden Kriterien betrachtet und deren Betreiber kontaktiert:

- Anlagentyp,
- Kältemittelart,
- Füllmenge,
- Herstellungsdatum.

So wurden die Anlagentypen Gewerbekälte (Zentralanlagen, Verflüssigungssätze und steckerfertige Geräte), Industriekälte, Raumklimageräte (Multisplit- und VRF-Klimageräte) und Flüssigkeitskühlsätze (Chiller) untersucht. Nur Anlagen mit Kältemitteln, die unter die ChemKlimaschutzV fallen, wurden in der Auswahl berücksichtigt. Anlagen, die beispielsweise mit R22, Ammoniak, CO₂ oder Kohlenwasserstoffen betrieben werden, wurden daher nicht erfasst. Zusätzlich greift die ChemKlimaschutzV nur bei Anlagen über 3 kg Füllmenge, weshalb kleinere Anlagen von der Auswahl ausgeschlossen wurden. Die Höchstgrenzen für spezifische jährliche Kältemittelverluste der Verordnung richten sich außerdem nach dem Datum der Inbetriebnahme der Anlage. Eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Auswahl über die Vorgaben wurde deshalb angestrebt.

Terminabsprachen sowie Begehungen selbst wurden teilweise in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden erledigt.

1.6 Datenauswertung und Nachrecherchen

Neben den Daten aus den genannten Anlagenbesichtigungen standen dem Vorhaben zwei elektronische Datensätze zur Verfügung. Zum einen stellte der Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe (VDKF) Daten von fast 35.000 im VDKF-Lec System erfassten Anlagen zur Verfügung. Zum anderen machte eine Discounterkette Anlagendaten aus 93 Filialen in Deutschland verfügbar. In beiden Fällen waren nur Anlagen enthalten, die unter die ChemKlimaschutzV fallen, also stationäre Kälteanlagen über 3 kg Füllmenge mit F-Gasen als Kältemittel.

Um eine solide Grundlage für die Interpretation der Daten zu liefern, werden in dieser Studie grundlegende Begriffe detailliert definiert. So werden beispielsweise die Zusammenhänge und Unterschiede zwischen Nachfüllmengen, Kältemittelverlusten und Emissionen diskutiert; es wird die Methode zur Berechnung der Nachfüllraten definiert; eine klare Abgrenzung von Normalbetrieb und Havarie wird erarbeitet; der Begriff ‚Betreiber‘ sowie dessen Pflichten wird geklärt.

Es wird auch auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Datensätzen hingewiesen, und Annahmen und Rechenwege werden klargestellt.

1.6.1 Beschreibung der erhobenen Daten

1.6.1.1 Besichtigte Anlagen

Im empirischen Teil der Studie wurden 307 Anlagen in 62 Betrieben erfasst, und davon wurden Daten von 291 Anlagen verwertet. Die Füllmenge der besichtigten Anlagen reichte von 3 bis 1024 kg und beträgt in der Summe insgesamt 36.794 kg. Für jedes der genannten Kriterien konnte eine ausreichende Anzahl von Anlagen besichtigt werden. Über 60% der erfassten Anlagen hatten eine Füllmenge von 10 bis 100 kg und knapp unter der Hälfte der Anlagen zählten zur Industriekälte. Aufgrund der Anzahl der erfassten Anlagen sind weitgehend zuverlässige Aussagen über die Kältemittel R134a, R404A, R407C und R410A möglich.

Aus den Daten der Anlagenbesichtigungen geht hervor, dass mit 11.370 kg dokumentierter Nachfüllmenge etwa 31% der nominalen Füllmenge im Zeitraum zwischen 2008 und 2013 nachgefüllt wurde. Etwa 28% der Nachfüllmenge entfielen auf Havarien, die besonders in der Industriekälte und bei Zentralanlagen eine große Rolle spielten. Havarien traten gleichmäßig über alle Anlagengrößen auf.

Insgesamt beträgt die jährliche Nachfüllrate gemittelt über alle Anlagentypen 6% der nominalen Füllmenge. Zentralanlagen weisen mit 7,6% die höchste jährliche Nachfüllrate pro Anlage aller Anlagentypen auf. Etwa die Hälfte aller Zentralanlagen wurde im Erfassungszeitraum nachgefüllt. Chiller und Klimaanlageanlagen haben hingegen eine niedrigere jährliche Nachfüllrate pro Anlage zu verzeichnen (3,4% beziehungsweise 3,8%). Nach Kältemitteln betrachtet, haben besonders R404A-Anlagen eine hohe jährliche Nachfüllrate pro Anlage, nämlich 8,8%. Undichtigkeiten wurden besonders an Verbindungen, Ventilen und Verdampfern dokumentiert.

Manuelle Aufzeichnungen machten den Großteil der Dokumentation aus; nur 14% der Anlagen werden durch elektronische Systeme erfasst. Für 8% der Anlagen lagen keinerlei Aufzeichnungen vor.

Aus den Daten geht eindeutig hervor, dass im Besonderen große Kälteanlagen allen Alters nicht die Vorgaben zu maximalen spezifischen jährlichen Kältemittelverlusten der ChemKlimaschutzV einhalten. Dies trifft auch zu, wenn Kältemittelverluste durch Havarien nicht berücksichtigt werden. Auch neue Anlagen unter 10 kg Füllmenge übertreffen dann den zulässigen Höchstwert immer noch. Für mehr als ein Viertel der untersuchten Anlagen war für 2012 keine ausreichende Anzahl an Dichtheitsprüfungen dokumentiert.

1.6.1.2 Daten aus dem elektronischen Erfassungssystem VDKF-Lec

Von Seiten des VDKF stand eine Vorauswertung der Daten von 34.264 Kälteanlagen zur Verfügung. Die Daten waren nur in aggregierter Form verfügbar. Jährliche Nachfüllraten konnten daher im Bezug auf die Gesamtfüllmenge der erfassten Anlagen angegeben werden und nicht pro Anlage. Es sollte auch beachtet werden, dass der Datensatz nur Anlagen beinhaltete, für die der Betreiber und/oder das Serviceunternehmen die Daten auch frei gegeben hatte (VDKF-Lec erfasst Daten von etwa 500.000 Anlagen in Deutschland).

Die Gesamtfüllmenge der erfassten Anlagen betrug 879.230 kg. Die Daten stammten laut VDKF von verschiedenen Betreibern sowie von etwa 250 Kältefachbetrieben. Der Datensatz enthielt ausreichend Daten, um viele Aspekte der Umsetzung der ChemKlimaschutzV zu beleuchten. Eine Betrachtung nach Anlagentypen war jedoch aufgrund der Datenlage nicht möglich. 54% der erfassten Anlagen hatten eine Füllmenge von unter 10 kg und nur 5% von über 100 kg. Im Datensatz war zudem vor allem eine Vielzahl von Gewerbekälteanlagen und dezentralen Klimageräten vertreten.

Der VDKF-Lec Datensatz wies eine jährliche Gesamtnachfüllrate von 3,4% aus. Insgesamt wurden zwischen 2009 und 2012 118.857 kg Kältemittel nachgefüllt. Aus den Daten geht auch hervor, dass Nachfüllungen besonders bei älteren Anlagen vorkommen. Etwa 23% der Nachfüllmenge waren durch Havarien bedingt. Auch in diesem Datensatz hatten R404A-Anlagen mit 5,3% die höchste jährliche Gesamtnachfüllrate. R410A-Anlagen hatten mit unter 1% die geringste Nachfüllrate. Anlagen mit R134a und R407C zeigten mit jeweils knapp unter 3% ähnliche Raten auf.

Undichtigkeiten waren im VDKF-Lec bei 33% der nachgefüllten Anlagen im Rohrleitungssystem zu verzeichnen und bei 18% der nachgefüllten Anlagen an Ventilen.

Auch aus den VDKF-Lec Daten geht hervor, dass Anlagen über 100 kg Füllmenge die Vorgaben zu maximalen spezifischen jährlichen Kältemittelverlusten im Durchschnitt nicht erfüllen. Aufgrund der Datenlage konnten Havarien bei dieser Betrachtung nicht heraus gerechnet werden.

1.6.1.3 Daten aus dem elektronischen Erfassungssystem einer Discounterkette

Die Discounterkette stellte Daten von 266 Kälteanlagen aus 93 Filialen zur Verfügung. Die Filialen wurden zufällig aus allen Filialen der Gruppe ausgewählt. Sie verteilen sich gleichmäßig über das deutsche Verkaufsgebiet. Die Füllmenge der erfassten Anlagen reichte von 3,5 kg bis 220 kg und betrug in der Summe 10.334 kg. Etwa 60% der Anlagen wiesen eine Füllmenge zwischen 10 kg und 100 kg auf. Der Datensatz enthielt hauptsächlich Raumklimageräte (115 der 266 Anlagen) und Zentralanlagen (90).

Aus dem Discounter-Datensatz geht hervor, dass – mit 1.218 kg Nachfüllmenge – im Zeitraum von 2009 bis 2013 etwa 12% der nominalen Füllmenge nachgefüllt wurden. Etwa 32% der Nachfüllmenge entfielen dabei auf Havarien, die hier nur bei Zentralanlagen auftraten. Insgesamt waren 6% der Zentralanlagen von solchen Ereignissen im Erfassungszeitraum betroffen.

Die jährliche Gesamtnachfüllrate der erfassten Anlagen betrug 2,7%, wobei Zentralanlagen und Verflüssigungssätze mit jährlichen Nachfüllraten pro Anlage von jeweils 3% einen ähnlichen Wert aufweisen. Nur bei einer der erfassten Klimaanlage wurde überhaupt eine Nachfüllmenge verzeichnet. Nach Kältemitteln betrachtet gab es

nur geringfügige Unterschiede zwischen Anlagen, die mit R134a und R404A betrieben werden.

Undichtigkeiten wurden im Discounter-Datensatz vor allem bei Verbindungsstellen und am Verdichter verzeichnet. Undichte Schraubverbindungen wurden bei etwa der Hälfte aller nachgefüllten Anlagen als undichte Stellen aufgeführt.

Auch anhand der Discounter-Daten lässt sich erkennen, dass Anlagen über 100 kg Füllmenge in vielen Fällen die Höchstgrenze für spezifische jährliche Kältemittelverluste der ChemKlimaschutzV nicht einhielten. Dies war auch der Fall, wenn Havarien nicht berücksichtigt werden. Auch hier fehlte für ein Viertel der großen Anlagen mindestens eine der vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen im Jahr 2012.

1.6.1.4 Erläuterungen zu den Datenquellen

Die drei dem Vorhaben zugrunde liegenden Datensätze wurden auf sehr unterschiedliche Weise erhoben. Es ist daher hilfreich, die Vorzüge und Grenzen der Datensätze klarzustellen.

Die Daten aus den Anlagenbesichtigungen haben den großen Vorteil, dass keinerlei "Filter" vorhanden waren und daher eine hohe Zufallswahrscheinlichkeit existiert. Auf der anderen Seite konnte nur eine begrenzte Anzahl von Anlagen erfasst werden, und diverse Betreiber verweigerten ihre Kooperation.

Der größte Vorteil der VDKF-Lec-Daten liegt in der Menge der erfassten Anlagen. Allerdings gab es eine Reihe von Filtern, im Besonderen die Einschränkung, dass der Betreiber die Daten freigegeben haben musste. Außerdem standen die Daten nur in einer aggregierten Form zur Verfügung.

Ein Vorzug der Discounter-Daten war eindeutig die zufällige Auswahl der erfassten Anlagen. Auf der anderen Seite gab es auch hier eine Reihe von Filtern, z.B. die sehr homogene Wartung und Instandhaltung aller Anlagen und das öffentliche Bekenntnis zu umweltschonender Kühlung von Seiten des Betreibers, das u.a. sorgfältigen Umgang mit den Anlagen als besondere Aufgabe einschließt.

Von einem direkten Vergleich der Datensätze wird in diesem Bericht deshalb bis auf wenige Ausnahmen abgesehen. Stattdessen werden bei der Auswertung Trends und mögliche Erklärungsansätze miteinander verglichen und diskutiert. Von einer Hochrechnung auf den gesamten Anlagenbestand wird gleichfalls abgesehen, da keine repräsentative Auswahl der Stichprobe möglich ist.

1.6.2 Auswertung der Daten

Für die Auswertung der Daten wird auch auf Ergebnisse aus der Literatur hingewiesen. Außerdem stellten zwei Supermarktketten elektronisch erfasste Daten aus ihren Filialen zum Vergleich bereit. Eine Supermarktkette machte jährliche Gesamtnachfüllraten von Kälteanlagen aus rund 1.600 Filialen in Deutschland in einer aggregierten Form verfügbar. Die andere Supermarktkette teilte anlagenbezogene Nachfüllmengen für rund 700 Kälteanlagen im Jahr 2012 mit. In beiden Fällen waren die Daten nach den verwendeten Kältemitteln aufgeschlüsselt.

1.6.2.1 Dokumentation als Faktor in der Auswertung

Laut § 3 Abs. 2 der ChemKlimaschutzV haben Betreiber von Anlagen über „die Dichtheitsprüfungen und etwaige Instandsetzungsarbeiten“ Aufzeichnungen zu führen und diese aufzubewahren. Die Qualität dieser Aufzeichnungen war von zentraler Bedeutung für dieses Vorhaben, da die Art der Aufzeichnung der erhobenen Daten direkt die Datenqualität der Erhebungen bestimmt. Dieser Umstand trifft auf alle Datensätze zu und lässt sich anhand folgender Beispiele bestätigen.

In den Daten aus den Anlagenbesichtigungen fehlten bei einem Viertel der nachgefüllten Anlagen Angaben zu den undichten Stellen. Auch Informationen zu Leckageerkennungssystemen – und generell zu Instandsetzungsarbeiten – waren oft nicht in den Aufzeichnungen zu finden. Eine über die Jahre 2008 bis 2011 stetig steigende Anzahl von nachgefüllten Anlagen sowohl im erhobenen als auch im Discounter-Datensatz lieferten ein weiteres Indiz dafür, dass die Dokumentation erst über die Jahre an Qualität gewonnen hat.

Ähnliche Probleme mit der Zuverlässigkeit von Daten waren vor längerer Zeit auch über das niederländische STEK-System berichtet worden. Bei einer Interpretation der Daten sollte daher Rücksicht darauf genommen werden, dass die zugrunde liegende Dokumentation lückenhaft sein könnte.

1.6.2.2 Nachfüllmengen und -raten im Vergleich

Sowohl die Häufigkeit der Nachfüllereignisse als auch die absoluten Nachfüllmengen steigen bei allen drei Datensätzen bis 2011 an und stagnieren dann. Der ansteigende Trend vor diesem Zeitpunkt könnte das Resultat von zunehmend besseren Aufzeichnungen sein und damit – wie oben erwähnt – weniger über die Dichtheit der Anlagen als über die Qualität der Dokumentation aussagen. Die Entwicklung nach 2011 könnte dadurch erklärt werden, dass eine Umsetzung der ChemKlimaschutzV bzw. F-Gase-Verordnung bis dato noch nicht abgeschlossen war und die entsprechenden Vorgaben deshalb erst ab diesem Zeitpunkt zu einer Verbesserung der Dichtheit beitrugen.

Besonders Zentralanlagen weisen mit 7,6% bei den begangenen Anlagen eine relativ hohe jährliche Gesamtnachfüllrate auf. Obwohl dieses Ergebnis nicht durch die Discounter-Daten bestätigt werden konnte, ist es doch vergleichbar mit ähnlichen Ergebnissen aus der Literatur und anderen Datensätzen. Neben den Supermarkt-Daten deuten selbst freiwillige Angaben von Supermarktgruppen auf Nachfüllraten von circa 10% oder mehr bei gewerblichen Zentralanlagen hin.

Klimaanlagen (3,8%) und Chiller (3,4%) hingegen wiesen niedrigere jährliche Gesamtnachfüllraten in den Daten aus den Anlagenbesichtigungen auf. Die Daten aus dem VDKF-Lec-Erfassungssystem ließen keine Rückschlüsse auf die Nachfüllraten der einzelnen Anlagentypen zu.

Nach Kältemitteln betrachtet zeigten sich besonders hohe Nachfüllraten bei R404A-Anlagen. Dies ist bei allen drei Datensätzen der Fall. Zusätzliche Ergebnisse aus einer Auswertung der Supermarkt-Daten bestätigen dieses Ergebnis nachdrücklich. Neben R404A wird auch R134a oft in Zentralanlagen eingesetzt, vor allem in der Gewerbekälte. Interessanterweise lagen die Nachfüllraten für dieses Kältemittel bedeutend unter denen für R404A, und zwar in allen drei Datensätzen. Nur in den Daten einer Supermarktkette

war die Nachfüllrate von R134a-Anlagen annähernd mit der von R404A-Anlagen vergleichbar. Wenn allerdings nur Zentralanlagen betrachtet werden, haben diejenigen mit R404A eine bedeutend höhere Nachfüllrate als solche mit R134a.

Anlagen, die mit R410A betrieben werden, einem Kältemittel, das fast ausschließlich in Klimageräten Anwendung findet, haben in allen drei Datensätzen sowie in den Daten einer Supermarktkette die geringste Nachfüllrate.

1.6.2.3 Die Rolle von Havarien in den drei Datensätzen

Aus der Studie geht eindeutig hervor, dass Havarien eine bedeutende Rolle bei den Kältemittelnachfüllmengen und damit auch den direkten Emissionen von Kälteanlagen spielen. In den drei Datensätzen wurden 23 – 32% der Kältemittelnachfüllmenge durch solche Ereignisse verursacht. Auch die Daten einer Supermarktkette zeigen, dass über 15% der Nachfüllmenge auf Havarien zurückzuführen sind.

Havarien trugen daher auch wesentlich zu den jährlichen Nachfüllraten in den drei Datensätzen bei. Im VDKF-Lec-Datensatz liegt der Havarie-Anteil an der jährlichen Gesamtnachfüllrate bei etwa 23%.

1.6.2.4 Von Leckagen betroffene Bauteile

Eine Auswertung der Daten lässt die Schlussfolgerung zu, dass besonders Anlagenbauteile für Leckagen anfällig sind. Im Discounter-Datensatz wurden bei 38% der nachgefüllten Anlagen die Kompressoren als undichte Stellen genannt.

Auch Verbindungsstellen und Rohrleitungen spielten in diesem Zusammenhang eine bedeutende Rolle. In den Discounter-Daten sind undichte Schraubverbindungen bei 50% der nachgefüllten Anlagen genannt. Bei jeweils gut 17% der nachgefüllten Anlagen im Datensatz aus den Besichtigungen und dem Discounter-Datensatz waren undichte Lötverbindungen als Ursache für Leckagen angegeben. In den Daten der Anlagenbesichtigungen waren in 37% der Fälle Ventile undicht.

Eine Betrachtung der VDKF-Lec-Daten zeigte, dass hier besonders Verbindungsstellen und Leitungen Undichtigkeiten aufwiesen. Als nächstes folgten Ventile, dann Verdichter und Verdampfer.

Die Ergebnisse werden auch durch Beispiele aus der Literatur bestätigt. Als Ursachen für Leckagen an Verbindungsstellen werden hier besonders Schwingungen und Pulsationen identifiziert.

1.6.2.5 Ursachen für Kältemittelverluste beziehungsweise Emissionen

Aus den Aufzeichnungen der besichtigten Anlagen ließ sich vor allem erkennen, dass eine präzisere Aufzeichnung von Leckagestellen – aber auch von deren Ursachen – hilfreich wäre, um zukünftige Undichtigkeiten besser vermeiden zu können.

Des Weiteren wäre es hilfreich, die Gründe für Service-Rufe aufzuzeichnen. In der Literatur werden solche Rufe fast ausschließlich mit einer Einschränkung der Funktion der Anlage in Verbindung gebracht und führen in der Hälfte aller Fälle dazu, dass ein Kältemittelverlust festgestellt wird. Die Wichtigkeit der durch die F-Gase-Verordnung vorgeschriebenen regelmäßigen Dichtheitsprüfungen und der damit verbundenen Besuche kann damit bestätigt werden.

Insgesamt zeigte sich, dass technische Lösungen – sowohl bei der Installation als auch nachträglich – zwar wichtig, aber gegenüber besserer Wartung und Dokumentation zweitrangig sind. Ein Einfluss der Art des Wartungsvertrags auf die Dichtheit der Anlage konnte nicht festgestellt werden.

1.6.2.6 Vorgenommene Reparaturen und Verbesserungen

Neben der Installation von Wellenschläuchen, die der Vorbeugung von Leckagen an Leitungen und Verbindungsstücken dienen, stellte sich heraus, dass es nicht üblich ist, bestehende Anlagen baulich zu optimieren um die Leckage-Wahrscheinlichkeit zu verringern.

Bei der Konzeption von neuen Anlagen kann jedoch Rücksicht auf solche Faktoren genommen werden. Es wäre z.B. möglich, Anlagen statt mit Schraubverbindungen mit Löt- und Schweißverbindungen zu konzipieren.

Gleichwohl steht eine Reihe von technisch ausgereiften Maßnahmen zur Verfügung, um Kältemittelverlusten in der Praxis vorzubeugen (siehe Kapitel 9.1).

1.6.2.7 Führung der Aufzeichnungen sowie Einsicht

Aus den Anlagenbegehungen geht hervor, dass manuell geführte Aufzeichnungen (das sogenannte „Logbuch“) bei 78% der Anlagen das Mittel der Wahl sind, um die Auflagen der Verordnungen zu erfüllen. Für 30% der Anlagen nahmen Betreiber außerdem eigene Auswertungen vor, wobei sie sich ebenfalls in etwa 80% der Fälle auf manuelle Aufzeichnungen stützten.

Die Dokumentation der Anlagen war in den betrachteten Fällen häufig unvollständig. Betreiber kamen in vielen Fällen ihrer Aufzeichnungspflicht gemäß ChemKlimaschutzV nicht (vollständig) nach oder waren damit überfordert. Trotz der diesbezüglich klaren Vorgaben der ChemKlimaschutzV hatten z.B. bei 5,7% der Anlagen die zuständigen Betreiber keinerlei Einsicht in die Dokumentation der Anlagen.

1.6.2.8 Einhaltung der ChemKlimaschutzV

Die Auswertung zeigte, dass die jährlichen Nachfüllraten von Anlagen oft über den Vorgaben für spezifische Kältemittelverluste in § 3 Abs. 1 der ChemKlimaschutzV liegen. Dies traf vor allem auf große Anlagen zu, und zwar auch dann, wenn Havarie-Ereignisse nicht berücksichtigt wurden. Alle drei Datensätze sowie die Daten einer Supermarktkette bestätigen dies.

Dichtheitsprüfungen wurden ebenfalls oft nicht nach den Vorgaben nach § 3 Abs. 2 der F-Gase-Verordnung

durchgeführt oder nicht ordnungsgemäß dokumentiert. So fehlte 2012 bei mehr als einem Viertel aller Anlagen aus den Begehungen mindestens eine der von der Verordnung vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen. Die Daten belegen auch, dass im Jahr 2012 für Anlagen mit digitalen Aufzeichnungen häufiger alle Dichtheitsprüfungen aufgezeichnet (oder durchgeführt) wurden als für solche mit manuellen Aufzeichnungen.

Die gemäß F-Gase-Verordnung im Anschluss an Nachfüllungen durchzuführende Dichtheitsprüfung, wird den erhobenen Daten zufolge nur selten dokumentiert. In der Praxis wird diese Vorgabe allerdings so interpretiert, dass eine Dichtheitsprüfung auch

direkt nach der Nachfüllung erfolgen kann, so dass auf diese Weise die entsprechende Auflage erfüllt wird.

1.7 Zusätzliche praktisch-orientierte Teile des Vorhabens

Zusätzlich zur Datenerhebung und Auswertung wurden im Rahmen des Vorhabens praktische Anleitungen für technisches Personal und Vollzugsbehörden entwickelt. Im Abschlussbericht enthalten sind daher:

- Optionen zur Verbesserung der Dichtheit von stationären Kälte- und Klimaanlageanlagen (Kapitel 8; inklusive eines Katalogs technischer Möglichkeiten zur Verbesserung der Anlagendichtheit),
- eine Anleitung für Dichtheitsprüfungen vor Inbetriebnahme (Kapitel 9),
- eine Darstellung der zur Verfügung stehenden Leckageerkennungssysteme (Kapitel 10), und

eine Kurzanleitung zur Überprüfung der Anlagen vor Ort (Kapitel 11). Im Anhang finden sich die zusätzlichen Produkte des Vorhabens:

- eine Checkliste zur Überprüfung von Anlagen vor Ort und
- ein Handbuch zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten.

2 Summary

2.1 Introduction

As part of its climate targets, the German government has committed itself to a 80-95% reduction of greenhouse gas emissions by 2050 compared to 1990 levels. Emissions of fluorinated hydrocarbons (HFCs and PFCs) and sulphur hexafluoride (SF₆; together referred to as so called F-gases) play a relevant role in this context.

F-gases were mainly developed as substitutes for ozone depleting substances. Today, particularly HFCs are used as refrigerants in Germany. Greenhouse gas emissions from the refrigeration and air conditioning sector comprise both direct emissions from refrigerant losses at leaky refrigeration systems and indirect emissions from energy consumption of these systems.

The use and therefore also emissions of F-gases have been increasing significantly during past decades, especially in refrigeration and air conditioning. Further growth is projected for the future. Regulation (EC) No. 842/2006 (usually referred to as the F-gas Regulation) and the German legal act implementing this regulation, the Chemicals Climate Protection Ordinance (Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung; ChemKlimaschutzV) establish requirements for the operation of stationary refrigeration, air conditioning and heat pump equipment. These include limits for specific annual refrigerant loss from such systems in addition to provisions on record keeping and leak checks among others.

2.2 Aims of the project

Four years after entry into force of the ChemKlimaschutzV, this project was launched to evaluate the status of implementation in practice. It is assessed which technical innovations were necessary for meeting the legal requirements of the Ordinance and to which extent they have been implemented.

The project has been carried out in cooperation with the German Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt; UBA), the responsible authorities in the German Bundesländer (federal states), refrigeration associations and operators of refrigeration and air conditioning equipment. Detailed site-inspections of over 300 refrigeration systems, electronic records of over 35,000 systems and a series of expert interviews served as input to properly address the key questions of the project.

Also included in the project was the development of practically oriented products: A check-list for site-inspections of refrigeration and air conditioning systems, a list of technical options to improve the leak-tightness of refrigeration systems, and recommendations for the implementation of recording requirements.

The project was promoted by the National Climate Initiative (NKI) of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.

2.3 Overview of the use of fluorinated refrigerants in stationary refrigeration and air conditioning systems in Germany

It was recently estimated that 110-122 million refrigeration, air conditioning and heat pump systems of all sizes exist in Germany. This total includes a large number of units

with small refrigerant charges such as domestic refrigeration equipment and about 38 million air conditioning systems but also large refrigeration systems including 1.7 million commercial refrigeration systems, 575,000 industrial refrigeration systems and 420,000 supermarket refrigeration systems. Table 2 shows the estimated number of systems charged with more than 3 kg of refrigerant.

Table 2: Overview of the estimated number of refrigerant systems in relevant stationary applications. Only systems with charges of more than 3 kg of refrigerant are listed.

Application	Estimated number of units in Germany (year of estimate)
Room air conditioning units (large split units, multi split units with and without VRF)	1.1 million (2008)
Chillers	90,000 (2010)
Centralized systems (supermarket refrigeration systems)	420,451 (2008)
Condensing units	420,000 (2008-2013)
Industrial refrigeration	575,500 (2011)

According to the annual survey on climate-relevant substances under the Environmental Statistics Act (Umweltstatistikgesetz; UStatG) the quantity used for the servicing of refrigeration systems in Germany has been increasing since 2007. In 2012, 1,352 tonnes of refrigerant have been used to refill stationary refrigeration systems (including systems with charges below 3 kg). The survey also shows that large quantities of F-gases are employed as refrigerant in the manufacture of cars, the processing industry and mechanical engineering.

2.4 Activities of the Bundesländer (federal states)

The German federal states (Bundesländer) are responsible for the implementation of the ChemKlimaschutzV and the F-gas Regulation. Which administrative office is responsible for the implementation of which part of the Ordinance however varies from state to state. Certification according to §6(1) or the control of equipment operators are for example accomplished at a regional level in certain federal states. In Baden-Württemberg the local authorities of rural districts and towns are responsible for the control of equipment operators.

The work of the states is supported by the German Working Group on Chemical Safety (Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit; BLAC) and the federal government. The committees of the BLAC have contributed to an effective implementation of the provisions of the Chemicals Climate Protection Ordinance and the F-gas Regulation by officially interpreting their contents.

A number of administrative offices on the state level participated in on-site visits during the course of this study and provided information on activities for the implementation of the ChemKlimaschutzV within their territories. Some states developed guidance materials and check lists for inspections through responsible authorities on other administrative levels. The results from such inspections on a regional level are then collected in a centralized system e.g. in Saxony-Anhalt. Certain states also reported of so-called “control campaigns” with a focus on stationary refrigeration systems and the implementation of the ChemKlimaschutzV. Within such campaigns, several thousand refrigeration systems have been checked in Germany in recent years.

Certain activities also take place at a local level, such as local control campaigns and the distribution of information material on the provisions of the ChemKlimaschutzV for operators and the public.

2.5 Planning and conducting on-site visits

The questionnaire which was used for the on-site survey of refrigeration and air conditioning systems is based on experiences made during development and operation of the electronic record keeping tool MobiLec. At the beginning of the study the questionnaire was tested for functionality and correctness and was further assessed throughout the project.

Participation in the study on behalf of the operators of equipment was voluntary and it was not possible to select particular systems for on-site inspections. Nevertheless, the range of selected systems can approximately be considered random. An attempt was made to cover various types of systems and applications during the empirical part of the project in order to assess the status of implementation of all relevant provisions of the Chemicals Climate Protection Ordinance. Hence the following criteria were considered for each system:

- type of application,
- refrigerant type,
- refrigerant charge,
- date of manufacture.

The types of applications include commercial refrigeration (centralized systems, condensing units, stand-alone units), industrial refrigeration, room air conditioning (multisplit and VRF-systems) and chillers. The analysis only referred to systems charged with refrigerants subject to the German Chemicals Climate Protection Ordinance. Therefore systems charged with R22, ammonia, CO₂ or hydrocarbons were excluded. In addition, important requirements of the Ordinance only relate to equipment with charges ≥ 3 kg. Hence equipment with smaller charges was not considered either. Furthermore, the limits for specific annual refrigerant losses vary according to the date of installation of the system. A relatively uniform distribution of the systems subject to the different requirements was sought.

The cooperation with competent authorities sometimes meant that the scheduling of appointments went through them. In some cases they also partook in on-site visits.

2.6 Data analysis and follow-up work

Two sets of electronic data were included in the project in addition to the data collected during the on-site visits. The electronic dataset made available by the German Association of Refrigeration and Air Conditioning Contractors (Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe; VDKF) consisted of data from almost 35,000 systems registered in the electronic VDKF-Lec-database. In addition, a discounter chain provided data of systems from 93 branches in Germany. Both datasets only referred to systems subject to the German Chemicals Climate Protection Ordinance i.e. stationary refrigeration and air conditioning system charged with ≥ 3 kg of F-gas refrigerants.

This study defines fundamental terms in detail in order to provide a solid ground for the interpretation of the data. For example, the inter-linkages and differences between

amounts refilled, refrigerant losses and emissions are discussed. Moreover, the method applied for the calculation of refill rates and the distinction between normal operation and catastrophic loss are defined. The definition of “operator” and her/his tasks are elaborated upon.

Differences between the datasets are highlighted and assumptions as well as calculation methods are described.

2.6.1 Description of the collected data

2.6.1.1 On-site visits

During the course of the study, data of 307 refrigeration and air conditioning systems was recorded. For the analysis, data from 291 of these systems was used, with the remainder rendered not usable due to the lack of key pieces of information such as the equipment age, charge or F-gas contained. The refrigerant charge of the systems ranged between 3 and 1,024 kg with a total of 36,794 kg. For each of the criteria listed above, a sufficiently large number of systems was visited. More than 60% of the registered systems were charged with 10 to 100 kg of refrigerant and slightly less than half of the systems were used for industrial refrigeration purposes. Given the number of systems involved, relatively reliable conclusions can be drawn with regards to the refrigerants R134a, R404A, R407C and R410A.

Data collected during the on-site visits indicates a 11,370 kg of refrigerant refilled in the period from 2008 to 2013 which amounts to about 31% of the nominal charge. Catastrophic refrigerant loss was the reason for around 28% of the amount refilled. Catastrophic loss played a predominant role in industrial refrigeration and centralized systems. There was no correlation between catastrophic refrigerant loss and the size of the system.

Overall the annual refill rate amounts to 6% of the nominal charge on average. Centralized systems show an annual refill rate of 7.6% - the highest rate of all system types. About half of the centralized systems were refilled during the time period covered. Chillers and air conditioning systems feature a lower annual refill rate per unit (3.4% and 3.8%). By refrigerants, systems charged with R404A have a particularly high annual refill rate of 8.8% per unit. Leaks were documented mainly at joints, valves and at the evaporator.

Most of the documentation had been done manually. Electronic records were only kept for 14% of the systems. For 8% of the units no documentation was available at all.

The data clearly shows that large refrigeration systems of any age in particular do not meet the requirements for specific annual refrigerant losses set out by the Chemicals Climate Protection Ordinance. This is also true when catastrophic refrigerant losses are not taken into account. New systems with charges below 10 kg also exceed the permitted limit. The required number of leak checks in 2012 was not documented for more than one quarter of the systems visited.

2.6.1.2 Electronic data of the VDKF-Lec system

An aggregated data-set on 34,264 refrigerant systems was made available by the VDKF. Annual refill rates could therefore be calculated for the total charge of all recorded

systems but not on a per unit basis. It should be highlighted that the dataset only contains data on systems for which the operator and/or the service company agreed to release the data (the VDKF-Lec contains data of around 500,000 refrigeration systems in Germany).

The total refrigerant charge of the units included in the dataset amounts to 879,230 kg. According to the VDKF, the data originates from different operators and about 250 servicing companies. The dataset contained sufficient data to analyse various aspects of the implementation of the ChemKlimaschutzV. However, an assessment by systems type was not possible. 54% of the registered systems were charged with less than 10 kg of refrigerants and only 5% with more than 100 kg. The dataset evidently comprised many commercial refrigeration systems and air conditioners.

The VDKF-Lec dataset showed an annual refill rate of 3.4%. Overall, a total quantity of 118,857 kg of refrigerant was refilled in the period from 2009 to 2012. The data also indicates that refills mostly occur in older systems. About 23% of the refill quantity were the result of catastrophic refrigerant loss. The highest annual refill rate was again found in systems running on R404A and amounted to 5.3%. R410A systems showed the lowest rate of below 1%. Systems running on R134a and R407C had similarly low rates of just below 3%.

33% of the systems that were refilled had leaks in the network of pipes and 18% at the valves.

The VDKF-Lec data also shows that systems charged with more than 100 kg of refrigerant do generally not meet the provisions on the maximum specific annual refrigerant loss. Due to lack of data, the role of catastrophic loss could not be analysed further.

2.6.1.3 Electronic data of a discounter chain

The discounter chain provided data on 266 refrigeration systems located in 93 branches. The branches were randomly chosen from all the branches of the group. They are evenly distributed in the German sales area. The refrigerant charge of the systems ranged from 3.5 kg to 220 kg and amounted to 10,334 kg in total. About 60% of the units were charged with 10 to 100 kg. The dataset included mainly air conditioners (115 of the 266 systems) and centralized systems (90).

About 12% or 1,218 kg of the nominal charge of the discounter dataset had been refilled during the period 2009-2013. Catastrophic loss, which only occurred in centralized systems, accounted for around 32% of the amount refilled. 6% of the centralized systems were subject to a catastrophe during the relevant time period.

The total annual refill rate of the systems in the dataset was approximately 2.7%. Centralized systems and condensing units showed a similar value of 3% for the annual refill rate per unit. Regarding air conditioners, a refill was only documented in one case. Only minor differences were found between systems running on R134a and R404A.

Leaks were documented mainly at joints and at the compressor. Leaky screw fittings were recorded in nearly 50% of the refilled systems.

The discounter data also indicates that systems containing charges of more than 100 kg often do not comply with the limits for specific annual refrigerant losses according to the German Ordinance. This was also the case when catastrophic loss was not taken into

account. Furthermore, leakage checks had not been conducted to a sufficient extent for approximately one quarter of the systems in 2012.

2.6.1.4 Comparing data sources

The datasets analysed during this project were gathered in very different ways. It is thus useful to clarify the advantages and limitations of each of them.

The data collected during on-site visits was gathered without any filters and very randomly. However, only a limited number of systems was visited and many operators chose not to cooperate.

The advantage of the VDKF-Lec data lays in the large number of recorded units. Several filters exist, however, in particular the limitation that operators have to agree to the release of data on their units. Furthermore, the data was only made available in an aggregated format.

The advantage of the discounter data was the random selection of the systems. Nonetheless, a number of filters need to be mentioned, such as the very homogeneous maintenance and servicing of the systems and the open commitment of the discounter to environmentally friendly cooling technology, which includes careful handling and maintenance of the refrigeration systems.

A direct comparison of the datasets is therefore not carried out. Instead, the analysis contains a comparison and discussion of trends and potential explanations. An extrapolation of the results to the entire equipment stock is not undertaken either because the systems did not represent an entirely random sample.

2.6.2 Data analysis

Results from the literature are used during the data analysis. Moreover, two supermarket chains provided electronic data from their branches for additional comparison. One supermarket chain made available annual total refrigerant refill rates of refrigeration systems of 1,600 branches in Germany in aggregated form. The other supermarket chain provided system-specific refill quantities for more than 700 systems in 2012. The information was given by refrigerant in both cases.

2.6.2.1 Documentation as an influencing factor in the analysis

According to §3(2) of the German Chemicals Climate Protection Ordinance, operators of refrigeration systems have to document leak checks and repairs and to store associated records. The quality of the records was of major importance to the outcome of this project because the quality of record keeping has a direct impact on the quality of the data. This is true for all of the datasets, which is confirmed by the following examples:

In the dataset collected during the on-site visits, one quarter of the refilled refrigeration systems is lacking information regarding the exact location of leaks. Furthermore, information on leakage detection systems as well as repair and maintenance in general was often not documented. In addition, the increasing number of refills in the dataset of the on-site visits and in the discounter dataset during the period 2008-2011 also indicates that the documentation was improving over time.

Similar problems concerning the reliability of data had been reported around the Dutch STEK system a number of years ago. When interpreting the data it should be taken into account that the documentation could be incomplete.

2.6.2.2 Refill quantities and refill rates in comparison

Both the frequency of refills and the absolute refill quantities increased in all three datasets until 2011 and stagnated from then on. The apparent growth before 2011 could have been a result of gradually improving documentation and would thus not indicate more leak-tight systems but an improvement in data recording. The development after 2011 could indicate that the implementation of the Chemicals Climate Protection Ordinance had not been completed before then and that the relevant provisions would only contribute to reducing leakage from then on.

Centralized systems in particular showed high annual refill rates of 7.6% for the systems visited throughout the study. Although this finding was not confirmed by the discounter dataset, it is comparable to results mentioned in the literature and other datasets. Both the supermarket-dataset as well as voluntarily provided refill rates by supermarkets indicate a rate of around 10% or more.

Air conditioners (3.8%) and chillers (3.4%) feature low annual refill rates in the data collected during on-site visits. The VDKF-Lec dataset did not allow for conclusions on annual refill rates of specific equipment types.

With respect to different refrigerants, high refill rates were found for systems employing R404A. This was the case in all three datasets. Additional findings from an analysis of the supermarket data confirmed this result. Both R404A and R134a are often used in centralized systems, in particular in commercial refrigeration. Interestingly, the refill rates for R134a were much lower than those for R404A in all three datasets. Only data from one of the supermarket chains showed a similar refill rate for systems running on R134a and R404A. When considering centralized systems only, the R404A systems have much higher refill rates than the R134a systems.

Equipment using R410A, which is nearly exclusively used in air conditioners, proved to be subject to the lowest refill rate in all three datasets as well as the data from one of the supermarket chains.

2.6.2.3 The role of catastrophes in the three datasets

The study showed that catastrophic refrigerant loss contributed significantly to refrigerant refill quantities and thus also to direct emissions from refrigeration systems. In the three datasets, 23-32% of the refill quantities were the result of such incidents. The data from the supermarket chains also shows that more than 15% of the refill quantities were caused by catastrophes.

Catastrophes therefore contributed significantly to annual refill rates in all datasets. In the VDKF Lec-dataset, the share of catastrophic loss amounts to ca. 23% of the total annual refill rate.

2.6.2.4 Parts subject to leakage

The data showed that parts of the refrigeration systems are particularly prone to leakage. In the discounter dataset, leaks were found at the compressor at 38% of the refilled systems.

Joints and pipes also play an important role. They were mentioned as the location of leaks in 50% of the refilled systems in the discounter dataset.

Faulty solder joints were the reason for leaks in 17% of the refilled systems in the dataset of the on-site visits and the discounter dataset. In 37% of the cases of the on-site visits, leakage was found at valves.

The VDKF-dataset showed leaks mainly at joints and at pipes, followed by valves, the compressor and the evaporator.

These findings were confirmed by examples from the literature. Vibrations and pulsations are often identified as reasons for leaks at joints.

2.6.2.5 Reasons for refrigerant losses and emissions

The results from the on-site visits showed, that a more precise documentation of the location of leaks and the causes for leaks can be very useful to avoid further leakage.

Furthermore, it would be helpful to record the reasons for calling the service company. In the past, such calls were almost exclusively linked to problems of the functioning of the refrigeration systems. In half of the cases refrigerant loss was detected. The importance of the regular leakage checks required by the F-gas Regulation and associated servicing is thus confirmed.

Overall, technical solutions both during installation and later on only play a minor role compared to maintenance and documentation. The type of service contract was not found to influence the leak-tightness of refrigeration systems.

2.6.2.6 Maintenance and improvements of the systems

One of the results of this study is that it is not common to improve existing systems for the sole purpose of improving their leak-tightness. One exception is the installation of corrugated metal tubes which prevent leaks in pipes and fittings. Associated factors can however be considered during the design of new systems. It would for example be possible to design systems with soldered or welded joints instead of screw fittings.

Nonetheless, a number of mature technical solutions are available to prevent refrigerant leakage on site (see Chapter 9.1).

2.6.2.7 Record keeping and access to records

The data of the on-site visits show that records (the so called „logbook“) are kept manually for 78% of the refrigeration systems. For 30% of the systems the operators undertook their own evaluations.

In many cases the documentation was incomplete. Operators often did not (fully) fulfill their recording obligation according to the provisions of the German Chemicals Climate Protection Ordinance or were unable to do so. Despite the clear requirements of the

German Ordinance, equipment operators had no access to the recorded data of 5.7% of the refrigeration systems.

2.6.2.8 Compliance with the German Chemicals Climate Protection Ordinance

The analysis showed that the annual refill rates of refrigeration and air conditioning systems often exceed the rates for specific annual refrigerant losses permitted by §3(1) of the German Chemicals Climate Protection Ordinance. This was especially true for large systems and also when catastrophic refrigerant losses were excluded from the analysis. All datasets as well as the data of a supermarket chain confirmed this finding.

Moreover, leak checks were often not carried out and documented according to the provisions of §3(2) of the F-gas Regulation. In 2012, at least one leak check was missing at more than one quarter of the systems visited on-site. All leak checks were documented (or conducted) more often in systems with electronic record keeping than in systems for which records were kept manually.

The leak check that needs to be carried out after servicing as required by the F-gas Regulation is rarely documented in either of the datasets. In practice, this requirement is interpreted as checking for leaks directly after the refill.

2.7 Additional, practically oriented outcome of the project

During this project, guidance documents for technical personnel and authorities were developed. The report thus contains

- options for improving the leak-tightness of stationary refrigeration and air conditioning systems (Chapter 8; including a list of technical options),
- guidance for leak checks before commissioning (Chapter 9),
- a description of available leakage detection systems (Chapter 10) and
- a manual for on-site inspections of systems (Chapter 11).

The annex includes additional documents:

- a checklist for on-site inspection of refrigeration and air conditioning systems and
- a handbook for the implementation of recording requirements.

3 Einführung

Hintergrund des Vorhabens sind die Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, die eine signifikante Reduzierung der Treibhausgasemissionen vorsehen. Die Bundesregierung hat sich in diesem Zusammenhang zu einer Reduzierung der Emissionen um 80-95% bis 2050 gegenüber 1990 verpflichtet.¹ Zu den Treibhausgasen zählen auch fluorierte Kohlenwasserstoffe und SF₆ (sogenannte F-Gase), die sich durch besonders hohe Treibhauspotenziale auszeichnen. Die Verwendung der F-Gase (HFKW, FKW und SF₆), die zum Teil als Ersatzstoffe für ozonschichtschädigende Substanzen entwickelt wurden, hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen und zu steigenden Emissionen geführt. Vor allem HFKW werden in Deutschland als Kältemittel eingesetzt.

Umweltbelastungen durch Emissionen entstehen auf zwei Wegen:

- Direkt durch den Verlust von Kältemittel in die Atmosphäre durch undichte Stellen, und
- indirekt durch den Energieverbrauch der Kälteanlagen, der sich erhöht, wenn Kältemittelverluste im System auftreten.

Für die Betreiber von undichten Kälteanlagen ergibt sich daraus außerdem eine Vielzahl von zusätzlichen Kosten: Wartungskosten inklusive der Kosten für Kältemittelnachfüllmengen, erhöhte Energiekosten und bei einem Ausfall der Anlage Folgekosten durch den Verlust von Produkten.²

Auf europäischer Ebene wurden erste Maßnahmen zur Verbesserung der Dichtheit von Anwendungen und damit zur Verringerung von F-Gas-Emissionen getroffen, wie etwa die Verordnung (EG) Nr. 842/2006 (die so genannte F-Gase-Verordnung oder F-Gase-Verordnung) und die Richtlinie über Automobilklimaanlagen (EG) Nr. 2006/40/EG. In Deutschland wurden die Vorgaben der europäischen F-Gase-Verordnung durch die Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung (ChemKlimaschutzV) implementiert und in einigen Bestimmungen verschärft. Besonders hervorzuheben sind dabei die Höchstgrenzen für spezifische jährliche Kältemittelverluste aus stationären Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen. Diese Grenzwertsetzung ist einmalig in Europa.

Viele Bundesländer führen kontinuierliche oder stichprobenartige Überprüfungen von Kälteanlagen durch. Die Ergebnisse dieser Überprüfungen umfassen allerdings in den meisten Fällen nicht alle Anwendungsbereiche und bieten damit keine vollständige Grundlage für eine Diskussion der nationalen und internationalen Emissionsminderungsmaßnahmen bei den fluorierten Treibhausgasen. Fünf Jahre nach dem Inkrafttreten der ChemKlimaschutzV wird eine solche Diskussion über die Wirksamkeit der Verordnung, mögliche Anpassungen und nächste Schritte von der Bundesregierung angestrebt. Ziel des Vorhabens ist es daher, zu klären, welche technischen Innovationen für die Einhaltung der Vorgaben der ChemKlimaschutzV

¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2011: *Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011*. Berlin, BMU Verfügbar unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf

² Siehe z.B. Cowan, D.; Gartshore, J.; Chaer, I.; Francis, C.; Maidment, G. 2010: *REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project*. Institute of Refrigeration, Surrey (UK).

erforderlich waren bzw. sind und in welchem Umfang diese bereits in der Praxis eingesetzt werden.

Die im Rahmen des Vorhabens erstellten Produkte sind dem Bericht als Anlagen beigelegt, nämlich eine Checkliste für die Begehung von Anlagen vor Ort und ein Handbuch zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten. Ein Katalog technischer Möglichkeiten zur Verbesserung der Dichtheit von Kälteanlagen ist in Kapitel 8 enthalten.

3.1 Relevante Vorschriften der ChemKlimaschutzV und der bisher gültigen F-Gase-Verordnung

Auf europäischer Ebene gibt seit 2006 die Verordnung (EG) Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase (kurz F-Gase-Verordnung) die Art und Weise des Umgangs mit F-Gasen und die personelle Zuständigkeiten dafür vor. Die deutsche ChemKlimaschutzV baut auf der F-Gase-Verordnung auf und enthält zusätzliche Vorschriften für deutsche Betriebe. Die wichtigsten Vorschriften dieser Regelungen werden im Folgenden erläutert. Die Einhaltung dieser Vorschriften wird in dieser Studie auf Grundlage der erhobenen Daten interpretiert.

§ 3, Absatz 1 der ChemKlimaschutzV gibt maximale spezifische Kältemittelverlustraten für Anlagen unterschiedlicher Größen und Zeitpunkte der Inbetriebnahme vor (siehe Tabelle 3)³. Anlagen, die zum Beispiel vor Juli 2005 in Betrieb genommen wurden und eine nominale Füllmenge von über 100 kg aufweisen, dürfen nur 4% ihrer Füllmenge pro Jahr verlieren.

Tabelle 3: ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale Kältemittelverlustraten

Zeitraum der Inbetriebnahme:	Vor Juli 2005	Zwischen Juli 2005 und Juni 2008	Ab Juli 2008
<10 kg	8%	6%	3%
10-100 kg	6%	4%	2%
>100 kg	4%	2%	1%

Eine weitere Vorgabe der Verordnung betrifft die Anzahl der Dichtheitsprüfungen, welche die Betreiber von Anlagen mit bestimmten Füllmengen nachweisen müssen. In § 3, Absatz 2 sowie an entsprechender Stelle in der F-Gase-Verordnung sind Betreiber nicht-hermetischer Anlagen über 3 kg Füllmenge (und hermetischer über 6 kg) dazu verpflichtet, diese mindestens alle 12 Monate auf Dichtheit zu prüfen. Anlagen über 30 kg müssen mindestens alle 6 Monate geprüft werden, und solche über 300 kg alle 3 Monate. Diese zeitlichen Abstände verdoppeln sich, wenn ein Leckageerkennungssystem (LES) installiert ist. Falls ein LES installiert ist, muss auch dieses mindestens alle 12 Monate auf Funktionstüchtigkeit überprüft werden (F-Gase-Verordnung § 3, Abs. 3).

³ Obwohl die maximalen spezifischen Kältemittelverlustraten in der ChemKlimaschutzV nicht auf empirischen Untersuchungen basierten, wurden diese in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt und von ihr bestätigt.

Tabelle 4: Vorgaben über Dichtheitsprüfungen (DHPs) in der F-Gase-Verordnung

	Maximaler Abstand zwischen zwei DHPs
>=3 kg	12 Monate
>=30 kg	6 Monate
>=300 kg	3 Monate

Die F-Gase-Verordnung und auch die ChemKlimaschutzV schreiben des Weiteren vor, dass nach einer Kältemittel-Nachfüllung die Anlage innerhalb eines Monats erneut auf Dichtheit überprüft werden muss.

Die Betreiber von Kälteanlagen sind außerdem dazu verpflichtet, für eine lückenlose Dokumentation der Anlagen zu sorgen und sie den zuständigen Behörden zur Verfügung zu stellen (ChemKlimaschutzV § 3, Abs. 4, und F-Gase-Verordnung § 3, Abs. 6). Sowohl die Menge und der Typ des Kältemittels, Nachfüllmengen, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten als auch die Entsorgung des Kältemittels müssen erfasst werden. Eine Identifizierung des Service-Unternehmens muss möglich sein. Es müssen alle Dichtheitsprüfungen und Kontrollen von Leckage-Erkennungssystemen dokumentiert werden.

3.2 Überarbeitung der F-Gase-Verordnung

Eine überarbeitete Fassung der F-Gase-Verordnung wurde im April 2014 angenommen und trat am 9. Juni 2014 in Kraft. Die neue Verordnung (EG) Nr. 517/2014 enthält weitere relevante Bestimmungen zur Dichtheit von stationären Kälte- und Klimaanlageanlagen.

Gemäß § 4 ist nun geregelt, dass Dichtheitskontrollen an Anlagen mit fluorierten Kältemitteln ab einer Menge von 5 t CO₂ Äquivalenten, die nicht Bestandteil von Schäumen sind, durchgeführt werden müssen. Dies gilt für stationäre Kälte- und Klimaanlageanlagen sowie Wärmepumpen und eine Reihe weiterer Anwendungen.

Auch die Häufigkeit der Dichtheitskontrollen wird entsprechend der Menge an enthaltenen F-Gasen geregelt, und zwar bei Einrichtungen, die F-Gase in einer Menge

von 5 – 50 t CO₂ Äquivalenten enthalten: Mindestens alle 12 Monate oder mindestens alle 24 Monate, wenn ein Leckage-Erkennungssystem installiert ist;
von 50 – 500 t CO₂ Äquivalenten enthalten: Mindestens alle 6 Monate oder mindestens alle 12 Monate, wenn ein Leckage-Erkennungssystem installiert ist;
von >500 t CO₂ Äquivalenten enthalten: Mindestens einmal alle 3 Monate oder mindestens alle 6 Monate, wenn ein Leckage-Erkennungssystem installiert ist.

Die Betreiber der Anlagen sind auch gemäß der überarbeiteten Verordnung zur Führung von Aufzeichnungen verpflichtet (§ 6), die neben den bisher erforderlichen Informationen noch Angaben dazu enthalten müssen, ob die eingesetzten F-Gase recycelt oder aufgearbeitet wurden, einschließlich des Namens und der Anschrift der Recycling- oder Aufarbeitungsanlage und ggf. deren Zertifizierungsnummer, und ggf. Angaben zu rückgewonnenen Mengen von Kältemitteln. Weiterhin müssen im Falle einer Stilllegung der Anlagen erfolgte Maßnahmen zur Rückgewinnung und Entsorgung von fluorierten Kältemitteln genannt werden.

4 Überblick über die Verwendung fluorierter Kältemittel in stationären Kälte- und Klimaanlage in Deutschland

Für einen Überblick über die Verwendung fluorierter Kältemittel in stationären Kälte- und Klimaanlage in Deutschland liegen u.a. folgende Informationen vor:

Untersuchung des Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) zum Energiebedarf von Kältetechnik in Deutschland in 2011⁴

Untersuchungen des VDMA zum Bestand an Kälte- und Klimaanlage im Jahr 2008

Untersuchungen zum Energieverbrauch von Kälte- und Klimaanlage der Hochschule Karlsruhe⁵

Daten klimawirksamer Stoffe aus der jährlichen Erhebung der Bundesländer nach dem Umweltstatistik-Gesetz (UStatG)⁶

Vorbereitungsstudie (kurz: EuP Studie) zur Produktgruppe 10 (Raumklimageräte) der EU Öko-Design Richtlinie 2009 („Energy-using Products Directive“)⁷

Des Weiteren kann auf diverse Statistiken über Aktivitäten in relevanten Wirtschaftszweigen zurückgegriffen werden, um eine Abschätzung der benötigten Kälteleistungen bzw. -anlagen zu erstellen.

4.1 Anlagenzahl und Nachfüllmengen in Deutschland

Gemäß einer früheren Studie des VDMA⁸ lag der numerische Bestand an Kältesystemen in Deutschland 2008 bei insgesamt etwas mehr als 121 Millionen Anlagen (Abbildung 1). Den größten Anteil bildeten Haushaltskühl- und -gefriergeräte (ca. 80 Millionen; 66%), gefolgt von Klimaanlage (ca. 37,7 Millionen; ca. 31%) und Kältesystemen in der Gewerbekälte (1,7 Millionen; ca. 1,4%). Mit größerem Abstand folgten Industrie-Kältesysteme (548.000) und Supermarktkälteanlagen (420.000)⁹.

⁴ VDMA 2011 (Autor: Guntram Preuß): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland. Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten. Frankfurt am Main, 004.04.2011.

⁵ Arnemann, M. 2014, Ergebnisse einer energetischen und ökologischen Analyse der Kältetechnologien in Deutschland, Herausforderungen für Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik (Veranstaltung des DKV und des IZW), Darmstadt, 25.2.2014.

⁶ <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/KlimawirksameStoffe/KlimawirksameStoffe.html>

⁷ EuP-Studie - Ecodesign TREN Lot 10 (airconditioning and ventilation): Die Studie enthält Absatz- und Bestandszahlen für das Jahr 2005 und Projektionen für 2010 bis 2030 für reversible Split-Geräte und Split-Geräte nur zur Kühlung (inkl. Multisplit-Systeme).

⁸ VDMA 2009 (Autor: Guntram Preuß): Branchenbericht Deutscher Markt für Kältetechnik 2009: Bestand an Kältesystemen in Deutschland nach Einsatzgebieten, Marktvolumen für kältetechnische Anwendungen. Frankfurt am Main, 15.12.2009.

⁹ Supermarktkälteanlagen sind in der VDMA Studie nicht in der Gewerbekälte enthalten.

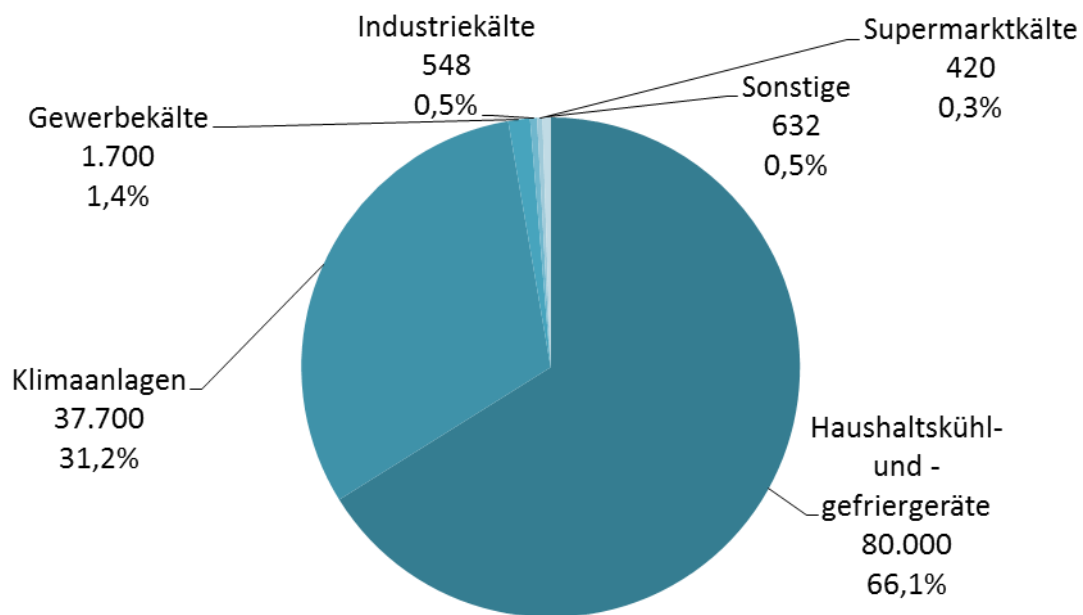


Abbildung 1: Verteilung der Kälte-Klimaanlagen in Deutschland laut Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (Preuß 2009). Angaben in Tausend Anlagen und Anteile am Gesamtbestand in Prozent.¹⁰

Eine neuere Schätzung der Hochschule Karlsruhe (Arnemann 2014) deckt sich weitgehend mit der Erhebung des VDMA⁵ und geht von 110-120 Millionen Kälteanlagen bzw. Wärmepumpen in Deutschland aus. Darin enthalten sind 67,5 Millionen Haushaltskühlgeräte, 36,4 Millionen PKW-Klimaanlagen sowie 2,4 Millionen nicht-steckerfertige Geräte in der stationären Kältetechnik.

Eine weitere Datenquelle sind die jährlichen Erhebungen zu klimawirksamen Stoffen der Bundesländer nach dem Umweltstatistikgesetz (UStatG)⁶. Destatis veröffentlicht aus den UStatG-Erhebungen seit 2009 Daten (Berichtsjahr 2007) über die Verwendung von klimawirksamen Kältemitteln (ohne HFCKW). Diese Daten beinhalten neben der Verwendung zur Erstbefüllung und zur Umrüstung auch die Verwendung zur Instandhaltung des Kälteanlagen-Bestands in Deutschland (Nachfüllmengen). Dies bezieht sich auf FKW, HFCKW sowie darauf basierende Blends.

Aus den UStatG-Erhebungen geht hervor, dass besonders in der KFZ-Herstellung, im Maschinenbau und anderen verarbeitenden Gewerben, in der chemischen und pharmazeutischen Industrie und teilweise im Baugewerbe F-Gase eingesetzt werden (siehe Tabelle 6). Da diese Wirtschaftssektoren ungleichmäßig über die einzelnen Bundesländer verteilt sind, gibt es erhebliche Unterschiede bezüglich der erfassten Verwendungsmenge.

Es ist mit Hilfe der Experten des Statistischen Bundesamts möglich, die Wirtschaftszweige mit stationären Kältemittelanwendungen von Wirtschaftszweigen mit mobilen Anwendungen zu trennen und dadurch z.B. die jährlichen Nachfüllmengen in stationäre Kälte-Klimaanlagen zu erhalten.

¹⁰ Der Unterschied zwischen Gewerbekälte und Supermarktkälte wird in 4.3.1 erläutert.

Abbildung 2 zeigt, dass die auf diese Weise bestimmte Nachfüllmenge von F-Gasen für stationäre Kälteanlagen seit 2007 laut UStatG-Erhebungen von etwa 1.000 Tonnen auf 1.350 Tonnen im Jahr 2012 angestiegen ist.¹¹

Es ist zu beachten, dass die UStatG-Zahlen auch Nachfüllmengen für stationäre Kälteanlagen unter 3 kg Füllmenge beinhalten. Andererseits sind nur die Unternehmen, die jährlich mehr als 20 kg F-Gase in der Herstellung, Instandhaltung oder Reinigung verwenden bzw. als Importeur oder Exporteur agieren, verpflichtet, an der UStatG-Erhebung teilzunehmen, so dass eine gewisse Unterschätzung der Nachfüllmengen vorliegen dürfte, die wir an dieser Stelle nicht zu quantifizieren versuchen.¹²

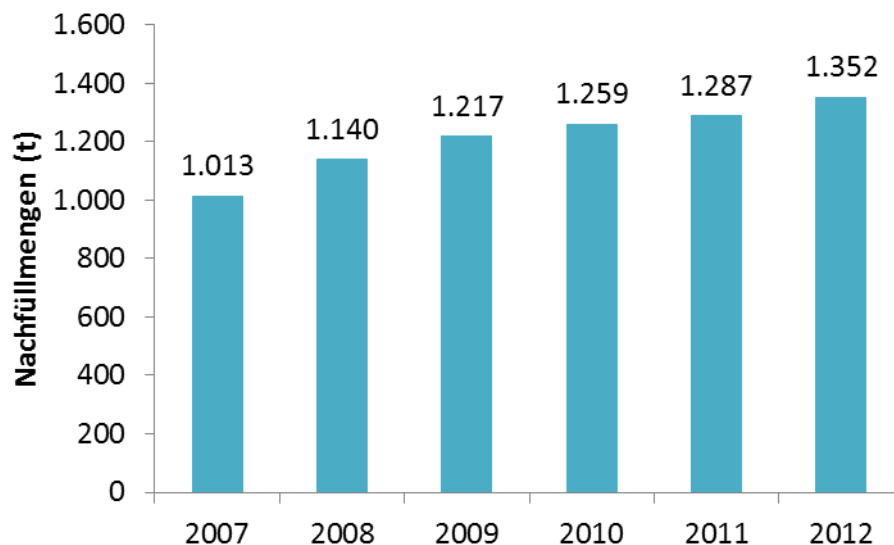


Abbildung 2: Nachfüllmengen von F-Gas-Kältemitteln zur Instandhaltung des stationären Kälteanlagenbestands in Deutschland laut Destatis.

In den folgenden Abschnitten werden Hintergrundinformationen aus den genannten Quellen zu relevanten stationären Kälte- und Klimaanlageanwendungen zusammengefasst. Eine Überblickstabelle zu den Daten, die gemäß Umweltstatistikgesetz auf Ebene der Bundesländer jährlich erhoben werden, ist im Anschluss beigefügt (siehe Tabelle 6).

4.2 Anwendung: Stationäre Klimatisierung

Stationäre Klimaanlageanlagen sollen in Gebäuden jederzeit behagliche Temperaturen schaffen. Für einzelne Räume oder Etagen werden dazu Raumklimageräte genutzt. Große zentrale Systeme hingegen dienen der Klimatisierung großer Säle oder ganzer Gebäude. Letzteres wird oft über eine indirekte Kühlung in Verbindung mit Flüssigkeitskühlsätzen (auch Chiller genannt) realisiert.

¹¹ Zu beachten ist, dass nach UStatG das Kältemittel R22 nicht erhoben wird, so dass die Zunahme nur F-Gase betrifft und keine direkte Aussage über die Entwicklung der Kältemittel-Leckageraten bedeutet

¹² Siehe dazu: K. Martens, C. Elsner, W. Plehn 2011: Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland. Ausgangsdaten und Berechnungsmethoden für die Kälte- und Klimatechnik, in: Die Kälte + Klimatechnik (kk) 3/2011, S. 20-26.

4.2.1 Raumklimageräte (Mobil, Singlesplit, Multisplit und VRF)

Der Kältemittel-Bestand sowohl für kleine Geräte (mobile Raumklimageräte und einfache Split-Geräte) als auch für große Geräte (Multisplit- und VRF-Systeme; Abbildung 4) ist zwischen 1993 und 2010 stark angestiegen. Dies liegt daran, dass in Deutschland seit 2000 die Verwendung von Raumklimageräten sprunghaft an Verbreitung gewonnen hat. Seit 2006 werden in Deutschland jedes Jahr zwischen 110.000 und 140.000 solcher Geräte verkauft (Abbildung 3).¹³ Der Bestand von Raumklimageräten in Deutschland nimmt damit Jahr für Jahr kontinuierlich zu.

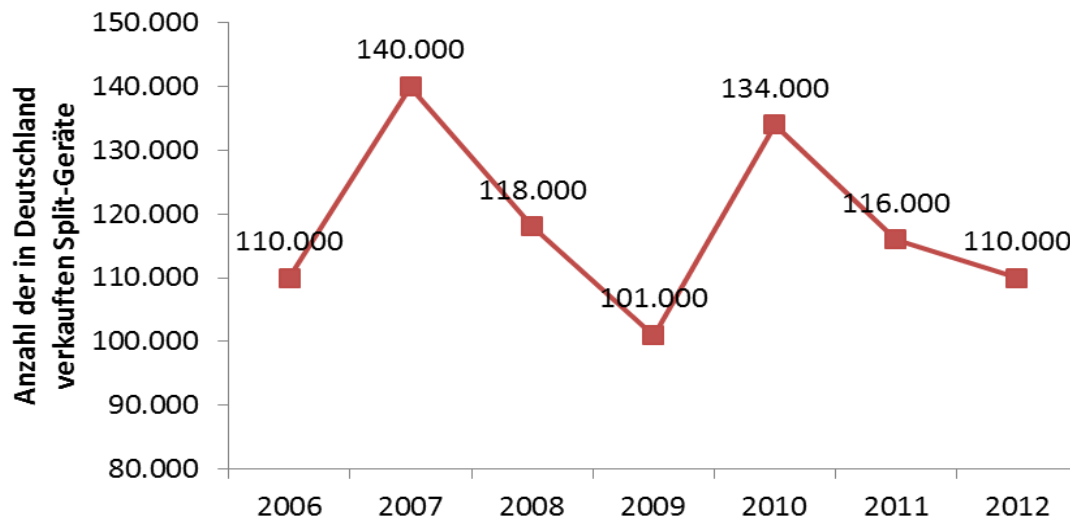


Abbildung 3: Anzahl der in Deutschland über die Jahre 2006 bis 2012 verkauften Split-Klimageräte (Quelle: JARN Special Issue Mai 2007, Mai 2008, Mai 2009, Mai 2010, Mai 2011, Mai 2012 und Mai 2013).

Das Kältemittel R 22 wurde ab 2000 zunächst durch R407C und danach immer mehr durch R410A in neuen Geräten abgelöst. Im Verhältnis zu mobilen und einfachen Splitgeräten lagen die Kältemittel-Bestände in Multisplit- und VRF-Geräten im Jahr 2000 bei ca. 40%. Im Jahr 2010 war ihr Anteil schon auf 82% der Menge in mobilen und einfachen Splitgeräten bzw. auf 45% des Gesamtbestands in Raumklimageräten angestiegen.

Die Anzahl der installierten Raumklimageräte in Deutschland wurde von der EuP-Studie im Jahr 2008 auf rund 800.000 Einheiten geschätzt⁷ (inkl. Fensterklimasysteme, die eine untergeordnete Rolle spielen).

Mobile (portable) Klimageräte (für den Einsatz in Gebäuden) wurden laut der EuP-Studie 2005 im Umfang von rund 850.000 und 2010 von 857.000



Abbildung 4: Multisplit-Außengerät (Öko-Rech. 2013).

¹³ JARN Special Issue Mai 2007, Mai 2008, Mai 2009, Mai 2010, Mai 2011, Mai 2012 und Mai 2013.

Stück in Deutschland betrieben¹⁴. Jeweils zirka die Hälfte wurde der privaten Nutzung bzw. der geschäftlichen Nutzung (Büro und Gewerbe) zugerechnet. Laut VDMA lag die Anzahl 2008 bei rund 1,1 Millionen Stück⁴.

4.2.2 Zentrale Klimatisierung (Flüssigkeitskühlsätze/Chiller)

Flüssigkeitskühlsätze sind in der Regel standardisierte, kompakte Systeme, die nicht vor Ort aus Einzelkomponenten zusammengebaut werden, sondern aus fabrikmäßiger Fertigung stammen und meist mit Kältemittelfüllung zum Anschluss an ein Kaltwasser- oder Sole-Umlaufsystem ausgeliefert werden (Abbildung 5).

Flüssigkeitskühlsätze decken einen breiten Bereich von möglichen Kälteleistungen ab, von unter 100 kW bis über 3.000 kW.

In dieser Studie wird die Zahl der in Deutschland installierten Flüssigkeitskühlsätze für 2010 auf etwa 90.000 Stück geschätzt, davon 53.000 im Leistungsbereich < 100kW, 37.000 mit Kälteleistung > 100 kW sowie etwa 1.000 Turboverdichter-Anlagen im Leistungsbereich darüber.

Die Gesamtmenge an Kältemitteln in diesen Geräten beträgt etwa 5.000 t. Als Kältemittel werden heute vorwiegend R134a, R407C und R410A verwendet.

Etwa drei Viertel der Geräte werden zur Klimatisierung verwendet und das verbleibende Viertel zur industriellen Prozesskühlung^{15,16}.



Abbildung 5: Flüssigkeitskühlsatz (Öko-Recherche 2013).

¹⁴ EuP-Studie - Ecodesign TREN Lot 10 (airconditioning and ventilation).

¹⁵ UBA-Expertengespräch, BMU Bonn, 2012.

¹⁶ Eine Statistik des VDMA liefert einen guten Überblick über den Einsatz von Flüssigkeitskühlern in der Industrie, die nicht in den einschlägigen Statistiken enthalten sind, weil sie in der Regel nur Füllmengen < 1 kg enthalten und in industrielle Maschinen integriert sind, zum Beispiel als Öl-Rückkühler für Werkzeugmaschinen (z. B. Fräsen, Drehen, Schleifen, Bearbeitungszentren). Wachsende Bedeutung kommt der Lasertechnik bei Arbeitsvorgängen wie Schneiden, Schweißen und Markieren zu. Hochbelastete Maschinenteile und der Laser müssen in vielen Fällen gekühlt werden. Gleiches gilt für Kühlschmierstoffe, die in der Metallverarbeitung eingesetzt werden. Hier ist oft bei der Filtration eine Kühlung notwendig. Die Anzahl solcher kleiner Flüssigkeitskühlsätze wird in VDMA 2011 auf etwa 200.000 Stück geschätzt.

4.3 Anwendung: Gewerbekälte

Das starke Wachstum der Gewerbekälte in den letzten Jahren erklärt sich durch die Ausweitung des Sortiments an Frischwaren im Lebensmittelbereich¹⁷, den Trend zu Chilled Convenience Food¹⁸ und den steigenden Pro-Kopf-Verbrauch an tief-gekühlten Lebensmitteln¹⁹. Um Kühlketten für diesen Bereich zur Verfügung zu stellen, werden folgende Anlagentypen in Deutschland betrieben.

4.3.1 Zentralanlagen (Supermarktkälte)

Gewerbekälte-Zentralanlagen (Abbildung 6) werden meistens in "Supermärkten" (SB-Warenhäuser, Verbrauchermärkte, große und kleine Supermärkte, C&C-Märkte) eingesetzt und sind charakterisiert durch ein verzweigtes Leitungssystem mit zahlreichen Verbindungsstellen und damit oft relativ hohen Kältemittelverlusten.

Die Anlagen in Supermärkten unterscheiden sich von denen bei Discountern unter anderem durch ihre Größe und dadurch, dass Discounter Zentralanlagen in vielen Fällen nur für Normalkühlung und nicht für die Tiefkühlung einsetzen.

Das Standard-Kältemittel dieser Anlagen war bisher R404A. Unter anderem durch den veränderten gesetzlichen Rahmen gibt es zunehmend Alternativen in der Supermarktkälte wie z.B. transkritische CO₂-Anlagen bzw. Kaskadensysteme mit CO₂ in der Tiefkühlstufe.²⁰



Abbildung 6: Supermarkt-Zentralanlage (Öko-Recherche 2014).

Laut VDMA gab es im Jahr 2008 in Deutschland 420.451 Zentralanlagen. Auf Zentralanlagen im Lebensmittelhandel im Besonderen (ab Verkaufsfläche > 400m²)

¹⁷ KPMG International 2008: Sortimente und Warengruppen im deutschen Lebensmitteleinzelhandel – eine Bewertung aus Verbrauchersicht. KPMG: Amsterdam.
<http://www.lebensmittelzeitung.net/studien/pdfs/84.pdf>

¹⁸ Bundesvereinigung der deutschen Ernährungsindustrie (2008). Chilled Food mit kontinuierlichem Wachstum. Chilled Food Congress, Köln, 08./09.09.2008. <http://www.bve-online.de>.

¹⁹ Deutsches Tiefkühlinstitut e.V.: Pro-Kopf Verbrauch von Tiefkühlkost der Deutschen 1978 – 2008.

²⁰ Siehe z.B. Die Kälte + Klimatechnik Heft 3 2014 s.60 „Euroshop 2014 Düsseldorf – Optimistische Erwartungen übertroffen“.

entfielen nach dieser Quelle 2008 etwa zwei Drittel des Kältemittelbestands der gesamten Gewerbekälte.²¹

4.3.2 Verflüssigungssätze

Verflüssigungssätze werden häufig in der "kleinen" Gewerbekälte, beispielsweise in Fleischereien, Bäckereien oder Restaurants verwendet. Es handelt sich um kompakte Kältemaschinen, bei denen alle Anlagenbauteile außer dem Verdampfer an einem Standort montiert werden (siehe Abbildung 7).

Die installierte Kälteleistung und die Kältemittelfüllmengen sind deutlich geringer als bei Gewerbekälte-Zentralanlagen. Als Kältemittel werden bisher fast ausschließlich R404A und R134a zu etwa gleichen Teilen eingesetzt.

Aufgrund der Vielzahl von Bereichen, in denen Verflüssigungssätze eingesetzt werden, ist eine Schätzung der Stückzahl in Deutschland kompliziert.



Abbildung 7: Verflüssigungssatz (Öko-Recherche 2014).

Tabelle 5: Anzahl der Betriebe in den verschiedenen Einsatzbereichen von Verflüssigungssätzen.

Einsatzbereich	Anzahl der Betriebe	Quelle
Discounter	15.591	EuroHandelsinstitut, The Nielsen Company GmbH
Kleine Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte	7.463	EuroHandelsinstitut, The Nielsen Company GmbH
Kleinhandel (Getränkeabholmärkte, Tankstellenshops, Facheinzelhandel)	57.378	EuroHandelsinstitut, Destatis, ADAC

²¹ Von einem typischen Supermarkt mittlerer Größe und dessen Kältemittelmengen für Tief- und Normalkühlung wird der Koeffizient „Kilogramm pro m² Verkaufsfläche“ abgeleitet, der als Schlüsselfaktor für die Bestandsabschätzung des ganzen Sektors dient. Die Supermarktstudie des EPEE²¹ von 2010 hat für die EU einschließlich Deutschland den Koeffizienten 0,230 kg/m² für alle Märkte >400 m² Verkaufsfläche (ohne Discounter) angesetzt²¹. Mit Hilfe dieser Kennziffer kann indirekt der Kältemittel-Bestand errechnet werden, der sich jährlich entsprechend der Verkaufsfläche vergrößert oder verkleinert.

Einsatzbereich	Anzahl der Betriebe	Quelle
Handwerk (Fleischerbetriebe und -filialen, Bäckereihandwerk und -filialen)	70.607	Deutscher Fleischer-Verband, Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks e.V.
Hotels und Restaurants	240.746	Destatis, Branchenverband DEHOGA
Sonstige (Krankenhäuser, Pflegeheim, Küchen, Laboratorien, Blumenhandel usw.)	38.000	Destatis, Gesundheitsberichterstattung des Bundes, VDMA, Fachverband Deutscher Floristen e.V., Bundesverband Zierpflanzen, Bundesverband Einzelhandelsgärtner, Verband des Deutschen Blumen-Groß- und Importhandels e.V.
Gesamt	- 420.000	

Tabelle 5 fasst die Anzahl der relevanten Betriebe in Deutschland zusammen. Laut diesen Angaben kann in Deutschland von etwa 420.000 Verflüssigungssätzen aller Größenklassen ausgegangen werden, wobei unterstellt wird, dass pro Betrieb nur ein Gerät eingesetzt wird.

4.4 Anwendung: Industriekälte

Kälte wird in der Industrie für verschiedene Prozesse benötigt. So müssen Rohstoffe, Zwischenprodukte sowie fertige Produkte gekühlt werden, aber auch Produktionsräume oder Hallen und Maschinen. Industriekälteanlagen sind oft einzeln gefertigt, zählen aber in dieser Studie auch zu den oben genannten Anlagentypen (z.B. Zentralanlagen, Chiller). Aufgrund ihrer spezifischen Nutzungsbedingungen in der Industrie werden sie trotzdem separat betrachtet.

Die Industriekälte hat in den vergangenen Jahren vor allem im Bereich der Lebensmittelindustrie - dem bestimmenden Sektor - stetiges Wachstum erfahren. Nach Angaben des Deutschen Tiefkühlinstituts ist etwa der Pro-Kopf-Verbrauch an Tiefkühlkost seit einigen Jahren um jährlich 3,9% gestiegen (2000-2008). Vergleiche mit anderen Ländern²² zeigen, dass das Wachstumspotential des deutschen Tiefkühlmarktes noch nicht ausgeschöpft ist.

²² Zahlen des Deutschen Tiefkühlinstituts e.V. sind online verfügbar:

<http://www.tiefkuehlkost.de/tiefkuehlwissen/tiefkuehlmarkt>

Die VDMA-Studie zum „Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland“ vom April 2011²³ führt zahlreiche Anwendungen und Sektoren der Industriekälte an und sieht außerhalb der Lebensmittelindustrie in der Chemie, vor allem der Grundstoffchemie, einen großen Anwender von Kältetechnik. Auch die Autoindustrie benötigt eine große Menge an Kältemitteln, und zwar nicht nur für die Befüllung von Klimaanlage, sondern auch für stationäre Zwecke wie zur Kühlung von Maschinen oder Produktionsanlagen.

Der VDMA schätzt, dass in Deutschland etwa 575.500 Industriekälteanlagen aller Größen in Betrieb sind.²⁴ In mehr als der Hälfte der Anlagen wird nach unseren Schätzungen Ammoniak eingesetzt²⁵.

4.5 Statistische Daten zur Verwendung von Kältemitteln in Deutschland

Gemäß Umweltstatistikgesetz (UStatG) wird in Deutschland jährlich die Verwendung klimawirksamer Stoffe erhoben, wobei nach Kältemitteln, Treibmitteln und sonstigen Mitteln unterschieden wird. Es gilt ein Schwellenwert ("Abschneidegrenze") von 20 kg/Jahr, so dass Kleinanwender von der Berichtspflicht nicht betroffen sind.

Tabelle 6 fasst die Daten für die Verwendung als Kältemittel aus der Erhebung nach UStatG nach Bundesländern zusammen. Es wird deutlich, dass vor allem in Bundesländern, in denen Automobilproduktion angesiedelt ist (Bayern, Niedersachsen) große Mengen an Kältemitteln eingesetzt werden, was auf die Befüllung von Fahrzeugklimaanlagen zurückzuführen ist.

Da die Verwendung für mobile Fahrzeugklimaanlagen nur in bestimmten Wirtschaftszweigen vorkommt und so gut wie ausschließlich R134a betrifft, lässt sich die auf rein stationäre Systeme entfallende Kältemittelmenge ziemlich genau bestimmen, wenn man jene "mobilen" Sektoren subtrahiert. Diese Berechnung wird nicht in der nachfolgenden Tabelle, sondern separat durchgeführt. Ihre Ergebnisse liegen den Daten in Abbildung 2 zugrunde: "Nachfüllmengen in Tonnen zur Instandhaltung des stationären Kälteanlagenbestands in Deutschland laut Destatis".

Im vorliegenden Zusammenhang ist die



Abbildung 8: Zwei industriell genutzte Zentralanlagen (Öko-Recherche 2014).

²³ VDMA 2011, a.a.O., S. 27

²⁴ Siehe Fußnote 8.

²⁵ Anzumerken ist, dass auch ein großer Teil der Kälteleistung in der Chemie auf Gasverflüssigung entfällt, für die halogenierte Kältemittel eine untergeordnete Rolle spielen.

wichtigste Verwendung von F-Gas-Kältemitteln diejenige zur Instandhaltung, weil es sich hier um die Nachfüllmengen in bestehende Anlagen zum Verlustausgleich handelt. Von den insgesamt 1920,8 t für die "Instandhaltung" entfielen im Jahr 2012 1.352 t auf stationäre Systeme (siehe Abbildung 2). Letzteres sind über 70% aller F-Gas-Kältemittel-Nachfüllungen.

Tabelle 6: Übersicht nach Bundesländern: Erhebung klimawirksamer Stoffe nach UStatG (Abschneidegrenze: Verwendungsmenge < 20 kg/Jahr; Quelle: Statistische Ämter der Länder).

2012 Statistiken der Bundesländer	Gesamt (metr. t)	Relevante Wirtschafts- zweige	Verwendung als Kältemittel (metr. t)				einzelne Kälte- mittel
			Gesamt	Neu- anlagen*	Um- rüstung	Instand- haltung	
Bayern	2.473,2	Kfz Herstellung (1.433 t), Maschinenba u (549 t)	2.390	k.A.	k.A.	k.A.	R134a: 2.060 t
Baden- Württemberg	1.472,8	Verarbeitend es Gewerbe (1.183 t)	1406,2	k.A.	k.A.	k.A.	
Thüringen	214,8	Reparatur und Installation von Kälteanlagen (53 t), Kfz Herstellung (47 t)	131	85,1	k.A.	45,9	
Hessen	433,2		428,7				
Rheinland-Pfalz	544,3	Herstellung von chem. u. pharmaz. Erzeugnissen (367 t)	177,2	93,7	8,9	74,6	
Saarland	44,6	Maschinenba u (16,8 t)	44,4	k.A.	k.A.	k.A.	
Sachsen	549,9	Kraftwagen/- motoren, Kfz	455,2	345		96	R134a: 340,4
Sachsen-Anhalt	339,5	Verarbeitend es Gewerbe (302,1 t)	83,5	38	5,7	39,8	
Nordrhein- Westfalen	669,1		656,6	301,4	43,9	311,3	

2012 Statistiken der Bundesländer	Gesamt (metr. t)	Relevante Wirtschafts- zweige	Verwendung als Kältemittel (metr. t)				einzelne Kälte- mittel
			Gesamt	Neu- anlagen*	Um- rüstung	Instand- haltung	
Niedersachsen	2.589,3		1.318,1	1.125,6	k.A.	192,4	R134a: 994,5 t; R404A: 162,1 t
Brandenburg	69,3	Kfz-Handel, Kfz-Reparatur (25,4 t)	69,3	24,2	1,7	43,4	R134a: 45 t
Berlin	70,7	Baugewerbe (22 t)	70,7	11,4	2,5	56,8	R134a: 42,5 t
Mecklenburg- Vorpommern	78,8	Maschinen- Reparatur/ Installation (49,8 t)	78,8	41,9	k.A.	36,9	
Schleswig-Holstein	176	Maschinenba u (46,9 t), Masch.-Rep./ Installation (40,4 t)	130,8	48,8	17,9	64,1	
Hamburg	93,8	Maschinenba u (32,5 t), Baugewerbe (28,8 t)	93,8	33,2	5	55,5	
Bremen	27,9	Maschinen- bau	27,8	5,9	2	19,9	
Abgleich: Stat. Bundesamt: Deutschland	9.847		7.562,2	5.372,7	268,7	1.920,8	

5 Aktivitäten der Bundesländer

Die Umsetzung der ChemKlimaschutzV liegt in der Hand der Bundesländer. Verantwortliche Landesbehörden sind in vielen Fällen die Landesministerien mit Zuständigkeiten wie Umwelt, Arbeit, Wirtschaft oder Soziales.

Nicht alle Aufgaben der ChemKlimaschutzV werden allerdings in der Regel direkt von diesen übergeordneten Behörden erfüllt. Zuständigkeiten werden deshalb noch nach folgenden Aspekten unterschieden:

- Anerkennung gemäß § 5 Abs. 3 ChemKlimaschutzV (Persönliche Voraussetzung für bestimmte Tätigkeiten),
- Zertifizierung gemäß § 6 Abs. 1 ChemKlimaschutzV (Zertifizierung von Betrieben),
- Überwachung.

In Bremen, Hamburg, Hessen und Schleswig-Holstein sind die übergeordneten Landesbehörden auch für alle diese Bereiche der Verordnung zuständig. In Berlin, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt sind diesbezügliche Zuständigkeiten an eine Unterbehörde abgegeben. In Sachsen-Anhalt ist das z.B. das Landesverwaltungsamt und in Berlin das Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit, in Sachsen die Landesdirektion.

In den anderen Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Saarland und Thüringen) sind für diese drei Teilbereiche mehrere unterschiedliche Unterbehörden zuständig. In einigen Fällen sind deshalb auch Regierungsbezirke, Kreise oder sogar Gemeinden mit dem Vollzug der Vorschriften beschäftigt.

Tabelle 7: Zuständigkeiten in vier Beispiel-Bundesländern

Zuständigkeitsbereich	Bayern	Schleswig Holstein	Hamburg	Bremen
<i>Anerkennung gemäß § 5 Abs. 3</i>	Landesamt für Umwelt	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume	Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt	Senator für Umwelt, Bau und Verkehr
<i>Zertifizierung gemäß § 6 Abs. 1</i>	Landesamt für Umwelt	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume	Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt	Senator für Umwelt, Bau und Verkehr
<i>Überwachung</i>	Gewerbeaufsichtsämter der Regierungsbezirke	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume	Amt für Immissionsschutz und Betriebe/Amt für Abfallwirtschaft - Abfallentsorgungsanlagen	Gewerbeaufsicht des Landes Bremen

Dieses Kapitel stellt Aktivitäten der Bundesländer zur Umsetzung der ChemKlimaschutzV sowie die Beteiligung der Behörden an diesem Vorhaben dar.

5.1 Initiativen zur Umsetzung der ChemKlimaschutzV in den Bundesländern

Trotz der weitverzweigten Zuständigkeiten gibt es einige sehr erfolgreiche Initiativen, um die nötigen Kompetenzen in den einzelnen Behörden zu schaffen und eine effektive Umsetzung der ChemKlimaschutzV zu gewährleisten. Im Folgenden werden einige dieser Initiativen näher betrachtet.

5.1.1 Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit

Die Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC) sowie deren Ausschüsse unterstützen die Länder und zuständigen Unterbehörden in ihren Vorhaben. Die Arbeitsgemeinschaft ist ein Gremium der Umweltministerkonferenz. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie die obersten für Chemikaliensicherheit zuständigen Länderbehörden sind ständige Mitglieder der Gemeinschaft. Zusätzlich werden regelmäßig Mitarbeiter von z.B. dem Umweltbundesamt (UBA), der Bundesanstalt für Arbeitsschutz- und Arbeitsmedizin (BAuA) oder des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) zu den halbjährlichen Sitzungen eingeladen.

Die BLAC hat die drei folgenden ständigen Ausschüsse:

Chemikalienrecht,
Fachfragen und Vollzug und
GLP (Gute Laborpraxis) und andere Qualitätssicherungssysteme.

Alle Ausschüsse tagen nach Bedarf.

Die Arbeitsgemeinschaft hat bis dato z.B. durch die Erarbeitung einer Vollzugshilfe in 2009²⁶ sowie durch Beschlüsse zur ChemKlimaschutzV und der F-Gase-Verordnung zu einer effektiven und bundesweit einheitlichen Umsetzung der Vorgaben beigetragen.

5.1.2 Beispiele für Initiativen auf Landesebene und nachgeordnete Behörden

Die folgenden Beispiele von Aktivitäten auf Ebene der Bundesländer stellen eine nicht abschließende Auflistung dar und basieren auf direkten Nachfragen bei den zuständigen Landesbehörden sowie zusätzlichen Internetrecherchen.

Um eine möglichst einheitliche Umsetzung der ChemKlimaschutzV zu ermöglichen, wurden beispielsweise folgende Aktivitäten eingeleitet:

- Einige Bundesländer haben Leitfäden zur Umsetzung der ChemKlimaschutzV verfasst, die auf der oben genannten Vollzugshilfe der BLAC aufbauen.²⁷
Einige Bundesländer entwickelten außerdem einheitliche Checklisten bzw. Fragebögen, die den zuständigen Behörden die Begehungen vereinfachen.²⁸
- In Sachsen-Anhalt erfolgt die Überwachung sowohl durch die Landkreise/kreisfreien Städte als auch durch das Landesverwaltungsamt anhand eines Leitfadens. Die Erfassung der Anlagen und die Auswertung der Kontrollen erfolgen zentral durch das Landesverwaltungsamt. Bis zum Jahr 2014 wurden ca. 2.300 Kälte- und Klimaanlage erfasst.

²⁶ <http://www.blac.de/servlet/is/2146/Vollzugshilfe.pdf>

²⁷ Z.B. Sachsen-Anhalt (http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Handbuch/AnhI_MLU_Lf_Ueberwachung_Anlagen_klimawirksam_LSA.pdf)

²⁸ z.B. Baden-Württemberg und Sachsen-Anhalt.

- Auch in Mecklenburg Vorpommern gibt es eine jährliche Liste von durchgeführten Kontrollen. Dort wurden z.B. im Jahr 2012 18 Kälteanlagen von den Behörden kontrolliert. Dabei wurden neben den Anforderungen zu Dichtheitsprüfungen auch die Logbücher der Anlagen kontrolliert.
- Seit 2011 werden in Schleswig-Holstein systematisch Kälte- und Klimaanlageanlagen erfasst und hinsichtlich ihrer Wartung überwacht. Bis dato werden etwa 3.500 Kälteanlagen überwacht.
- Im Jahre 2009 wurde von den Gewerbeaufsichten in Rheinland-Pfalz die Programmarbeit „Vollzug der Verordnung ChemKlimaschutzV i.V. mit der EG Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase“ Beratung und Information von Betrieben durchgeführt. Hierbei wurden 38 Betriebe in Rheinland-Pfalz, die die Installation, Wartung und Instandhaltung derartiger Anlagen durchführen, von März bis Juni 2009 bezüglich ihrer neuen Verpflichtungen beraten und informiert.
- Neben diesen routinemäßigen Kontrollen von Kälte- und Klimaanlageanlagen gibt es in einigen Bundesländern auch Kontroll-Offensiven oder Schwerpunktaktionen, bei denen verstärkt Anlagen kontrolliert werden. Solche Aktionen gab es z.B. in Schleswig-Holstein in 2007/2008 (500 Betriebe erfasst), in Bremen in 2008 (228 Anlagen kontrolliert), in Niedersachsen in 2009 (931 Anlagen mit Schwerpunkt auf Anlagenerfassung und Betreiberinformation kontrolliert), in Rheinland-Pfalz in 2012 (78 Kälteanlagen in 29 Betrieben kontrolliert; weitere Kontrolloffensiven sind geplant) und in Mecklenburg Vorpommern in 2012 (verstärkte Kontrolle von Supermarktkälteanlagen).
- Zurzeit wird in Rheinland-Pfalz im Rahmen der regionalen Programmarbeit „Zertifizierung nach § 6 ChemKlimaschutzV“ in den größeren Unternehmen überprüft, ob nur entsprechend der ChemKlimaschutzV zertifizierte Betriebe zur Reparatur und Wartung von Kälteanlagen eingesetzt werden.
- Die Jahresberichte der zuständigen Gewerbeaufsichten (z.B. in Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz) mit Zusammenfassungen zu den erfolgten Kontrollen werden veröffentlicht.
- Auch zur Zertifizierung gibt es Leitfäden, die den zuständigen Behörden helfen, die rechtlichen Grundlagen einheitlich umzusetzen; so z.B. in Bayern.²⁹
- Andere Bundesländer unterhalten außerdem Webseiten, auf denen z.B. die Hintergründe und wichtigsten Betreiberpflichten sowie Informationen zur Zertifizierung für die Öffentlichkeit erklärt werden.³⁰

²⁹ http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/chemikalien_o2klima_verordnung/doc/chemklimaschutzv.pdf

³⁰ z.B. Saarland (<http://www.saarland.de/53954.htm>), Bremen (<http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.8662.de>) oder Sachsen (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/17037.htm>)

Box 1: Anlagenüberprüfungen gemäß ChemKlimaschutzV – Ergebnis einer Jahresaktion in Baden-Württemberg

Jahresaktion 2012 zu (EG) Nr. 1005/2009 und Chemikalien-Ozonschicht-Verordnung sowie (EG) Nr. 842/2006 und Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung

Von Januar 2012 bis Anfang 2013 wurden in Baden-Württemberg eine Überwachungsoffensive zu den Vorgaben der ChemOzonschichtV sowie ChemKlimaschutzV und deren Pendant auf europäischer Ebene durchgeführt. Von dieser Offensive waren daher Kälte- und Klimaanlage die mit R22 oder F-Gasen betrieben werden betroffen.

Das Umweltministerium des Landes entwickelte im Vorfeld eine Checkliste mit Erläuterungen, um die Überwachung auf Ebene der vier Regierungspräsidien sowie den 44 Ämtern in den Landkreisen und kreisfreien Städten zu koordinieren. In der Checkliste sollten unter anderem festgehalten werden:

Angaben zum Betreiber,
zu den Anlagen und Anwendungen,
zur Einhaltung von Vorgaben zu Dokumentation, Dichtheitsprüfungen,
Sachkunde und Kältemittelverlusten
zum Vorhandensein von Leckageerkennungssystemen, sowie
eingeleitete Maßnahmen.

Während der Offensive wurden insgesamt 178 Betriebe und 3.647 Anlagen überprüft. Hiervon wurden 1.614 Anlagen mit F-Gasen betrieben und hatten eine Füllmenge von über 3 kg. 403 Anlagen wurden noch mit R22 betrieben.

Überprüft wurden unter anderem Betriebe in den folgenden Branchen: Einzelhandel (31 Betriebe), Metzgereien (12), Hotels (8), Gesundheitswesen (7), Elektrotechnik (5), chemische Industrie (5) und Nahrungs- und Genussmittel (4).

Die zuständigen Behörden fanden in 90 % der Betriebe eine Dokumentation der Anlage vor. Bei 91 % der Betriebe wurden Dichtheitsprüfungen gemäß den rechtlichen Vorgaben durchgeführt und in 88 % der Fälle die Ergebnisse dokumentiert. In 94 % der Betriebe erfolgte nach einer Instandsetzung auch eine erneute Dichtheitsprüfung. Außerdem waren in 94 % der Betriebe zertifizierte Servicebetriebe für F-Gase Anlage zuständig. Leckageerkennungssysteme waren bei 88 % der Anlagen über 300 kg Füllmenge vorzufinden. Aus der Offensive gingen allerdings kaum Daten über Füllmengen und Nachfüllmengen und damit über den spezifischen jährlichen Kältemittelverlust hervor.

Box 2: Anlagenüberprüfungen gemäß ChemKlimaschutzV – Ergebnis einer Regelüberwachung im Jahr 2012 in Sachsen-Anhalt

Regelüberwachung im Jahr 2012 in Sachsen-Anhalt

Im Jahr 2012 wurden 778 Anlagen (756 Kälteanlagen, 22 Klimaanlage) unter Anwendung des „Leitfaden zur Überwachung von Anlagen mit klimawirksamen und ozonschichtschädigenden Stoffen in Sachsen-Anhalt“ überprüft. Diese Kontrollen fanden zu 89% bei Betreibern von Lebensmitteleinzelhandelsunternehmen statt, daneben aber auch bei Fischzuchtunternehmen, Fleischereien, Sonderpostenmärkten und Tankstellen.

Kernelemente der Inspektion waren insbesondere die Kontrolle der Einhaltung von:

Anforderungen an Wartungsfirmen und Wartungspersonal;

Vorgeschriebenen Intervallen von Dichtheitsprüfungen,

Vorschriften zur Erfassung von Angaben über die Anlagen,

Kennzeichnungsvorschriften der Anlagen,

Zusätzlichen Anforderungen an die Anlagen (z.B. Leckageerkennungssysteme),

Aufzeichnungspflichten über

Art und Menge des eingesetzten Kältemittels,

Nachfüllmengen der Kältemittel,

Rückgewinnungsmengen im Rahmen von Wartung, Instandhaltung und endgültiger Entsorgung,

Wartungsfirma und Wartungspersonal,

Termine und Ergebnisse der Kontrollmaßnahmen (Dichtheitsprüfungen, Prüfungen des Leckageerkennungssystems).

Ergebnisse:

Klimaanlagen enthalten in der Regel weniger als 30 kg Kältemittel, große Kälteanlagen mit mehr als 300 kg Füllgewicht sind ausschließlich in größeren Lebensmitteleinzelhandelseinrichtungen als Verbundanlagen zu finden. Diese enthalten halogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe (HFKW; 82% R404A; 14% R134a). Der Anteil der chlorierten (FCKW, HFCKW) Kohlenwasserstoffe in den kontrollierten Anlagen ist auf ca. 11% gesunken. Daraus kann gefolgert werden, dass das Kältemittel R22 durch HFKW, insbesondere R404A zunehmend ersetzt wurde.

Teilweise sind die Betreiber, vor allem im Einzelhandel, ungenügend über ihre Pflichten informiert. Wartungen bzw. Dichtheitsprüfungen an den einzelnen Standorten erfolgten, soweit bisher überprüft, stets durch entsprechend qualifiziertes Personal sowie zertifizierte Wartungsunternehmen. Es wurden Mängel in Bezug auf die Dichtheitskontrollen festgestellt. Insbesondere bei größeren Anlagen mit mehr als 30 kg Kältemitteln werden von den Betreibern die kürzeren Intervalle der Dichtheitskontrollen nicht immer korrekt eingehalten.

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung

Angaben zur Ermittlung des spezifischen Kältemittelverlustes stehen meist nicht zur Verfügung, da in den Aufzeichnungen in der Regel Nachfüllmengen in Folge einer Havarie vermerkt sind. Mängel zeigten sich auch bei der vorgeschriebenen Kennzeichnung der Anlagen. Die benötigten Angaben zu den Anlagen sind in der Regel vorhanden, jedoch nicht immer vor Ort verfügbar, vor allem bei Anlagen, die vor Inkrafttreten der entsprechenden Vorschriften errichtet wurden. Für diese Anlagen existieren keine oder nur wenige Aufzeichnungen. Häufig müssen Aufzeichnungen und Logbücher erst über die Wartungsfirma eingeholt werden.

Die Kontrollen wurden im Fall von Beanstandungen mit den Anlagenbetreibern ausgewertet und die Betreiber über ihre Pflichten aufgeklärt. Die Betreiber wurden auf mögliche Konsequenzen bei künftigen Beanstandungen hingewiesen.

Weiterhin bestehen auf Ebene der Regierungsbezirke bzw. Kreise Initiativen zur Umsetzung der Verordnung, die denen auf Landesebene zumindest ähnlich sind. Zum Beispiel wurde 2010 in der Oberpfalz eine Kontroll-Offensive der Gewerbeaufsicht durchgeführt, bei der 51 Kältefachbetriebe wurden auf ihre Zertifizierung hin überprüft wurden. Es wurden außerdem 100 Verbrauchermärkte und 28 fleischverarbeitende Betriebe auf die Einhaltung der Betreiberpflichten hin untersucht.³¹

Außerdem stellen eine Reihe von regionalen Behörden Materialien für die Öffentlichkeit bereit, die über die wichtigsten Aspekte der ChemKlimaschutzV wie z.B. die Betreiberpflichten sowie die Zertifizierung informieren. Die Bezirksregierung in Mittelfranken hat diesbezüglich ein Merkblatt zusammengestellt.³² Der Saale-Orla-Kreis sowie der Ilm-Kreis (beide in Thüringen) unterhalten eine Webseite für diesen Zweck.³³

Auch einige Gemeinden unterstützen die Vorhaben der zuständigen Behörden. Die Stadt Gera in Thüringen z.B. fasst die wichtigsten Vorschriften der ChemKlimaschutzV auf seiner Webseite zusammen.

5.1.3 Unterstützung des Vorhabens durch die zuständigen Behörden

Vor Beginn des Vorhabens wurden alle Bundesländer bzw. die zuständigen Ministerien vom Umweltbundesamt über das Vorhaben informiert. Im Ergebnis wurden Anlagen in 10 Bundesländern von zertifizierten Kältetechnikern begangen und erfasst (siehe Tabelle 8). Einige Länder beteiligten sich aktiv bei diesen Begehungen, sowohl auf Landes- als

³¹

http://www.stmas.bayern.de/imperia/md/content/stmas/stmas_internet/gewerbeaufsicht/jahresbericht_gewerbeaufsicht_2010.pdf

³² Z.B. in Mittelfranken

(https://www.regierung.mittelfranken.bayern.de/aufg_abt/abt7/formulare/fachinfo/chemikaliensicherheit/MerkblattBetreiberpflichten_Kaeltemittel_2012.pdf).

³³ Saale-Orla-Kreis (<http://www.saale-orkreis.de/sok/content/36/20090304093800.asp>); Kreis Ilm (<http://www.ilm-kreis.de/index.phtml?NavID=1626.178&La=1>)

auch auf regionaler Ebene. Einige Behörden stellten selbst Kontakt mit Betreibern her, andere übernahmen auch die Terminabsprache. In Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt nahmen die zuständigen Behörden vor Ort auch an Begehungen teil. Die meisten Bundesländer stellten außerdem detaillierte Informationen über Initiativen zur Umsetzung der ChemKlimaschutzV auf Landesebene zur Verfügung.

Tabelle 8: Übersicht der beteiligten Bundesländer an diesem Forschungsvorhaben

Bundesland	Anlagen im Land begangen?	Art der Beteiligung
Baden-Württemberg	x	Auskünfte über Initiativen im Land
Bayern	x	Auskünfte über Initiativen im Land
Berlin		Auskünfte über Initiativen im Land
Bremen		Auskünfte über Initiativen im Land
Hamburg		Auskünfte über Initiativen im Land
Hessen	x	
Mecklenburg-Vorpommern	x	Auskünfte über Initiativen im Land
Niedersachsen	x	Kontakt mit den Betreibern, Terminabsprache, Teilnahme an Begehungen
Nordrhein-Westfalen	x	Kontakt mit Betreibern und Unterbehörden, Teilnahme an Begehungen, Auskünfte über Initiativen im Land
Rheinland-Pfalz	x	Kontakt mit den Betreibern, Terminabsprache, Teilnahme an Begehungen, Auskünfte über Initiativen im Land
Sachsen	x	Kontakt mit Betreibern und Unterbehörden, Teilnahme an Begehungen, Auskünfte über Initiativen im Land
Sachsen-Anhalt	x	Kontakt mit den Betreibern und Unterbehörden, Terminabsprache, Teilnahme an Begehungen, Auskünfte über Initiativen im Land
Schleswig-Holstein	x	Auskünfte über Initiativen im Land
Thüringen		Auskünfte über Initiativen im Land

6 Planung und Ablauf der Anlagenbesichtigungen

6.1 Erarbeitung des Fragebogens

Der Fragebogen wurde von den Projektpartnern entwickelt und beruht auf den einschlägigen Erfahrungen, die CONEER GmbH während der Entwicklung des MobiLec-Systems sowie fortwährend durch die Datenerfassung für das System gesammelt hat.

Vor der ersten Anwendung wurde der Fragebogen an einer Kälteanlage auf Korrektheit und Funktionalität geprüft. Hierbei wurde vor allem Wert darauf gelegt, dass die enthaltenen Fragen möglichst wenig Raum für Interpretationen lassen, um Daten so homogen wie möglich zu erfassen.

Im Laufe der Begehungen wurden wiederholt gemeinsame Termine vereinbart, um auch weiterhin sicherzustellen, dass Daten-Aufnahme und Daten-Auswertung aufeinander abgestimmt sind. Diese Termine ermöglichten auch einen Austausch von Erfahrungen beim Ausfüllen der Fragebögen.

6.2 Kriterien zur Auswahl der Anlagen

Im Rahmen dieses Vorhabens sollten u.a. Aussagen zur Dichtheit der stationären Kälte- und Klimaanlage in Deutschland erarbeitet werden. Dafür wurden über 300 Anlagen besichtigt, die aufgezeichneten Daten zu diesen Anlagen und weitere Informationen wurden anschließend ausgewertet.

Um eine möglichst repräsentative Auswahl von Anlagen zu treffen, wurden mehrere Parameter betrachtet, die im Folgenden erläutert werden. Es ist zu beachten, dass aufgrund der freiwilligen Natur der Untersuchung nicht alle kontaktierten Betreiber auch zu einer Erfassung ihrer Anlagen bereit waren. Um trotzdem eine gute Verteilung über die folgenden Parameter zu gewährleisten, wurden im Laufe der Untersuchung gezielt Betreiber von bestimmten, in der Erfassung noch unterrepräsentierten Anlagen kontaktiert. Die Auswahl der hier erfassten Anlagen kann daher als annähernd zufällig angenommen werden.

6.2.1 Anlagentypen

Es fanden folgende technische Anlagentypen in den genannten Anwendungssektoren bei der Auswahl Berücksichtigung:

Gewerbekälte: Hinsichtlich der Anlagenarten wurden technisch die *Zentralanlagen*, die *Verflüssigungssätze* und steckerfertige Geräte unterschieden.

Industriekälte: Die großen Anwendungssektoren der Industriekälte sind Bierbrauereien, Weinerzeugung, Fleischproduktion, Molkereien, Kühlhäuser, Schokoladeproduktion, Tiefkühlkost, Fruchtsaft, Milchkühlung (Landwirtschaft), Eisbahnen und sonstige Industrie (80% Chemie). Dazu kommen noch hermetisch geschlossene Geräte in der verarbeitenden Industrie wie Schaltschränkkühler und Öl- bzw. Wasserrückkühler. Zu beachten ist, dass verschiedene Anlagentypen unter dem allgemeinen Begriff *Industriekälte* zusammengefasst wurden, da es für diese Anwendung keinen einheitlichen technischen Anlagentyp gibt.

Raumklimageräte: Aufgrund der durchschnittlich geringen Füllmenge von < 3 kg wurden mobile Raumklimageräte und Single-Split-Systeme nicht betrachtet. Die Auswahl umfasste daher nur *Multisplit- und VRF-Klimaanlagen*.

Flüssigkeitskühlsätze (*Chiller*) für industrielle Prozesskälte (nicht für Klimatisierung), soweit nicht unter Industriekälte erfasst.

6.2.2 Kältemittel

Die Auswahl der Anlagen beschränkte sich auf Anlagen mit HFKW-Kältemitteln, da diese den Vorgaben der ChemKlimaschutzV und F-Gase-Verordnung unterliegen. Kältemittel mit FKW, die ebenfalls als F-Gase reguliert werden, spielen in der Praxis keine Rolle.

Noch relativ weit verbreitet war das HFCKW-Kältemittel R22 (siehe Box 1), das zu den ozonschichtschädigenden Substanzen zählt und daher ab 2015 nicht mehr verwendet und seit dem 1.1.2000 in Deutschland nicht mehr in Neuanlagen in den Verkehr gebracht werden darf. Vor allem in der Industriekälte wird der Anteil an R22-Anlagen aufgrund der langen Lebensdauer dieser Anlagen noch als recht hoch eingeschätzt. Aber viele Anlagen wurden auch bereits auf Alternativen umgerüstet, z.B. auf das HFKW-Ersatzkältemittel R422D. Nur diese Ersatzstoffe wurden im Rahmen dieser Studie erfasst.

Weitere Kältemittel, die nicht der ChemKlimaschutzV unterliegen und in Deutschland verwendet werden, sind natürliche Kältemittel wie CO₂, Ammoniak (NH₃) und Kohlenwasserstoffe.

6.2.3 Füllmenge der Anlagen

Grundsätzlich unterliegen nur stationäre Kälte- und Klimaanlage mit einer Füllmenge an fluorierten Kältemitteln von > 3 kg (und bei hermetischen Systemen > 6 kg) den Vorgaben zu Dichtheitsprüfungen und der Aufzeichnungspflicht. Bei der Auswahl wurden folglich nur Anlagen dieser Größe berücksichtigt.

6.2.4 Herstellungsdatum der Anlagen

Die in der ChemKlimaschutzV festgesetzten Grenzwerte für die spezifischen jährlichen Kältemittelverluste aus stationären Kälte- und Klimaanlage orientieren sich auch am Herstellungsdatum der Anlage (siehe 3.1).

Bei der Auswahl der zu begehenden Anlagen zur Besichtigung und Datenerhebung wurde darauf geachtet, dass jede Anlage einem der drei relevanten Zeitabschnitte zugeordnet werden konnte und dass die Anlagen in etwa gleichmäßig auf diese Zeitabschnitte verteilt waren.

6.3 Begehung der Anlagen

Die Begehungen erfolgten auf verschiedenen Weisen. Generell fand zuerst eine Terminabsprache mit den Betreibern oder der zuständigen Behörde statt. Die Begehungen wurden dann von Kältetechnikern vorgenommen und teilweise von den Projektpartnern begleitet.

6.3.1 Kontaktaufnahme und Terminabsprache

Um möglichst viele Betreiber zu erreichen, kontaktierten die Projektpartner mögliche Betreiber nicht nur direkt, sondern arbeiteten auch mit zuständigen Behörden in verschiedenen Bundesländern zusammen.

6.3.2 Ablauf der Begehungen

Die Begehungen wurden durch zertifizierte Kältetechniker durchgeführt, um die fachliche Richtigkeit der erfassten Daten sicherzustellen. In einigen Fällen wurden die Begehungen von Vertretern der Projektpartner begleitet. Generell gliederten sich die Begehungen in zwei Vorgänge:

Vor-Ort Besichtigung der Anlage(n),
Einsicht in die Aufzeichnungen zu der/den Anlage(n).

Wenn die Aufzeichnungen nicht (vollständig) vor Ort verfügbar waren, erfolgte der zweite Schritt erst nach Rücksprache mit dem zuständigen Service-Unternehmen.

Einige der Begehungen wurden zudem auch von Haustechnikern bzw. Servicetechnikern begleitet. In diesen Fällen war es grundsätzlich möglich, zusätzliche Informationen in den Fragebögen zu vermerken.

6.3.3 Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden

Einige der Begehungen waren nur durch die enge Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden möglich (siehe auch Tabelle 8). Teilweise fand eine Terminabsprache mit den Anlagenbetreibern dann direkt über die Behörde statt. Begehungen, die auf diesem Wege zustande kamen, wurden immer auch von der zuständigen Behörde begleitet.

7 Datenauswertung und Nachrecherchen

In diesem Teil der Studie werden die zuvor aus den Anlagenbegehungen gewonnenen Daten ausgewertet und zwei weiteren Datensätzen gegenübergestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Datenerfassung während der Anlagenbesichtigung wurde im Kapitel 6.3 gegeben.

Zwei weitere Datensätze wurden durch den Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V. (VDKF) sowie eine Discounterkette zur Verfügung gestellt. Auch diese beiden Datensätze umfassten lediglich Anlagen, die F-Gase als Kältemittel verwenden und eine Füllmenge von über 3 kg aufweisen. Der VDKF-Datensatz beruhte auf Daten, die über die Wartungssoftware VDKF-Lec gewonnen worden waren. Die Daten wurden in einer aggregierten Form und teilweise schon vom VDKF ausgewertet im Rahmen eines zusätzlich vom Umweltbundesamt finanzierten Teilvorhabens bereitgestellt. Dieser Datensatz enthielt Aufzeichnungen von fast 35.000 Kälte-Klimaanlagen ("Kälteanlagen") mit Füllmengen über 3 kg.

Der zweite Datensatz stammte aus dem von CONEER GmbH entwickelten MobiLec-System, das – ähnlich dem VDKF-Lec – von Wartungsunternehmen zur digitalen Datenverwaltung eingesetzt wird. Die Discounterkette stellte ihre Daten für 266 Kältekreisläufe in 93 Filialen zur Verfügung. Diese Daten lagen in einem ähnlichen Format vor wie die der hier durchgeführten empirischen Studie.

In diesem Kapitel werden zunächst die hier angewandten Berechnungen, Annahmen und die generelle Vorgehensweise beschrieben. Auch eine Definition der zentralen Begrifflichkeiten wird vorgenommen. Danach werden die Ergebnisse aus jedem Datensatz separat präsentiert und beschrieben. Es folgt eine genauere Beschreibung der Charakteristika der drei Datensätze, um deren Zuverlässigkeit und Aussagekraft zu beurteilen sowie die Interpretation der Resultate vorzubereiten.

Erst dann wird eine übergreifende Interpretation aller gewonnenen Resultate anhand eines Vergleichs vorgenommen. Diesem abschließenden Teil des Berichts liegen grundsätzlich die folgenden Fragestellungen zu Grunde:

Inwieweit entstehen Emissionen neben den spezifischen Kältemittelverlusten im Normalbetrieb?

Was war die Ursache für diese Kältemittelverluste beziehungsweise Emissionen?

Welche Kältemittelmengen wurden nachgefüllt?

Welchen Anteil an den Kältemittelverlusten haben Havarien?

An welchen Teilen der Anlage treten Kältemittelverluste auf?

Welche Reparaturen oder konstruktiven Veränderungen wurden an den Anlagen durchgeführt?

Wer führt die Aufzeichnungen der Wartung und Instandhaltung?

Inwieweit ist die Dokumentation vollständig?

Inwieweit werden die Vorschriften des ChemKlimaschutzV-Regelwerks eingehalten?

7.1 Methodik der Datenauswertung

7.1.1 Begriffe

7.1.1.1 Anlagen und Kältemittelkreisläufe

Im Folgenden ist generell von Anlagen und nicht von Kältemittelkreisläufen die Rede. Diese Wortwahl wurde bewusst getroffen und dient dem Verständnis sowie der Vergleichbarkeit mit anderen Studien. Genau genommen wurden bei der Anlagenbegehung aber Kältemittelkreisläufe erfasst. Die Anzahl solcher Kreisläufe ist etwas höher als die der einzelnen Anlagen, da etwa 20 Anlagen zwei oder mehr Kältemittelkreisläufe umfassen. Wie erwähnt, werden die Kältemittelkreisläufe in dieser Studie als "Anlagen" bezeichnet.

Es wird angenommen, dass diese Vereinfachung keinen nennenswerten Einfluss auf die hier gewonnenen Ergebnisse hat, da Nachfüllmengen für jeden Kreislauf getrennt aufgezeichnet werden (müssen). Dies ist u.a. auch die Auffassung des Ausschusses für Fachfragen und Vollzug der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC-FV).³⁴ Demnach wird eine solche Anwendung darüber definiert, dass es sich um ein „Set von Komponenten und Rohrleitungen (handelt), welches eine Struktur derart bildet, dass fluorierte Treibhausgase „hindurchfließen“ können.“ Mehrstufige Kälteanlagen, bei denen das Kältemittel in den einzelnen Stufen mit dem in anderen Stufen in Verbindung steht müssen daher als eine Kälteanlage betrachtet werden.³⁵

7.1.1.2 Emissionen, Nachfüllmengen und Kältemittelverluste

Es ist zu bemerken, dass in dieser Studie sowohl von Nachfüllmengen als auch von Emissionen die Rede ist und diese nicht unmittelbar gleich groß sind. Des Weiteren sollte erwähnt werden, dass, wenn hier von Emissionen die Rede ist, ausschließlich direkte Betriebsemissionen gemeint sind. Diese beziehen sich auf die Kältemittelverluste während des Betriebs. Andere direkte Emissionen entstehen zum Beispiel bei der Befüllung der Kreisläufe sowie bei der Rückgewinnung des Kältemittels am Lebensende der Anlage. Es werden außerdem auch indirekte Emissionen zum Beispiel durch den Stromverbrauch der Anlagen oder bei der Herstellung der Kältemittel verursacht, die ebenso wenig in dieser Studie betrachtet werden.

Zur Erläuterung des Unterschieds zwischen Nachfüllmengen und direkten Betriebsemissionen dient das Beispiel in Abbildung 9: Eine fiktive Anlage mit einer Füllmenge von 300 kg verliert jedes Jahr Kältemittel durch diverse undichte Stellen. Jährliche Emissionen dieser Größenordnung sind uns aber in den meisten Fällen unbekannt. Dieser Verlust hat in einem größeren Zeitraum nur einen geringen Einfluss auf die Betriebsfähigkeit der Anlage, und es wird nur alle 5 Jahre Kältemittel nachgefüllt. In diesem Fall geschieht dies in den Jahren 2006 und 2011. Im Beispiel können wir mit

³⁴ Bei den Definitionen des BLAC-FV handelt es sich nicht um absolut verbindliche Vorgaben, sondern Rechtsauslegungen der beteiligten Vollzugseinheiten.

³⁵ <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/haeufig-gestellte-fragen-zu-F-Gase-Verordnung/fragen-zu-dichtheitsanforderungen>.

relativer Sicherheit sagen, dass die Emissionen zwischen beiden Nachfüllungen annähernd der Nachfüllmenge im Jahr 2011 – also 13 kg – entsprechen, weil 2011 die addierten Jahresemissionen der vorhergehenden 5 Jahre ausgeglichen werden. Für den Rest der Zeit kennen wir keinen Näherungswert für Emissionen.

In der vorliegenden Studie waren in den meisten Fällen keine zwei Nachfüllungen für eine Anlage im Untersuchungszeitraum verzeichnet. Das bedeutet, dass wir keine direkten Rückschlüsse auf die tatsächlichen Emissionen der Anlagen für einen bestimmten Zeitraum ziehen konnten. Fakt ist jedoch, dass das nachgefüllte Kältemittel vor der Nachfüllung aus der Anlage emittiert ist. Hinzu kommt, dass geringe Kältemittelverluste, die zu keiner Beeinflussung der Funktionsfähigkeit der Anlage geführt haben oder an schwer zugänglichen Stellen stattfanden, sowie solche, die zum Ende der Lebensdauer auftreten, nicht nachgefüllt werden.

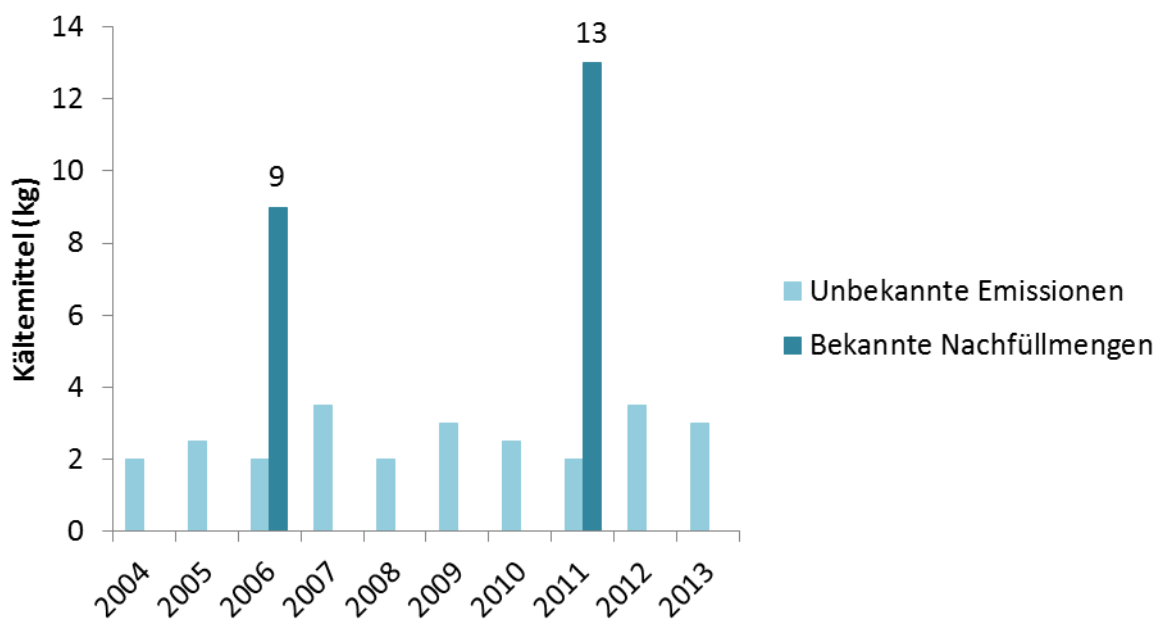


Abbildung 9: Emissionen versus Nachfüllmengen einer fiktiven Beispielanlage mit 300 kg Füllmenge in den Jahren 2004 bis 2013. Die Nachfüllmengen in den Jahren 2006 und 2011 gleichen nicht nur Emissionen desselben Jahres aus, sondern auch diejenigen der vorausgehenden Jahre seit der letzten Nachfüllung. Die Emissionen der Jahre 2012 und 2013 wurden bisher nicht ausgeglichen.

Auch die Begriffe „Kältemittelverlustrate“ und „Nachfüllrate“ können aufgrund dessen nicht zwangsläufig gleichgesetzt werden. Kältemittelverlustraten sind – wie schon die tatsächlichen direkten Betriebsemissionen – in den meisten Fällen unbekannt. Deshalb beziehen wir uns grundsätzlich auf jährliche Nachfüllraten pro Anlage. Diese sind relativ zu der Laufzeit der Anlage während des Erfassungszeitraums angegeben.

In der Praxis und in dieser Studie werden Nachfüllmengen, Emissionen und Kältemittelverluste gleichgesetzt, da angenommen wird, dass sich diese Ungenauigkeiten in größeren Datensätzen annähernd ausgleichen.³⁶

³⁶Zum Beispiel: Schwarz, W., Leisewitz, A., Gschrey, B., Herold, A., Gores, S., Papst, I., Usinger, J., Colbourne, D., Kauffeld, M., Pedersen, P.-H., Croiset, I. 2011: *Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Annexes to the Final Report*, prepared for the European Commission in the context of Service Contract No 070307/2009/548866/SER/C4, Frankfurt am Main,

7.1.1.3 Jährliche Nachfüllrate pro Anlage *versus* Jährliche Gesamtnachfüllrate

Ein zentrales Thema dieser Studie war die Dichtheit der verschiedenen Anlagentypen und inwieweit Faktoren wie das Alter der Anlage oder das verwendete Kältemittel eine Rolle dabei spielen. Um solche Aussagen treffen zu können, wurden jährliche Nachfüllraten pro Anlage berechnet, indem die spezifische Nachfüllmenge durch die nominale Füllmenge und die Laufzeit im Erfassungszeitraum dividiert wurde (Formel 1). Bei einem beispielhaften Vergleich von Anlagen aus der Industriekälte, die seit 2008 in Betrieb waren, und solchen, die davor in Betrieb genommen worden waren, war es möglich, den Mittelwert der spezifischen jährlichen Nachfüllraten pro Anlage dieser zwei Gruppen von Anlagen zu berechnen. Ein ganz ähnlicher Ansatz wurde schon von Birndt (1999)³⁷ gewählt, um spezifische Kältemittelverlusten in der Gewerbekälte zu berechnen. Dieser Ansatz wurde für die Auswertung der Daten aus der Anlagenbegehung angewendet. Auch die Discounter-Daten erlaubten eine anlagenspezifische Auswertung dieser Art.

Formel 1 Jährliche Nachfüllrate pro Anlage

$$NR_{Anlage} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{NM_i}{FM_i} * \frac{1}{t_{Erfassung}} \right)}{n}$$

NR_{Anlage} =Jährliche Nachfüllrate pro Anlage

NM=Nachfüllmenge von Anlage i

FM_i =Nominale Füllmenge von Anlage i

$t_{Erfassung}$ =Erfassungszeitraum.

Das Format, in dem die VDKF-Lec-Daten zur Verfügung standen, ließ eine solche Auswertung allerdings nicht zu. Hier war es lediglich möglich, eine jährliche Gesamtnachfüllrate auszudrücken, also die *Nachfüllmengen als Anteil der Gesamtfüllmenge pro Jahr* (Formel 2) einer Anlagengruppe. Zu diesem Zweck wurde zum Beispiel die Summe der Nachfüllmengen von Industrieanlagen durch die Gesamtfüllmenge dieser Anlagen sowie die Anzahl der erfassten Jahre dividiert.

Ein solches Vorgehen kann aber die Nachfüllraten etwa von kleineren Anlagen wie folgt verzerren: Nehmen wir an, dass ein fiktiver Datensatz acht kleine mit jeweils 10 kg und zwei große Anlagen mit jeweils 100 kg Füllmenge enthält. Eine der großen Anlagen hat ein Leck, durch das pro Jahr 20% des Kältemittels, also 20 kg entweichen. Alle anderen Anlagen (einschließlich der zweiten 100-kg-Anlage) verlieren nur 3% ihres Kältemittels. Wird die jährliche Gesamtnachfüllrate berechnet, so ergibt sich für jede Anlage ein gemittelter Wert von $(8 \times 0,3 \text{ kg} + 3 \text{ kg} + 20 \text{ kg}) / (8 \times 10 \text{ kg} + 2 \times 100 \text{ kg}) = 9,07\%$. In Wirklichkeit jedoch weisen die kleineren Anlagen eine eindeutig höhere Dichtheit und damit geringere Leckage auf. Der Umkehrschluss trifft für Situationen zu, in denen bedeutende Undichtigkeiten an den kleinen Anlagen bei dichteren großen Anlagen für eine niedrigere Rate sorgen.

³⁷ Birndt, R. 1999: *Dichtheit von Kälteanlagen* hergestellt im Rahmen des AIF-Vorhaben-Nr.: 11340 B für das Institut für Luft- und Kältetechnik GmbH, Dresden, September 1999.

Formel 2 Jährliche Gesamtnachfüllrate

$$GR = \frac{\sum_{i=1}^n NM_i}{\sum_{i=1}^n FM_i} * \frac{1}{t_{Erfassung}}$$

GR=Jährliche Gesamtnachfüllrate

NM_i=Nachfüllmenge von Anlage i

FM_i=Nominale Füllmenge von Anlage i

t_{Erfassung}=Erfassungszeitraum.

Es ist allerdings davon auszugehen, dass dieser Ansatz bei großen Datenmengen trotzdem verwendet werden kann, da sich die Anzahl sehr kleiner und sehr großer Anlagen annähernd ausgleicht. Er wird daher zum Beispiel in der Berichterstattung eingesetzt, da nicht ausreichend Daten für einzelne Anlagen vorhanden sind. Auf diese Weise werden in der Inventarisierung durchschnittliche Nachfüllraten für Anlagentypen oder ganze Sektoren berechnet.

Um einen methodisch einwandfreien Vergleich der drei Datensätze zu ermöglichen, wurde auch für die beiden anderen Datensätze als Durchschnitt die jährliche Gesamtnachfüllrate berechnet.

7.1.1.4 Abgrenzung von Normalbetrieb und Havarie

Die zuständigen Behörden der Bundesländer verstehen „unter "Normalbetrieb" i.S.d. § 3 Abs. 1 ChemKlimaschutzV solche Betriebszustände (...), die nicht als "Havarie" zu qualifizieren sind. Unter "Havarie" sind in diesem Zusammenhang außergewöhnliche Ereignisse zu verstehen, die zu Emissionen führen, die die Funktionstüchtigkeit der Anlage für den vorgesehenen Anwendungsbereich beeinträchtigen oder ausschließen.“³⁸

Eine offizielle Definition, die festlegt, ab welcher Kältemittelverlustrate von einer Havarie auszugehen ist, gibt es bis dato nicht. Da solch eine Unterscheidung zwischen Havarie und Normalbetrieb allerdings auch Auswirkungen auf die Einhaltung der maximalen spezifischen Kältemittelverlusten in der ChemKlimaschutzV hat, ist eine genaue Definition wichtig.

Auch das „Lexikon Kältetechnik“³⁹ erwähnt keinen Unterschied zwischen Havarie und Normalbetrieb mit Bezug auf den spezifischen Kältemittelverlust, der laut ChemKlimaschutzV zulässig ist. In der Vergangenheit setzte z.B. der VDKF fest, dass ab einem Kältemittelverlust von 25% von einer Havarie auszugehen sei.⁴⁰ Dies wurde damit begründet, dass die Funktionstüchtigkeit der Anlage bei einem Verlust in dieser Höhe eingeschränkt sei. Eine Studie aus den späten 1990er Jahren⁴¹ ging bei Zentralanlagen mit Kältemittelverlusten von 50% oder mehr von einer Havarie aus. Eine Begründung für

³⁸ Beschluss aus dem Jahr 2011

³⁹ Schmidt, D. 2010 *Lexikon Kältetechnik* (2. Auflage); Berlin: VDE Verlag.

⁴⁰ Gespräch mit Wolfgang Zaremski im Umweltbundesamt in Dessau am 11.10.2013.

⁴¹ Birndt, R. 1999, a.a.O., S. 51

diese Wahl liegt nicht vor. Im MobiLec-Handbuch für Kälteanlagenbauer hingegen ist von einem Verlust von 90% oder mehr die Rede, wenn es darum geht, Havarien zu definieren.

Hier wird eine Havarie definiert als:

„Plötzliches Entweichen von mindestens 90% des Kältemittelanteils bzw. der Gesamtfüllmenge aus einem Kältemittelkreislauf bzw. einem Abschnitt des Kältemittelkreislaufs, meist verursacht durch Reißen oder Bersten einer Anlagenkomponente bzw. durch Beschädigung einer Komponente durch Dritte.“

Besonders wichtig ist hierbei, dass auch bei einem hohen Kältemittelverlust aus einem Teil der Anlage eine Havarie vorliegt.

Im Rahmen dieser Studie wurde die Definition aus dem MobiLec-System übernommen. Um zwischen Havarie und Normalbetrieb in den Daten aus den Anlagenbegehungen unterscheiden zu können, war es jedoch nötig, eine Kältemittelverlustgrenze für die ganze Anlage – und nicht nur für Anlagenabschnitte – zu bestimmen, da nur Nachfüllmengen für die ganze Anlage dokumentiert wurden und generell nicht zwischen Havarie und Normalbetrieb unterschieden wurde.

Um einen empirischen Richtwert zu gewinnen und Anlagentyp-spezifische Havarieuntergrenzen festzulegen, wurden die elektronischen Aufzeichnungen aller Discounter-Daten nach Havarien ausgewertet. Für jeden der 322 Havariefälle seit Beginn der elektronischen Aufzeichnungen in 2008 wurde die Nachfüllrate direkt nach der Havarie bestimmt. Diese Raten wurden dann nach Anlagentyp aggregiert und gemittelt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Havarien und damit verbundene Kältemittelverluste im gesamten Discounter-Datensatz (alle Filialen; im Gesamt sind auch die Havarien von 19 steckerfertigen Aggregaten enthalten).

	Mittlere Nachfüllrate nach Havarie:	Anzahl der Havarien
Verflüssigungssatz	93,3%	96
Klimaanlage	96,3%	34
Zentralanlage	53,3%	173
Gesamt über alle Anlagen	72,1%	322

Die Ergebnisse zeigen, dass kleinere Anlagentypen wie Verflüssigungssätze, steckerfertige Geräte und Klimaanlagen bei Havarien in der Tat einen sehr hohen Kältemittelverlust im Verhältnis zur nominalen Füllmenge aufweisen. Bei Zentralanlagen hingegen kommt es bei Havarien im Durchschnitt nur zu einer Verlustrate von knapp über 50%, obwohl in einem Abschnitt der Anlage ein Verlust von mindestens 90% vom Techniker angenommen wurde.

Eine nähere Betrachtung der verschiedenen Anlagentypen hilft, diese Unterschiede zu erklären. Bei Zentralanlagen kann Kältemittel bei Anlagenstillstand in der Regel nicht von der Hoch- in die Tiefdruckseite der Anlage entweichen und umgekehrt. Hubkolbenverdichter sind im Stillstand dicht und gleiches gilt für elektronische Expansionsventile. Es ist deshalb davon auszugehen, dass – im Falle einer Havarie – Kältemittel nur entweder aus der Hoch- oder der Tiefdruckseite vollständig austreten

kann, was bedeutend, dass die Kältemittelverlustrate dieser Anlagen im Havariefall deutlich unter 90% liegen dürfte.⁴²

Bei Klimaanlage und Verflüssigungssätzen ist es allerdings möglich, dass bei hohen Drücken Kältemittel über das (üblicherweise verbaute) thermostatische Expansionsventil von der Hoch- in die Tiefdruckseite der Anlagen entweichen kann. Außerdem sind die in solchen Anlagen häufig verwendeten Scrollverdichter im Stillstand auch nicht dicht. Hier ist daher von einer hohen Kältemittelverlustrate im Fall einer Havarie auszugehen.⁴²

Aus den Erkenntnissen dieser empirischen Betrachtung lassen sich auch Schlüsse auf die anderen relevanten Anlagentypen ziehen. Bei Chillern z.B ist in der Regel auch die Art des Verdichters ausschlaggebend für die Höhe des Kältemittelverlusts im Havariefall. Da Turbo-, Schrauben- und Scrollverdichter im Stillstand nicht dicht sind, verlieren solche Anlagen im Havariefall wahrscheinlich einen Großteil der nominalen Füllmenge (90% oder mehr). Chiller mit Kolbenverdichtern hingegen dürften in diesem Fall ähnliche Verlustraten wie Zentralanlagen aufweisen. Im vorliegenden Datensatz aus den Anlagenbegehungen ist davon auszugehen, dass alle Chiller mit Turbo-, Schrauben- oder Scrollverdichtern betrieben werden. Diese Annahme begründet sich über die Größe der erfassten Chiller bzw. über deren Alter. Bis auf eine Anlage (Baujahr 1998) sind alle erfassten Chiller aus dem Baujahr 2004 oder neueren Datums. In diesem Zeitraum wurden hauptsächlich die leiseren Scrollverdichter verbaut, die im Stillstand durchlässig für Kältemittel sind.

Bei Verflüssigungssätzen und Klimaanlage wird daher eine Havarieuntergrenze von 90% Kältemittelverlust⁴³ festgelegt. Daraus wird für Chiller im Folgenden auch eine Havarieuntergrenze von 90% abgeleitet. Bei Zentralanlagen wird dieser Wert – wie schon bei Birndt 1999³⁷ – bei 50% Kältemittelverlust angesetzt.

Für Industrieanlagen lässt sich aufgrund der vielen verschiedenen Anlagentypen keine einfache Aussage über mögliche Kältemittelverlustraten bei Havarien anstellen. Auch hier gilt, dass Industrieanlagen mit Kolbenverdichtern im Havariefall wahrscheinlich einen geringeren Verlust relativ zur nominalen Füllmenge aufweisen. Da im Datensatz aus den Anlagenbegehungen unter Industrieanlagen sowohl Zentralanlagen, Chiller, Verflüssigungssätze sowie Klimaanlage gemeinsam erfasst wurden, wird im Folgenden von einer gemittelten Havarie-Untergrenze von 70% Kältemittelverlust ausgegangen.

Alle Havarieuntergrenzen sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Für die Untersuchung festgelegte Havarie-Untergrenzen für die einzelnen Anlagentypen.

	Festgelegte Havarie-Untergrenze
Verflüssigungssatz	90%
Klimaanlage	90%
Zentralanlage	50%
Chiller	90%
Industrieanlage	70%

⁴² Kommunikation mit Prof. Michael Kauffeld am 13.03.2014 Frankfurt/Karlsruhe.

⁴³ Wie oben erläutert, werden im Zuge dieser Studie Kältemittelverlustraten und Nachfüllraten gleichgesetzt.

7.1.1.5 Nominale Füllmenge

Die nominale Füllmenge der untersuchten Anlagen hat einen erheblichen Einfluss auf einige der Ergebnisse dieser Studie. Besonders die Nachfüllraten hängen stark mit den nominalen Füllmengen der jeweiligen Anlagen zusammen.

Während der Anlagenbegehungen wurden vor allem die Füllmengen erfasst, die auf dem Typenschild der jeweiligen Anlage vorzufinden waren. In einigen wenigen Fällen war jedoch keine Füllmenge an der Anlage verzeichnet. Wenn möglich wurde diese dann beim Serviceunternehmen oder Haustechniker erfragt. Andernfalls wurde die Anlage nicht in die endgültige Auswertung aufgenommen.

Es gab auch Fälle in denen eine Füllmenge auf der Anlage gekennzeichnet war, der zuständige Servicetechniker jedoch eine andere Füllmenge nannte. Dies wurde zum Beispiel durch Umbaumaßnahmen an der Anlage begründet. Diverse Techniker gaben jedoch auch an, dass die tatsächliche Füllmenge in vielen Fällen von den Angaben auf dem Typenschild abweicht. Ein Techniker sprach bei den Angaben auf dem Typenschild ausdrücklich von einer „maximalen Füllmenge“⁴⁴. Ein anderer Experte jedoch meinte, die Füllmenge wäre meistens höher als diese Angaben, weil nach der Inbetriebnahme der Anlage – bei der auch das Typenschild ausgefüllt wird – oft eine sogenannte „Nachfüllung“ stattfände, die dazu diene, die tatsächliche Grundfüllmenge zu erreichen.⁴⁵ So wird auch im MobiLec-Handbuch für Kälteanlagenbauer davon ausgegangen, dass Kältemittel-Nachfüllmengen innerhalb des ersten Monats nach Inbetriebnahme noch der „Grundfüllmenge“ (also der nominalen Füllmenge) der Anlage zuzurechnen seien.⁴⁶

In der EU-Verordnung (EG) Nr. 1494/2007, die die Kennzeichnung von Anlagen gemäß F-Gase-Verordnung konkretisiert, heißt es hierzu:

„werden fluorierte Treibhausgase außerhalb der Produktionsstätte hinzugegeben, ohne dass die daraus resultierende Gesamtmenge vom Hersteller festgelegt wird, muss das Kennzeichen die in der Produktionsstätte eingefüllte Menge angeben und genügend Platz für die Angabe der Menge, die außerhalb der Produktionsstätte hinzugefügt wird, sowie für die resultierende Gesamtmenge der fluorierten Treibhausgase lassen.“

Mit anderen Worten: Die nominale Füllmenge, die auf dem Typenschild gekennzeichnet ist, sollte immer der tatsächlichen Füllmenge der Anlage entsprechen. Nachfüllungen, die dazu dienen, eine Grundfüllmenge zu erreichen, müssen auch auf das Typenschild übertragen werden.

⁴⁴ Persönliches Gespräch mit Thomas Möschter, Kälte und Klimatechnik, 3.2.2014 Halberstadt.

⁴⁵ Persönliches Gespräch mit Thomas Bader, CONEER GmbH, 11.2.2014 Berlin.

⁴⁶ Im MobiLec Handbuch für Kälteanlagenbauer heißt es hierzu: „Nachfüllmenge ist die Kältemittelfüllmenge, die zur Erreichung der Grundfüllmenge innerhalb von 3 Monaten nach Erstinbetriebnahme / Wiederinbetriebnahme (z.B. nach einer Havarie) evtl. noch einzufüllen ist. Bedingt durch nachträgliche Abstimmung der Betriebsfüllung (Gesamtfüllung) aufgrund von verschiedenen Betriebszuständen bzw. Lastgrade (bei Supermarktanlagen meistens saisonal bedingt Sommer-Winterbetrieb, WRG- / nicht-WRG Betrieb usw.). Die Gesamtfüllmenge errechnet sich somit aus der Grundfüllmenge zum Zeitpunkt der Erstinbetriebnahme / Wiederinbetriebnahme und den Nachfüllmengen innerhalb von maximal 3 Monaten nach Erstinbetriebnahme / Wiederinbetriebnahme.“

Da es im Rahmen dieser Studie nicht möglich war, die tatsächliche Füllmenge jeder erfassten Anlage zweifelsfrei zu eruieren, wurde davon ausgegangen, dass die Angaben auf dem Typenschild die tatsächliche Füllmenge bezeichnen. In den Fällen, in denen genauere Angaben, zum Beispiel durch das Serviceunternehmen vorhanden waren, wurden diese jedoch übernommen.

7.1.1.6 Betreiber

Laut F-Gase-Verordnung ist der Betreiber die verantwortliche Instanz, wenn es um die Dichtheitskontrolle, Instandsetzung sowie Dokumentationspflicht einer Kälteanlage geht. Damit richtet sich der Blick der Kontrollbehörde auch zum Betreiber, wenn die so genannten Betreiberpflichten verletzt werden.

Eine genaue Definition dieser Begrifflichkeit kann einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der F-Gase-Verordnung und der Verbesserung der Dichtheit von Kälteanlagen leisten. Denn in der Praxis ist oft unklar, wer der rechtmäßige Betreiber einer Kälteanlage ist. Dies ist besonders dann der Fall, wenn es außer einem Inhaber oder einer Unternehmensführung auch Geschäftsführer oder Filialleiter gibt, die tatsächlich vor Ort agieren.

Entsprechend der F-Gase-Verordnung ist der Betreiber die natürliche oder juristische Person, die die „tatsächliche Kontrolle über das technische Funktionieren“ der Kälteanlage hat. Dies beinhaltet gemäß einer Interpretation der Europäischen Kommission⁴⁷ zumindest die folgenden drei Elemente, die es dem Betreiber ermöglichen, alle Pflichten der F-Gase-Verordnung einzuhalten:

Freier Zugang zur Anwendung; das beinhaltet die Möglichkeit, die einzelnen Komponenten und deren Funktionstüchtigkeit zu überwachen sowie den Zugang Dritter zu gewährleisten.

Aufsicht über den alltäglichen Betrieb der Anlage.

Entscheidungsbefugnis (inklusive finanzieller) über mögliche technische Veränderungen (z.B. Austausch von Komponenten, Installation von Leckageerkennungssystemen) und mögliche Anpassungen der F-Gas-Mengen in der Anwendung sowie über Kontrollen (z.B. Dichtheitsprüfungen) oder die Anordnung von Reparaturen.

Auch wenn diese oder andere Elemente teilweise in der Praxis auf eine andere Person übertragen wurden, sind die Pflichten des Betreibers laut F-Gase-Verordnung nicht als übertragen anzusehen.

Ein Betrieb, der einen Wartungsvertrag mit einem Serviceunternehmen eingegangen ist, ist damit trotzdem noch der Betreiber und hat damit auch die Dokumentation der Anlage sicherzustellen.

Bei komplizierteren Eigentumsverhältnissen besteht allerdings noch Klärungsbedarf. Der Filialleiter eines Supermarkts, der zu einer großen Handelskette gehört, erfüllt z.B. nicht

⁴⁷ Am 1.10.2012 veröffentlichte die Europäische Kommission einen Leitfaden zur F-Gase-Verordnung: Commission's guidance and interpretation paper on certain issues arising from Regulation (EC) 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Diese Richtlinie ist online unter folgendem Link verfügbar: <http://www.ichp.pl/attach.php?id=1291>.

zwangsläufig das dritte Element (Machtbefugnis). Oftmals werden Investitionen rund um die Immobilie (wozu auch die Kältetechnik gehören kann) nicht vom Filialleiter entschieden, sondern in der Zentrale der Handelskette. In solchen Fällen stellt sich die Frage, wer laut Vorschrift der Betreiber ist, da eine vertragliche Regelung dieses Umstands in den meisten Fällen nicht vorliegen dürfte.

7.1.1.7 Dokumentation und Aufbewahrungsort

Unabhängig davon, wer im Endeffekt der rechtmäßige Betreiber der Anlage ist, steht fest, dass die Aufzeichnungen direkt an der Anlage verfügbar sein sollten. Dies trifft auch zu, wenn diese zentral auf einem Computer oder im Intranet einer Firma gespeichert sind. In solchen Fällen verweisen z.B. Filialleiter in Supermärkten in der Praxis auf die Konzernleitung sowie deren Aufzeichnungen. Dies wird durch die DIN EN 378-4 unterstützt. Dort heißt es:

„Das Anlagenprotokoll muss entweder im Maschinenraum aufbewahrt werden oder die Angaben müssen in einem Computer der betroffenen Partei gespeichert sein, mit Ausdruck im Maschinenraum; in diesem Fall muss die Information dem Sachkundigen für die Wartung oder Prüfung zugänglich sein.“

7.1.2 Methoden in der Datenverarbeitung

7.1.2.1 Auswertung der Daten aus den Anlagenbegehungen

Die Daten aus den Anlagenbesichtigungen durch Öko-Recherche und CONEER GmbH wurden in eine zentrale Datenbank übertragen und auf Vollständigkeit geprüft. Dabei wurde kontrolliert, ob alle grundlegenden Werte, wie zum Beispiel nominale Füllmenge oder Datum der Inbetriebnahme für die einzelnen Anlagen beziehungsweise Kreisläufe erfasst wurden. Wenn dies nicht der Fall war, wurde die entsprechende Anlage nicht in die darauffolgende Auswertung mit einbezogen.

Zwei grundlegende Änderungen wurden an den verbleibenden Daten vorgenommen:

Einige Anlagen und deren Kreisläufe waren im Datensatz den Anlagentypen Chiller oder Verflüssigungssatz zugeordnet, obwohl sie aufgrund des Betreibers offensichtlich der Anwendung Industriekälte zuzuordnen waren. Solche Kreisläufe wurden im Nachhinein der Industriekälte zugeordnet.

Wenn für eine Anlage keine Nachfüllmengen verzeichnet waren, wurde in der Sparte „Dichtheitsprüfung nach Nachfüllungen“ ein „nicht erforderlich“ eingetragen.

Anschließend wurde die genaue Laufzeit der einzelnen Anlage, deren gesamte Nachfüllmenge sowie die entsprechende jährliche Nachfüllrate pro Anlage berechnet.

Zur Berechnung der Laufzeit wurde sowohl das Datum der Inbetriebnahme als auch das Datum der Erfassung mit einbezogen. Da die Begehungen und Erfassungen der Anlagen über einen Zeitraum von mehreren Monaten erfolgte, konnte kein einheitliches Erfassungsdatum für alle Anlagen eingetragen werden. Die nominale Füllmenge der Anlagen, die während des erfassten Zeitraums in Betrieb genommen wurden, wurde anteilig berücksichtigt. Für das Jahr 2013 wurde deshalb auch eine Hochrechnung angestellt, um den Zeitraum zwischen den Anlagenbesichtigungen während dieses Jahres und dem Ende des Jahres zu berücksichtigen. Dies betraf vor allem die Nachfüllmenge

und die Anzahl der nachgefüllten Anlagen. Für die Hochrechnung wurden die erfassten Werte für die Gesamtheit der Anlagen anhand der Summe der noch nicht erfassten Tage in 2013 linear extrapoliert. Alle anderen Berechnungen erfolgten auf den Monat genau.

Weitere Auswertungen bezüglich des Anlagentyps, der Anlagengröße, des Alters der Anlage, der verwendeten Kältemittel sowie der spezifischen Leckageorte wurden vorgenommen. Um einen Vergleich mit den VDKF-Lec-Daten sowie den Daten aus der deutschen F-Gas-Emissionsberichterstattung⁴⁸ zu ermöglichen, wurde auch die jährliche Gesamtnachfüllrate berechnet.

Im Zuge dieser Auswertung wurden Leckageorte den übergeordneten Kategorien Anlagenbauteil, Verbindungsstelle/Leitung und Ventil zugeordnet. Dies geschah unter Rücksprache mit Prof. Michael Kauffeld sowie den involvierten Technikern⁴⁹.

Generell wurden Resultate nur dann verwendet, wenn die zugrundeliegenden Werte auf Daten von mindestens fünf Anlagen beruhten.

7.1.2.2 Auswertung der elektronisch aufgezeichneten Discounter-Daten

Die Daten einiger zufällig ausgewählter Discounter-Filialen (93 von 1.834 Filialen⁵⁰ wurden hier erfasst), die durch ein elektronische Aufzeichnungssystem dokumentiert worden waren, standen in einem sehr ähnlichen Format zur Verfügung wie die im Rahmen der Anlagenbegehungen erhobenen Daten. Hier wurden bis auf eine entsprechende Einteilung der Leckageorte in die übergeordneten Kategorien keine weiteren Veränderungen vorgenommen. Die Berechnung der Laufzeit, Nachfüllmenge sowie Nachfüllrate erfolgte genau wie oben angegeben. Auch die Auswertung nach Anlagentyp, Anlagengröße, Anlagenalter, verwendeten Kältemitteln und nach Leckageorten erfolgte entsprechend den oben aufgeführten Schritten auf den Monat genau. Zu Vergleichszwecken wurde eine Auswertung der jährlichen Gesamtnachfüllrate für die einzelnen Jahre und insgesamt vorgenommen.

7.1.2.3 Auswertung der elektronisch aufgezeichneten Daten aus dem VDKF-Lec-System

Daten aus dem VDKF-Lec-System wurden im Rahmen eines durch den Umweltforschungsplan finanzierten Auftrags in einer aggregierten Form in PDF-Format vom VDKF zur Verfügung gestellt. Sie wurden in eine Excel-Datenbank übertragen und ausgewertet. Eine Auswertung, die sich auf die einzelnen Anlagen beziehungsweise Kreisläufe bezieht, war aufgrund der Vertraulichkeit der Daten nicht möglich. Lediglich die jährliche Gesamtnachfüllrate konnte berechnet werden. Daten standen außerdem unterteilt nach Jahren, Kältemitteln sowie drei verschiedenen Anlagen-Altersgruppen und Anlagen-Größen zur Verfügung. Eine nähere Betrachtung der Leckageorte war ebenfalls möglich, und diese wurden entsprechend der oben genannten Methodik in die übergeordneten Kategorien eingeteilt.

⁴⁸ Siehe Schwarz, W., Kimmel, T. und Gschrey, B. 2013, a.a.O., S. 58

⁴⁹ Persönliches Gespräch am 10.2.2013 in Karlsruhe.

⁵⁰ 250 der 1.834 Filialen sind mit CO₂ Kälteanlagen ausgestattet (Stand: Dezember 2013).

7.2 Beschreibung der erhobenen Daten

7.2.1 Besichtigte Anlagen

Insgesamt wurden in diesem Vorhaben 309 Anlagen in 62 Betrieben aus ganz Deutschland erfasst (siehe Abbildung 10). Da die Dokumentation beziehungsweise die verfügbaren Informationen bei einigen Kreisläufen gravierende Lücken aufwiesen (siehe 1.6.2.1), konnten nur 291 Anlagen in der Datenauswertung berücksichtigt werden.

Die Größe der erfassten Anlagen reichte von 3 bis 1.024 kg Füllmenge, wobei 61% der Anlagen im Bereich zwischen 10 und 100 kg, 26% über 100 kg und nur etwa 13% unter 10 kg Füllmenge lagen (Abbildung 11).

Die Anlagen wurden von insgesamt 49 verschiedenen Serviceunternehmen betreut.



Abbildung 10: Standorte der durch CONEER GmbH und Öko-Recherche begangenen Anlagen (Quelle: Google Earth).

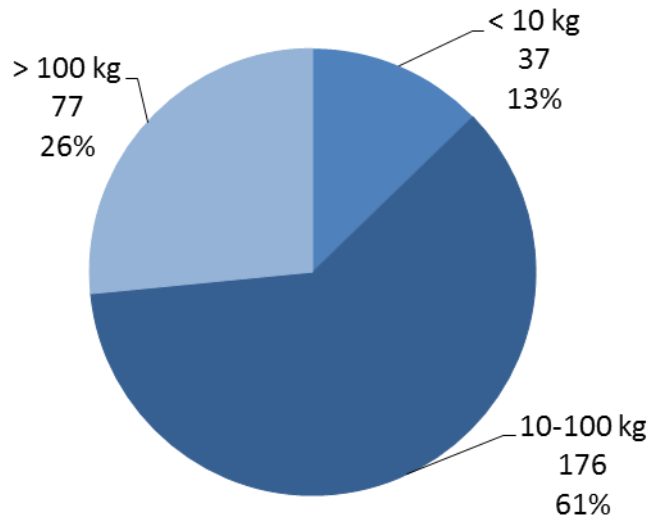


Abbildung 11: Anlagen unter 10 kg, zwischen 10 und 100 kg und über 100 kg Füllmenge im Datensatz aus den Anlagenbegehungen (Füllmenge, Anzahl der Anlagen, Anteil der Anlagen).

86 dieser 291 Anlagen (30%) wurden in der erfassten Zeit nachgefüllt - zum Teil mehrfach. Aufaddiert beträgt die gesamte Füllmenge dieser Anlagen 36.794 kg. Allerdings waren einige der erfassten Anlagen erst nach 2008 in Betrieb genommen worden (98 Anlagen; Abbildung 12), so dass diese Gesamt-Füllmenge nicht während des gesamten Erfassungszeitraums gegeben war.

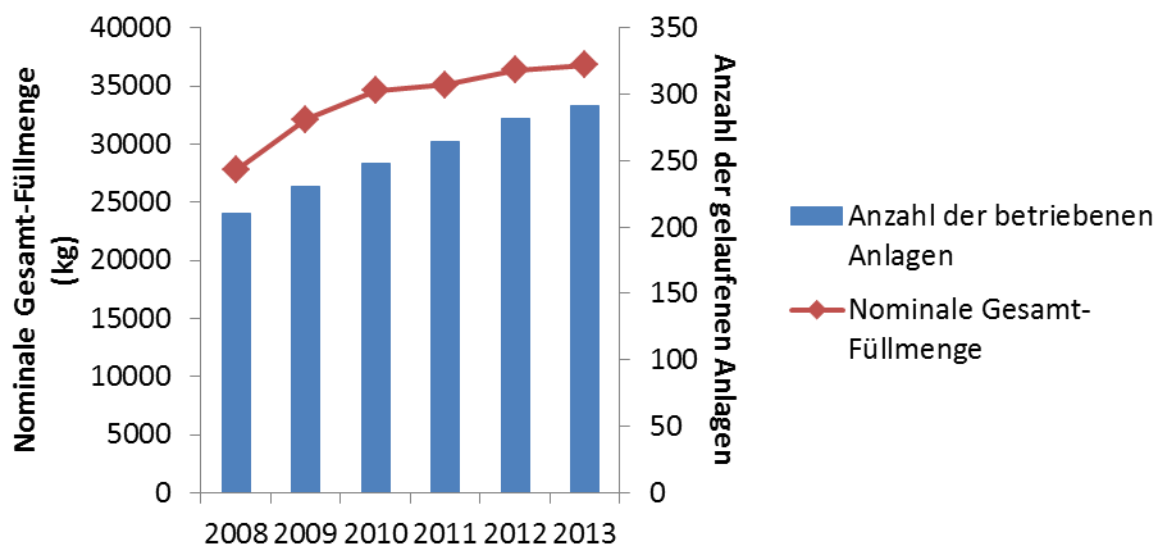


Abbildung 12: Nominale Gesamt-Füllmenge und Anzahl der betriebenen Anlagen über die Jahre 2008 bis 2012 im Datensatz aus den Anlagenbegehungen.

Tabelle 11 fasst zusammen, wie viele der Anlagen unterschiedlichen Typs in den einzelnen Jahren in Betrieb waren. Es wird deutlich, dass 2013 mit 134 Anlagen besonders viele Industriekälteanlagen erfasst wurden. Außerdem enthielt der Datensatz Angaben zu 56 Zentralanlagen. Mit 42 bzw. 40 Anlagen sind Chiller und Klimaanlage (Multisplit-/VRF) ähnlich stark vertreten, aber nur 16 Verflüssigungssätze. Der Datensatz beinhaltete vor allem (175 der 291 Anlagen) mittelgroße Anlagen zwischen 10 und 100

kg Füllmenge. Auch sehr große Anlagen über 100 kg Füllmenge sind oft erfasst worden (77). Nur 35 kleine Anlagen mit Füllmengen zwischen 3 und 10 kg wurden erhoben.

Nach Kältemitteln betrachtet, liefern die erhobenen Daten folgendes Bild: Die vier am häufigsten verwendeten Kältemittel waren R134a, R404A, R407C und R410A (siehe Abbildung 13). R422D, R507 und R417A wurden nur in einzelnen Anlagen eingesetzt, so dass eine generelle Aussage über ihre Nachfüllraten nicht sinnvoll erscheint.

Tabelle 11: Anzahl der sich in Betrieb befindlichen Anlagen pro Jahr, Anlagentyp und Größe (2013). Datengrundlage: Daten aus den Anlagenbegehungen.

Anzahl der Anlagen									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013			
						Alle Füllmengen	<10 kg	10-100 kg	>100 kg
Chiller	26	28	32	33	42	42	1	34	7
Multisplit-/VRF	18	19	20	30	37	40	13	27	0
Verflüssigungssatz	14	16	16	16	16	16	8	8	0
Zentral	38	47	51	52	52	56	1	24	31
Industrie	114	120	127	131	133	134	12	82	39
Gesamt	210	230	246	262	280	288	35	175	77

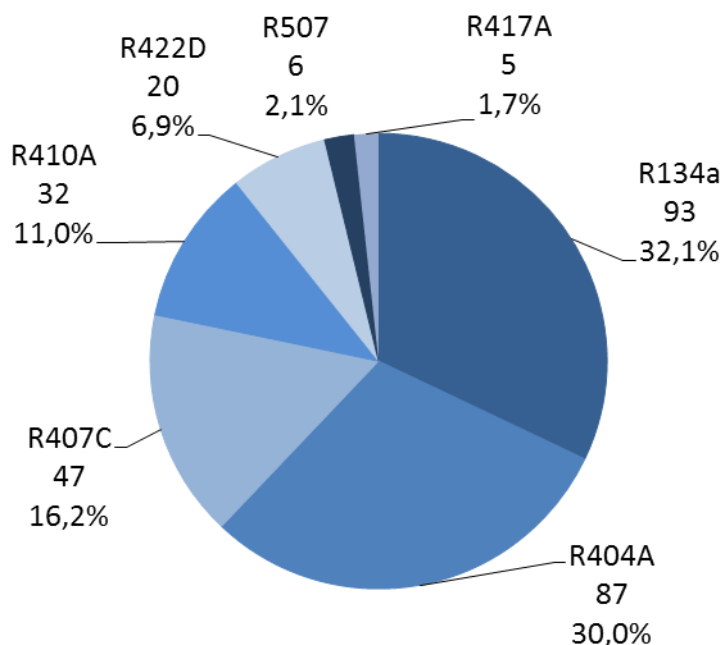


Abbildung 13: Anzahl der durch Begehungen erfassten Anlagen, die mit den Kältemitteln R134a, R404A, R407C, R410A, R422D, R507A und R417A betrieben werden (Kältemittel, Anzahl der Anlagen, Anteil der Anlagen).

Auch aus Tabelle 12 geht hervor, dass R134a in diesem Datensatz das am häufigsten verwendete Kältemittel darstellt, dicht gefolgt von R404A. Ein Drittel der erfassten Anlagen wird mit R134a betrieben, darunter 43% der Chiller und 46% der

Industriekälteanlagen. R404A-Anlagen machen 30% der erfassten Anlagen aus, darunter 64% der Zentralanlagen und die Hälfte der Verflüssigungssätze. R407C wird in diesem Datensatz hauptsächlich in Chillern, Klimaanlage und in der Industriekälte eingesetzt. R410A wird hauptsächlich in Klimaanlage aber auch in Chillern verwendet.

Tabelle 12: Anteil der begangenen Anlagen nach verwendetem Kältemittel (am häufigsten verwendetes Kältemittel für jeden Anlagentyp hervorgehoben).

	Chiller	Multisplit/VRF	Verflüssigungssatz	Zentral	Industrie	Gesamt
R134a	43%	3%	31%	13%	46%	32%
R410A	24%	55%	0%	0%	0%	11%
R407C	26%	20%	0%	0%	20%	16%
R507	0%	0%	6%	2%	3%	2%
R404A	7%	0%	50%	64%	28%	30%
R417A	0%	5%	0%	0%	2%	2%
R422D	0%	18%	13%	20%	0%	7%

7.2.1.1 Nachfüllmengen und -raten

Für den erfassten Zeitraum von knapp 6 Jahren wurden insgesamt fast 11.370 kg an Nachfüllmenge dokumentiert. Damit wurde im Erfassungszeitraum knapp 31% der nominalen Gesamtfüllmenge aller (auch der nicht nachgefüllten) Anlagen nachgefüllt. Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Laufzeiten der Anlagen in diesem Zeitraum ließ sich daraus eine jährliche Gesamtnachfüllrate von 6% ermitteln. Abbildung 14 zeigt, dass sich diese auf die komplette Füllmenge bezogene durchschnittliche Rate ungleich über die einzelnen Jahre verteilte. Uns sind keine Gründe für eine solche Verteilung bekannt und wir gehen davon aus, dass sie zufällig zustande gekommen ist.

Die durchschnittlichen absoluten Nachfüllmengen pro erfasster Anlage in den einzelnen Jahren sind in Abbildung 15 aufgezeigt und der durchschnittlichen nominalen Füllmenge einer Anlage gegenübergestellt. Zusammenfassend lässt sich bei den über die Jahre erfassten Nachfüllmengen kein deutlicher Trend feststellen. Die überdurchschnittlich hohe durchschnittliche Nachfüllmenge in 2011 ist das Resultat einiger großer Leckagen bei Zentralanlagen sowie in der Industriekälte. Die Mehrheit dieser großen Leckagen ist jedoch nicht als Havarie (für eine genaue Definition siehe 7.1.1.4) einzustufen. Die durchschnittliche Nachfüllmenge pro Anlage ist bei den besichtigten Anlagen allerdings über die Jahre angestiegen, während die durchschnittliche Füllmenge pro Anlage leicht gesunken ist.

Aus Abbildung 16 geht hervor, dass der Anteil der nachgefüllten Anlagen über die Jahre stetig von 2,8% im Jahr 2008 auf über 11% im Jahr 2013 (Hochrechnung; siehe 7.1.2.1) zugenommen hat.

Abbildung 17 gibt Aufschluss über die Nachfüllraten bei Anlagen mit den vier am häufigsten verwendeten Kältemitteln. Es wird deutlich, dass Anlagen mit R404A eine überdurchschnittlich hohe jährliche Nachfüllrate von 8,8% aufwiesen. Anlagen mit R407C (4,3%) und R134a (3,7%) hatten hingegen eine deutlich geringere Rate. R410A Anlagen

brauchten im Durchschnitt nur 2,4% ihrer nominalen Füllmenge als Nachfüllungen, obwohl dieses Kältemittel unter vergleichbar hohem Druck eingesetzt wird.

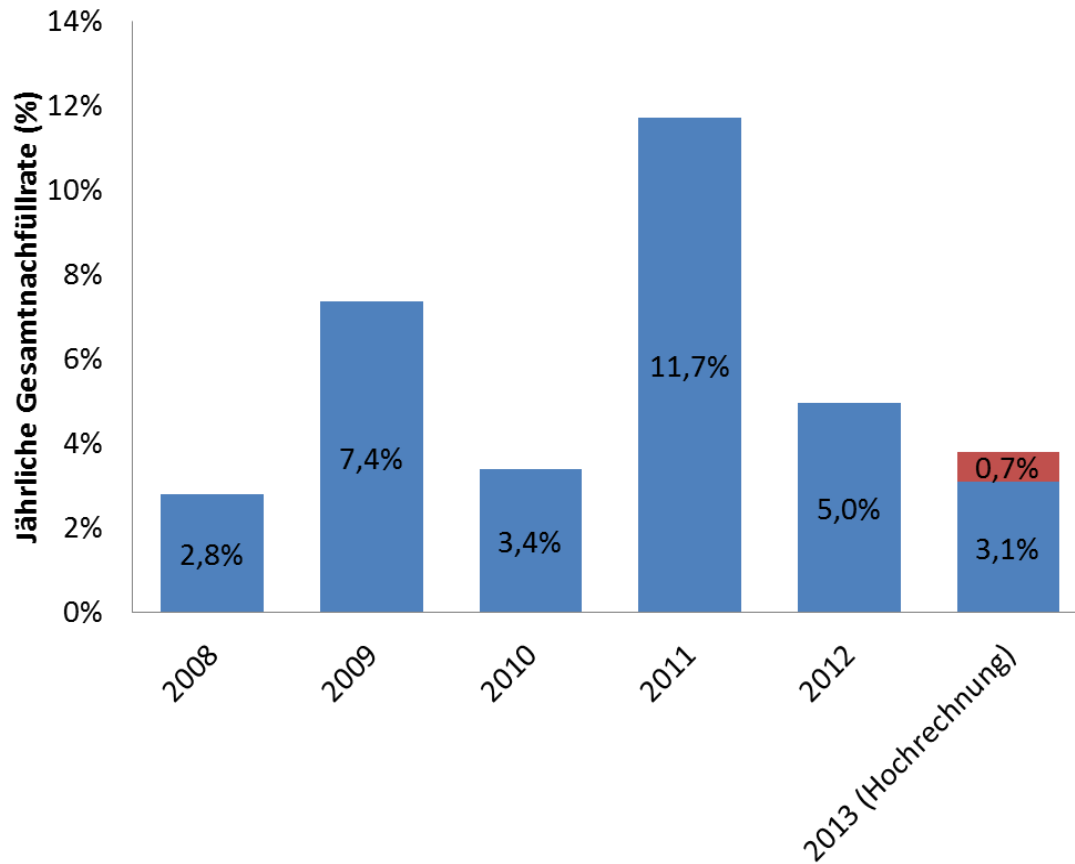


Abbildung 14: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den einzelnen Jahren über alle erfassten Anlagen, ohne Unterscheidung nach Gerätetypen o.ä. (es wurden nur die Anlagen betrachtet, die im jeweiligen Jahr betrieben wurden). Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.

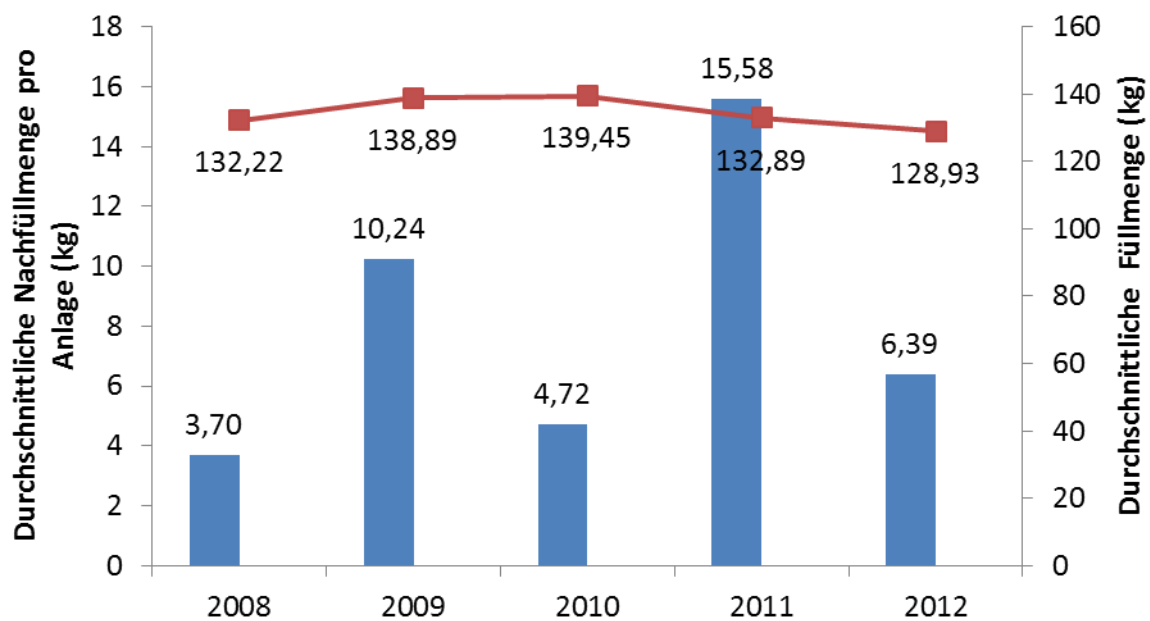


Abbildung 15: Erfasste Nachfüllmengen aus den Anlagenbegehungen pro in Betrieb befindlicher Anlage sowie durchschnittliche Füllmenge in den Jahren 2008 bis 2012.

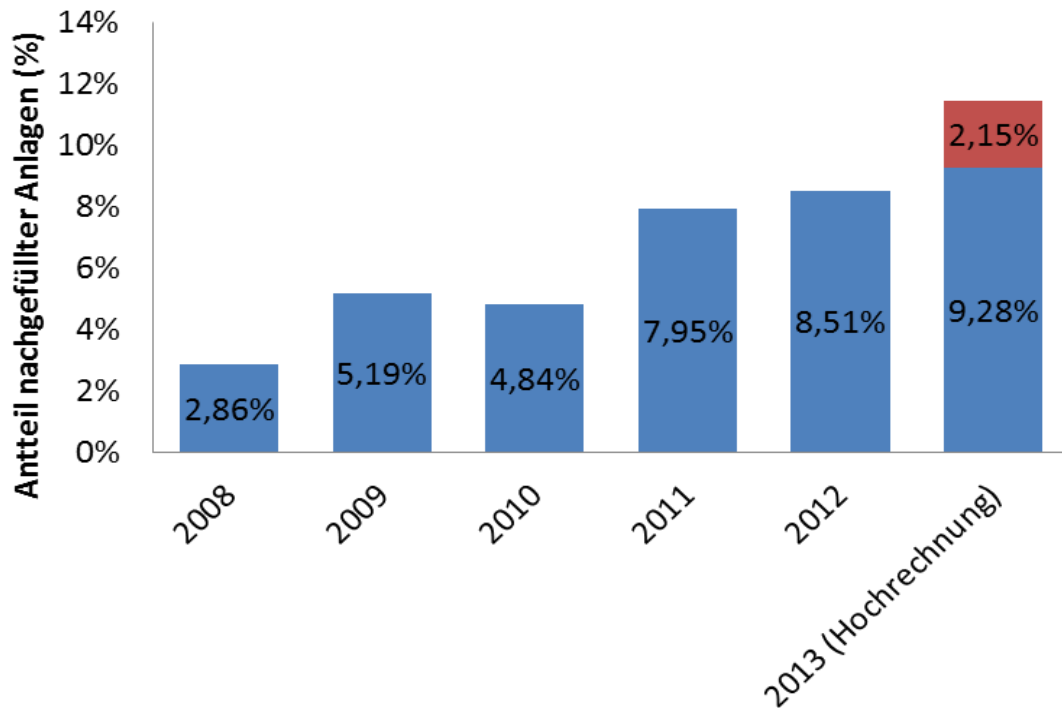


Abbildung 16: Anteil der begangenen Anlagen der pro Jahr nachgefüllt wurde. Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.

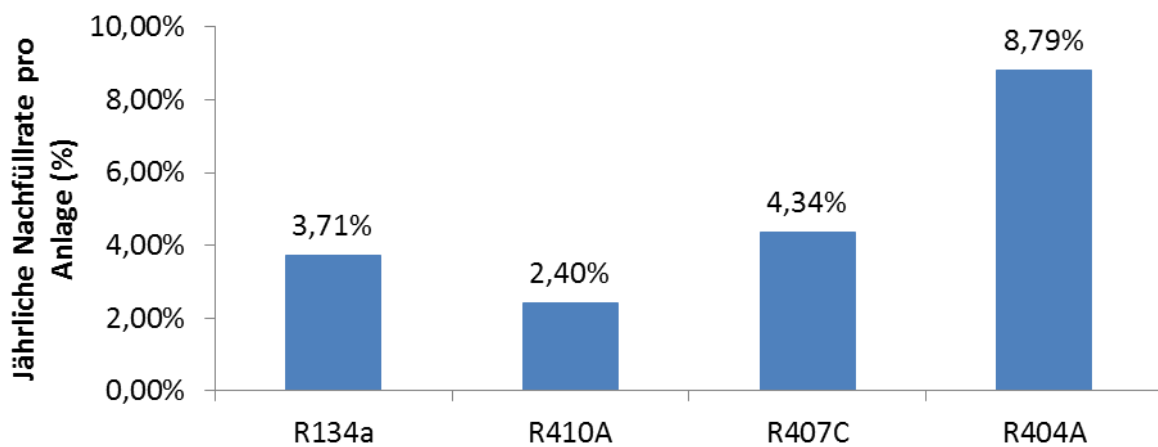


Abbildung 17: Jährliche Nachfüllraten der begangenen Anlagen bezogen auf das verwendete Kältemittel.

Abbildung 18 liefert eine Zusammenfassung der jährlichen Nachfüllraten pro Anlage für die verschiedenen Anlagentypen, die während der Studie festgestellt wurden. 5,3% der Füllmenge einer durchschnittlichen Anlage aus dieser Erhebung wurden pro Jahr nachgefüllt. Zentralanlagen wiesen mit im Durchschnitt 7,6% besonders hohe Nachfüllraten auf. Dagegen zeigten nicht-industriell genutzte Chiller mit 3,4% eine deutlich geringere jährliche Nachfüllrate pro Anlage.

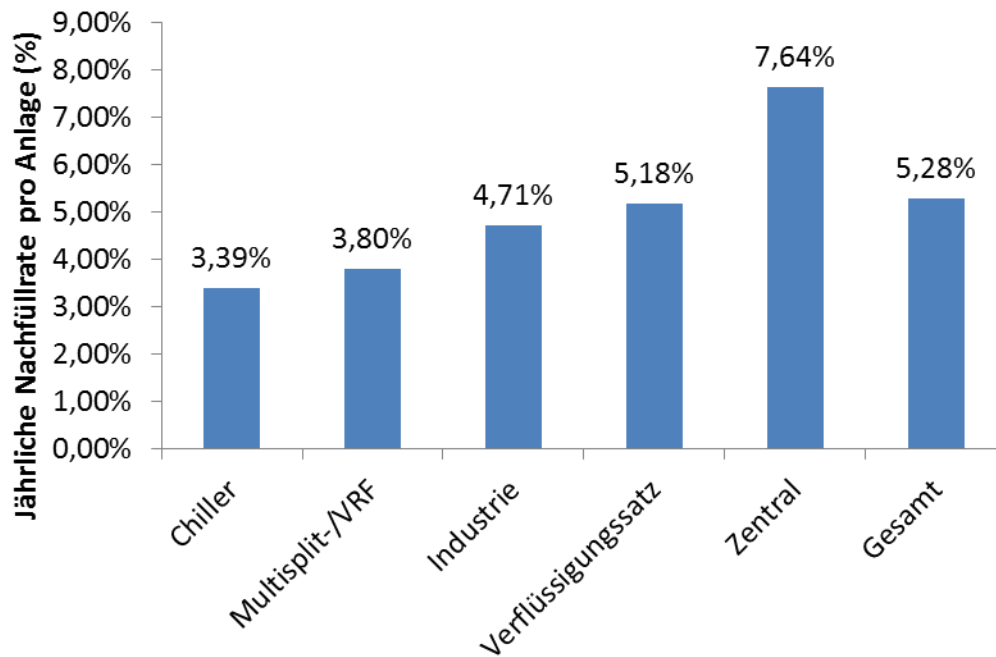


Abbildung 18: Jährliche Nachfüllrate pro Anlage der durch Begehungen erfassten Anlagen, nach Anlagentyp und gesamt.

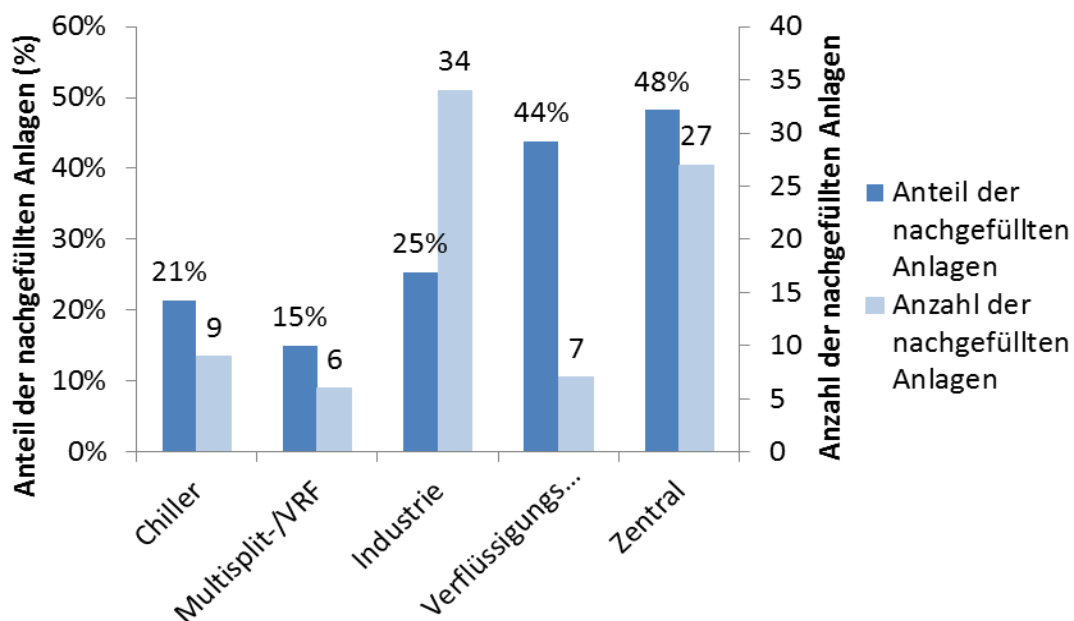


Abbildung 19: Anteil der nachgefüllten Kreisläufe in den Daten der begangenen Anlagen sowie deren Anzahl im erfassten Zeitraum (2008-2013), nach Anlagentyp unterteilt.

Wenn man den Anteil der nachgefüllten Anlagen getrennt für die einzelnen Anlagentypen betrachtet (Abbildung 19), so fällt auf, dass fast die Hälfte (48%) aller Zentralanlagen nachgefüllt wurden. Bei Verflüssigungssätzen war dieser Anteil mit 44% ähnlich hoch. Gemäß den Aufzeichnungen wurden bedeutend geringere Anteile der begangenen Industrieanlagen (25%), Chiller (21%) und Klimageräte (15%) während des Erfassungszeitraums nachgefüllt.

7.2.1.2 Die Rolle von Havarien im Datensatz

Auch die Rolle von Havarien lässt sich durch die vorliegenden Daten gut einordnen. Die verwendete Definition dieses Begriffs wurde im Kapitel 7.1.1.4 diskutiert.

Havarien tragen in der Praxis bedeutend zu Kältemittelverlusten beitragen, wie aus Abbildung 20 ersichtlich wird. Havarien wurden im Erfassungszeitraum bei 30 der 83 nachgefüllten Anlagen festgestellt (eine Havarie pro Anlage). Insgesamt wurden bei diesen Ereignissen knapp 28% der nachgefüllten Kältemittelmengen eingesetzt. Hinsichtlich der Anlagentypen machten Havarien bei Chillern und VRF-Anlagen, aber auch in der Industrie die bedeutende Mehrheit der nachgefüllten Mengen aus. Auch bei Verflüssigungssätzen und Zentralanlagen spielen Havarien im Betrieb eine bedeutende Rolle. Eine Vielzahl von anderen Studien belegt^{37,51,52,53}, dass besonders Zentralanlagen aufgrund der Länge ihrer Leitungen in der Realität sehr häufig von Havarien betroffen sind. Dies wird im Abschnitt 7.3.2 ausführlicher diskutiert.

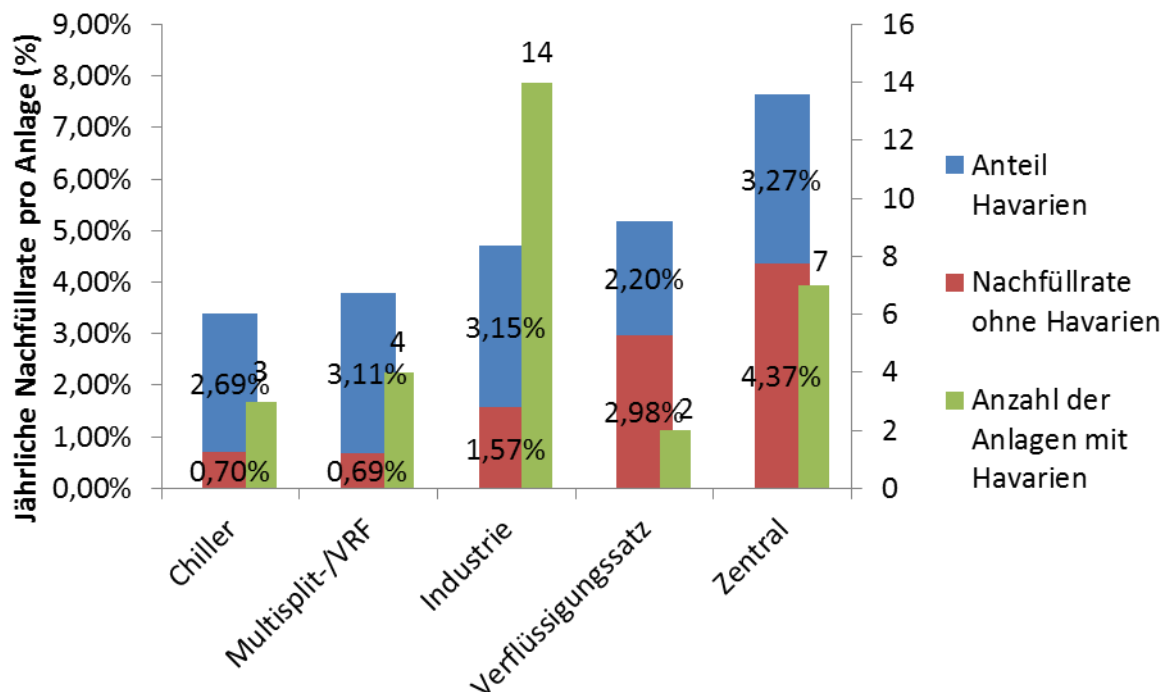


Abbildung 20: Nachfüllraten der einzelnen Anlagentypen mit und ohne Havarien aus den Daten der begangenen Anlagen sowie die Anzahl der jeweils von Havarien betroffenen Anlagen im Zeitraum 2008-2013.

Bei Anlagen zwischen 10 und 100 kg Füllmenge traten absolut die meisten Havarien auf (Tabelle 13). Wenn man diese Angaben allerdings auf die Anzahl der Anlagen dieser

⁵¹ Cowan, D.; Gartshore, J.; Chaer, I.; Francis, C.; Maidment, G. 2010: *REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project*. Institute of Refrigeration, Surrey (UK).

⁵² Umweltbundesamt (UBA) 2008: *Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt*. Rhiemeier J., Harnisch J., Ters C. Kauffeld M., Leisewitz A., Dessau-Roßlau, Dezember 2008.

⁵³ Schwarz, W., Kimmel, T. und Gschrey, B. 2013, a.a.O., S. 58

Größen bezieht, scheint die Größe der Anlagen keinen entscheidenden Einfluss auf die Häufigkeit von Havarien zu haben.

Es fällt auf, dass Chiller mit Abstand den am wenigsten von Havarien betroffenen Anlagentyp stellten (Abbildung 21). Nur etwa 7% der erfassten Anlagen dieses Typs waren von Havarien betroffen. Besonders Verflüssigungssätze und Zentralanlagen waren mit 12,5% der Anlagen besonders häufig von solchen Ereignissen betroffen.

Tabelle 13: Anzahl der durch Begehungen erfassten Anlagen mit Havarien sowie nach deren Größe.

	Anlagen mit Havarien	Anlagen dieser Größe in der Erfassung	Anteil an gesamten Anlagen dieser Größe
<10 kg	4	38	10,53%
10-100 kg	18	176	10,23%
>100 kg	8	77	10,39%

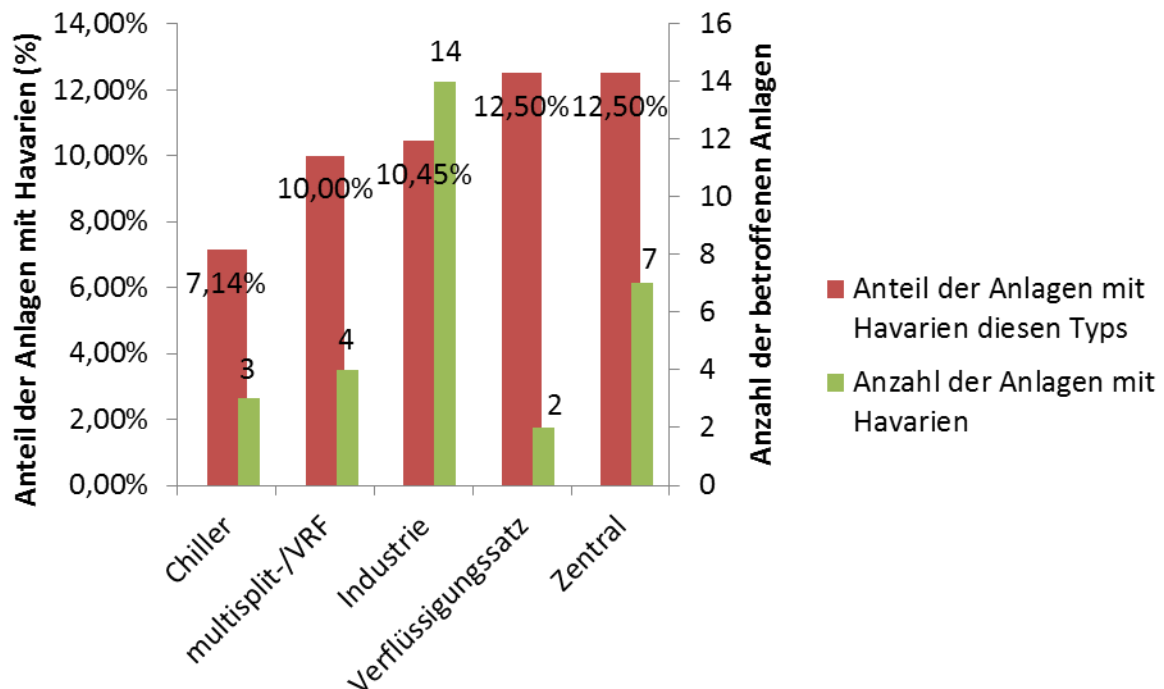


Abbildung 21: Anteil und Anzahl der von Havarien betroffenen Anlagen nach Anlagentyp (aus dem Datensatz der Begehungen) für den Zeitraum 2008-2013 und bezogen auf die Gesamtmenge der erfassten Anlagen.

7.2.1.3 Von Leckagen betroffene Bauteile

Auch über die Leckageorte bei den 86 nachgefüllten Anlagen ließen sich für die vor Ort begangenen Anlagen Aussagen treffen. Generell wurde unterschieden:

- Anlagenbauteile wie Verdampfer oder Expansionsventil,
- Verbindungsstellen und Leitungen sowie
- Ventile wie das Sicherheits- oder Schraderventil.

Mehrfachnennungen je Anlage waren möglich, da einige Anlagen im Erfassungszeitraum mehr als einmal nachgefüllt wurden.

Abbildung 22 fasst die dokumentierten Angaben zu den Undichtigkeiten in der Erfassung zusammen. Für etwa 16% dieser Anlagen wurden keinerlei Angaben zu undichten Stellen gemacht. Für die meisten (über 72%) Anlagen mit Nachfüllungen wurden jedoch undichte Bauteile dokumentiert. Bei über einem Drittel dieser Anlagen wurde außerdem mindestens ein undichtes Ventil dokumentiert (Expansionsventile sind in der Kategorie Anlagenbauteile enthalten). Undichtigkeiten an Verbindungsstellen und Leitungen spielten entsprechend der vorliegenden Dokumentation eine untergeordnete Rolle.

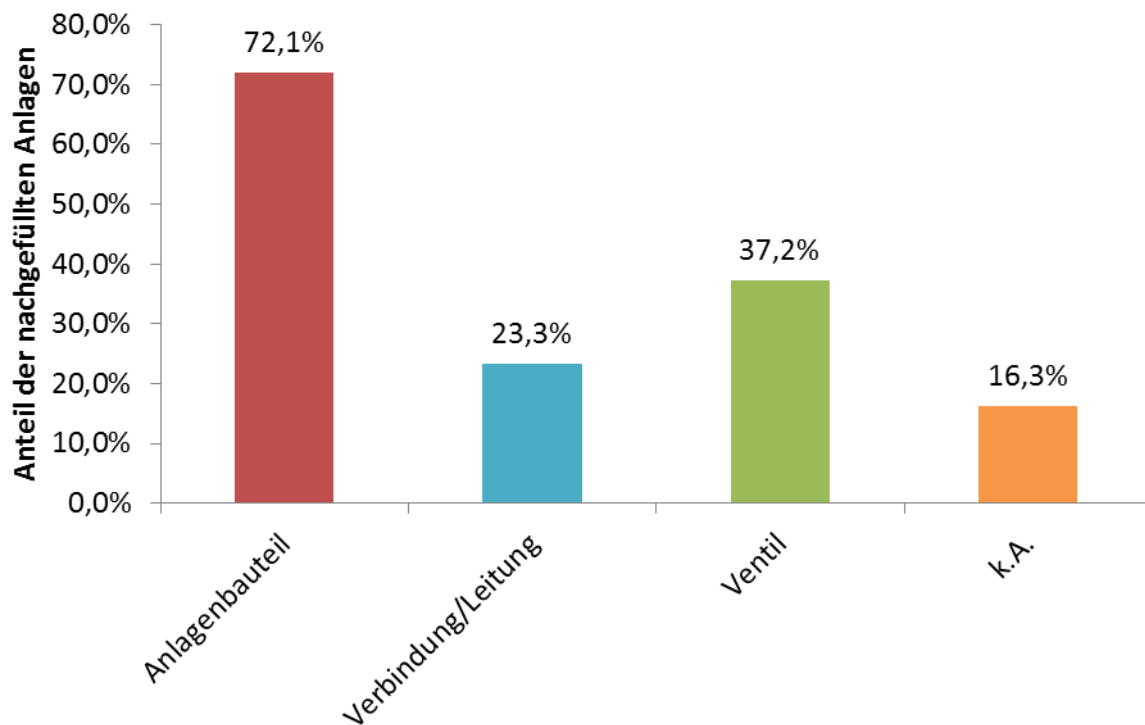


Abbildung 22: Anteile der Undichtigkeiten an Bauteilen, Verbindungsstellen und Leitungen, Ventilen und ohne Angaben - bezogen auf die nachgefüllten Kreisläufe. Datengrundlage: Anlagenbegehungen.

Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass bei den Bauteilen der Verdampfer besonders häufig als undicht vermerkt wurde (Abbildung 23). Zwischen Löt- und Schraubverbindungen ergaben sich hier keine Unterschiede in der Dichtheit. Sowohl Sicherheits- als auch Schraderventile erschienen jedoch häufiger als undicht in den Aufzeichnungen als Magnet- oder Regelventile.

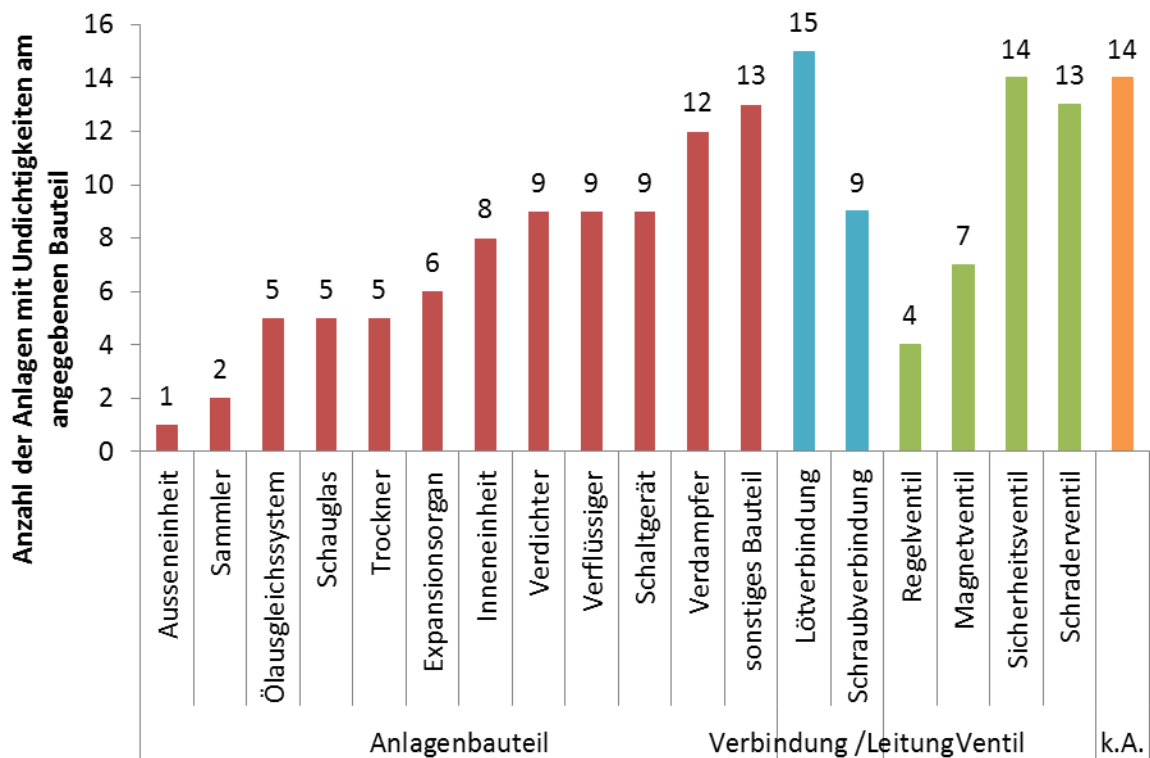


Abbildung 23: Anzahl von Undichtigkeiten an bestimmten Anlagenteilen (nur die 86 nachgefüllten Anlagen wurden berücksichtigt). Datengrundlage: Anlagenbegehungen.

7.2.1.4 Führung der Aufzeichnungen und Einsichtnahme

Die Dokumentation der Wartung und Instandhaltung der untersuchten Anlagen wurde zum Großteil noch manuell erledigt (Abbildung 24). Digitale Aufzeichnungen existierten für nur etwa 14% der Anlagen, während für 8% keinerlei Aufzeichnungen vorhanden waren. In den Fällen, in denen digitale Aufzeichnungen geführt wurden, waren vor allem eine Instandhaltungssoftware⁵⁴ (Abbildung 25; 39%) oder VDKF-Lec (37%) in Benutzung. Die Dokumentation wurde hauptsächlich von den Serviceunternehmen alleine durchgeführt (Abbildung 26; 74%) oder in Zusammenarbeit mit dem Betreiber (14%). In seltenen Fällen (9%) wurde diese Aufgabe von dem Betreiber in Eigenregie erledigt.

⁵⁴ Eine solche Software verwaltet digital Gebäude und Anlagendaten und ermöglicht die Planung von Wartung und Instandhaltungsarbeiten und wird daher auch zur „strategischen Instandhaltung von Produktionsanlagen“ (SIP) genutzt.

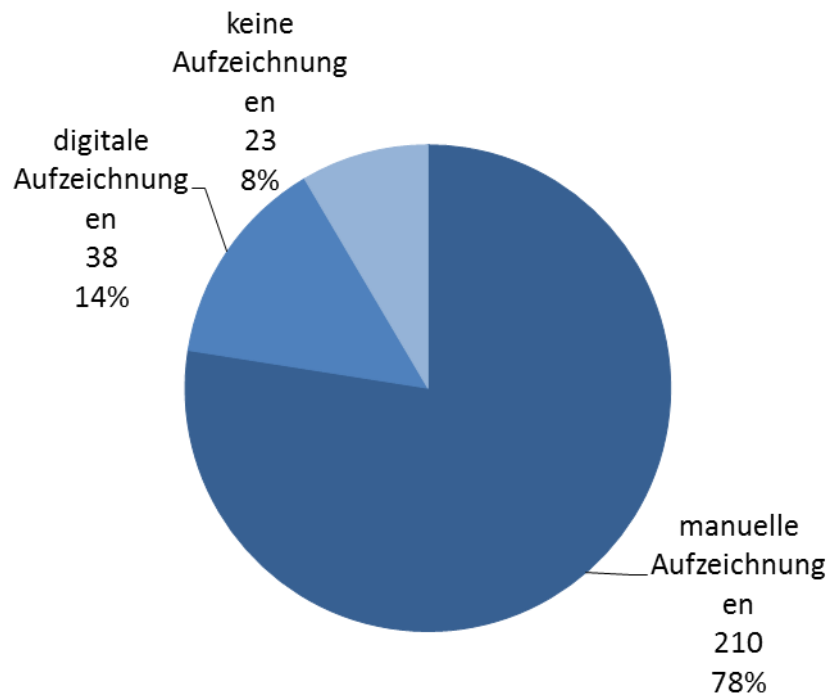


Abbildung 24: Art der Aufzeichnung in den Daten aus den Anlagenbegehungen.

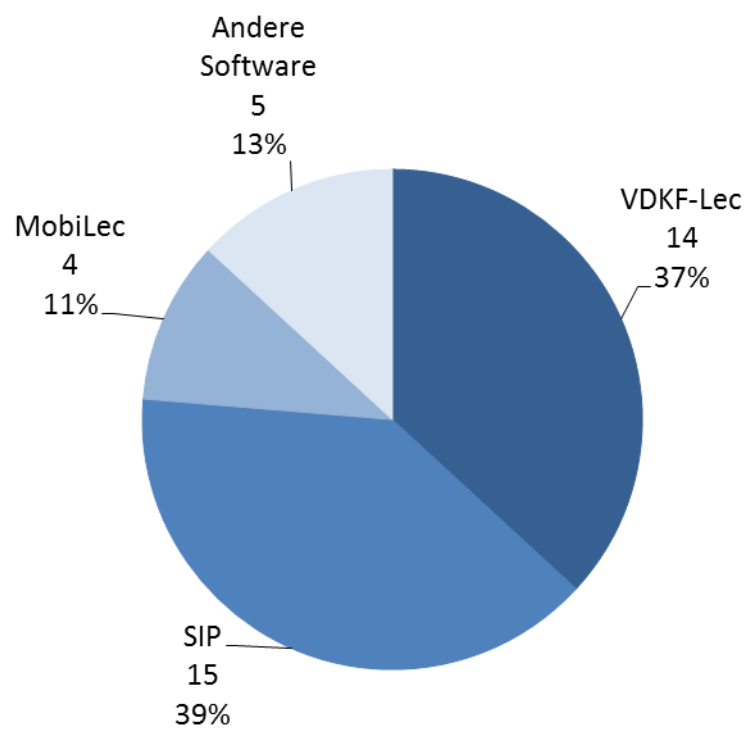


Abbildung 25: Bei den begangenen Anlagen zur Aufzeichnung verwendete Software.

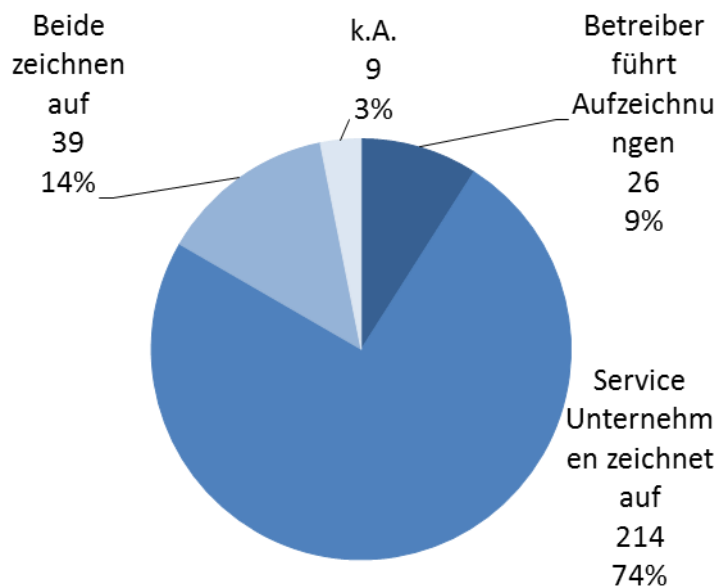


Abbildung 26: Führung der Dokumentation im Datensatz aus den Anlagenbegehungen.

Da eine so große Anzahl von Anlagen im Datensatz direkt von Serviceunternehmen gewartet und instand gehalten wurde, stellt sich die Frage, inwieweit die Betreiber Einsicht in die Aufzeichnungen hatten bzw. nahmen. Dies war besonders deshalb interessant, weil der Betreiber der Dokumentationspflicht unterliegt (siehe 3.1). Nach den in Tabelle 14 vorgestellten Resultaten erhalten die Betreiber in den meisten Fällen über das Logbuch Einsicht in die Aufzeichnungen für die einzelnen Anlagen. Für fast ein Drittel der Anlagen nehmen Betreiber eine eigene Auswertung vor. Lediglich für 4,8% der Anlagen gaben Betreiber an, keinerlei Einsicht in die Aufzeichnungen nehmen zu können. In den wenigsten Fällen findet eine elektronische Datenübertragung durch das Internet statt.

Tabelle 14: Beschreibung der Einsicht (Art der Einsicht, Anteil der Anlagen), die Betreiber in die Aufzeichnungen der begangenen Anlagen haben. Die Tabelle bezieht sich auf alle begangenen Anlagen (2008-2013).

	Eigene Auswertung	Logbuch	Internet	Sonstiges	Keine Einsicht
Anzahl der Anlagen	72	196	7	26	14
Anteil der Anlagen	24,7%	67,4%	2,4%	8,9%	4,8%

7.2.1.5 Einhaltung der rechtlichen Vorgaben

Wie weiter oben beschrieben, sind wir davon ausgegangen, dass die von der ChemKlimaschutzV vorgegebenen maximalen spezifischen Kältemittelverluste in diesem Fall mit den hier errechneten jährlichen Nachfüllraten pro Anlage (Tabelle 15) vergleichbar waren. Die vorgegebenen Grenzwerte waren nur in drei von neun Fällen eingehalten worden.

Werden nur die nachgefüllten 86 Anlagen betrachtet, lagen die Anlagen in allen Kategorien zum Teil um ein mehrfaches über den Vorgaben (Tabelle 16).

Wenn die Nachfüllmengen, die auf Havarien zurückzuführen sind, rausgerechnet werden, sind die Vorgaben der ChemKlimaschutzV in fünf der neun Fälle eingehalten worden. Sowohl die untersuchten großen Anlagen als auch kleine neue Anlagen lagen immer noch über den zulässigen Grenzwerten (Tabelle 17).

Tabelle 15: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten aller begangenen Anlagen im Vergleich zu ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverluste.

	Vor Juli 2005		Zwischen Juli 2005 und Juni 2008		Ab Juli 2008	
	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe
<10 kg	3,28%	8%	7,03%	6%	6,57%	3%
10-100 kg	5,13%	6%	2,59%	4%	6,64%	2%
>100 kg	5,43%	4%	6,44%	2%	5,29%	1%

Tabelle 16: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten der nachgefüllten Anlagen im Vergleich zu ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverluste.

	Vor Juli 2005		Zwischen Juli 2005 und Juni 2008		Ab Juli 2008	
	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe
<10 kg	13,12%	8%	32,81%	6%	52,58%	3%
10-100 kg	14,69%	6%	18,99%	4%	27,57%	2%
>100 kg	13,03%	4%	20,25%	2%	10,58%	1%

Tabelle 17: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten ohne Havarien im Vergleich zu ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverluste. Bezug: alle Anlagen.

	Vor Juli 2005		Zwischen Juli 2005 und Juni 2008		Ab Juli 2008	
	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe
<10 kg	1,09%	8%	2,17%	6%	6,57%	3%
10-100 kg	1,61%	6%	1,28%	4%	1,21%	2%
>100 kg	4,89%	4%	2,45%	2%	3,43%	1%

Für viele der Anlagen wurden weniger Dichtheitsprüfungen dokumentiert als von der ChemKlimaschutzV und der F-Gase-Verordnung gefordert. Hierbei wurde auch die

Halbierung der Anzahl der vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen (DHPs) bei vorhandenem Leckageerkennungssystem berücksichtigt.

Aus Tabelle 18 geht hervor, dass für 27,5% aller untersuchten Anlagen 2012 eine nicht ausreichende Anzahl an DHPs dokumentiert war, vor allem bei Industrieanlagen. Die Größe der Anlagen spielte dabei scheinbar keine bedeutende Rolle (Tabelle 19).

Dichtheitsprüfungen waren generell bei etwa 79% der Anlagen in der Dokumentation aufgeführt (Abbildung 27). Die Vorgabe bezüglich der Dichtheitsprüfungen unmittelbar nach einer Nachfüllung wurde gemäß der vorliegenden Dokumentation aber nur bei etwa 40% der nachgefüllten Anlagen eingehalten (siehe Abbildung 28).

Tabelle 18: Anlagen aus den Begehungen, für die laut ChemKlimaschutzV in 2012 nicht ausreichend Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurden - nach Anlagentyp.

	Anzahl der Anlagen mit fehlenden DHPs in 2012	Anteil der gesamten Anlagen dieses Typs
Chiller	5	11,9%
Multisplit-/VRF	11	27,5%
Verflüssigungssatz	1	6,3%
Zentral	15	26,8%
Industrie	47	35,1%
Gesamt	80	27,5%

Tabelle 19: Fehlende Dichtheitsprüfungen im Datensatz aus den Anlagenbegehungen dargestellt nach Größe.

	Anlagen mit fehlenden DHPs in 2012	Anteil an gesamten Anlagen dieser Größe
<10 kg	11	29,0%
10-100 kg	47	26,7%
>100 kg	22	28,6%

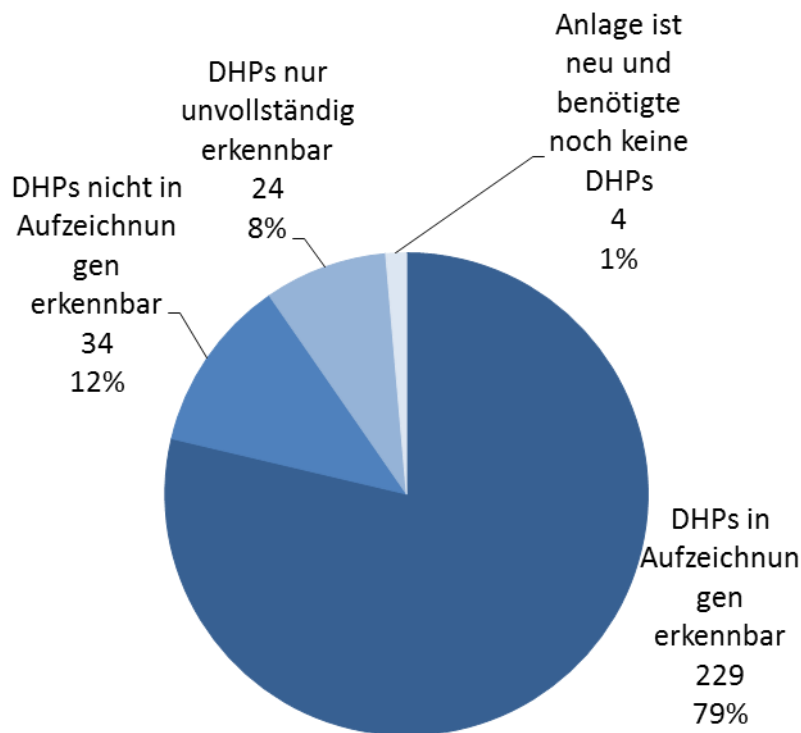


Abbildung 27: Anteil der begangenen Anlagen, für die eine laut ChemKlimaschutzV ausreichende Anzahl an Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurde. Datengrundlage: Datensatz aus den Anlagenbegehungen.

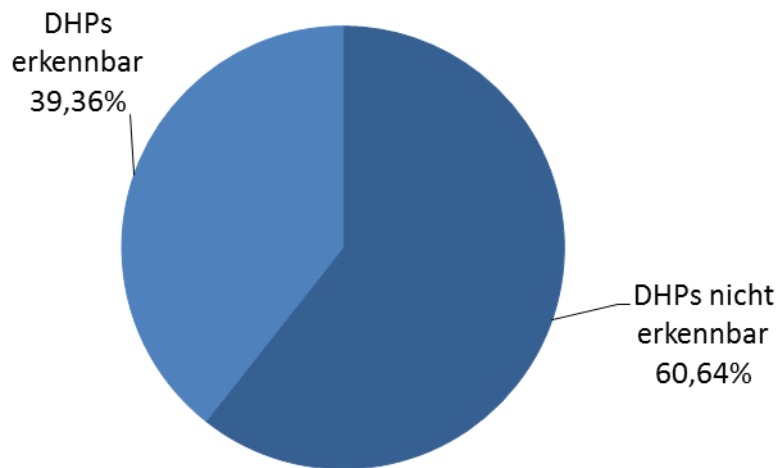


Abbildung 28: Anteil der begangenen Anlagen, für die laut ChemKlimaschutzV vorgeschriebene Dichtheitsprüfungen nach Nachfüllungen dokumentiert wurden. Nur Anlagen mit Nachfüllungen wurden beachtet.

7.2.2 Daten aus dem elektronischen Erfassungssystem VDKF-Lec

Der VDKF stellte im Zuge eines Ergänzungsvorhabens im Rahmen des Umweltforschungsplans im Dezember 2013 eine aggregierte Auswertung der VDKF-Lec Daten von 34.264 Anlagen⁵⁵ zur Verwendung in diesem Vorhaben bereit.

⁵⁵ Stand Dezember 2013.

Über die Hälfte der Anlagen hatte eine Füllmenge zwischen 3 und 10 kg und nur ein geringer Anteil von 5% eine Füllmenge von über 100 kg (Abbildung 29). Es wurden nur Daten von Anlagen über 3 kg Füllmenge in der Auswertung berücksichtigt. Ein Großteil der Anlagen wurde im Klimabereich sowie in der Gewerbekälte eingesetzt, aber auch Industriekälteanlagen waren stark vertreten. Ein kleinerer Teil der durch VDKF-Lec erfassten Daten von Anlagen mit über 3 kg Füllmenge wurde in Wärmepumpen, Sonderanlagen und mobile Anlagen eingesetzt (Tabelle 20Tabelle 20). 2012 betrug die Gesamtfüllmenge aller dieser Anlagen zusammen 879.230 kg (Abbildung 30). Laut VDKF⁵⁶ stammten die Daten aus mehreren Betrieben sowie etwa 250 Kälte-Klima-Fachbetrieben. Erfasst wurden nur Betriebe, die ihre Daten ausdrücklich freigegeben hatten.

Der Hauptteil der Kältemittelfüllmenge (66%) im VDKF-Lec-Datensatz wurde in der stationären Kältetechnik eingesetzt (Abbildung 31) und etwa ein Viertel in stationären Klimageräten. Weiterhin folgten Raumluftheizung (4%), Sonderanlagen (3%), Wärmepumpen (1%) sowie mobile Anlagen (1%). Wie schon erwähnt, waren nur stationäre Anlagen mit mindestens 3 kg Füllmenge in diesem Datensatz enthalten. Diese umfassten sowohl hermetische als auch halbhermetische Anlagen. Beides erklärt auch die geringe Menge an Haushaltskälteanlagen (38 Anlagen).

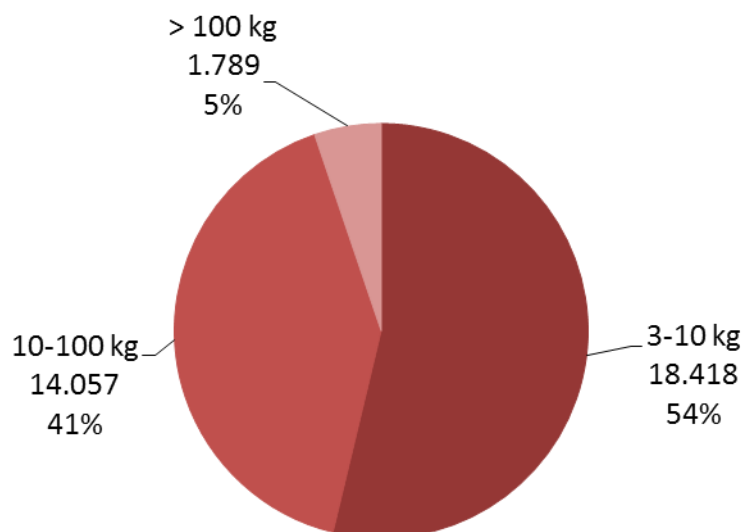


Abbildung 29: Anlagen zwischen 3 und 10 kg, zwischen 10 und 100 kg Füllmenge im VDKF-Lec Datensatz (Füllmenge, Anzahl der Anlagen, Anteil der Anlagen).

⁵⁶ Zaremski, W. und Hudetz, V. 2013: *Leakage and Energy Control System*, Vortrag auf der DKV Deutsche Kälte- und Klimatagung 2013, Hannover, 22. November 2013.

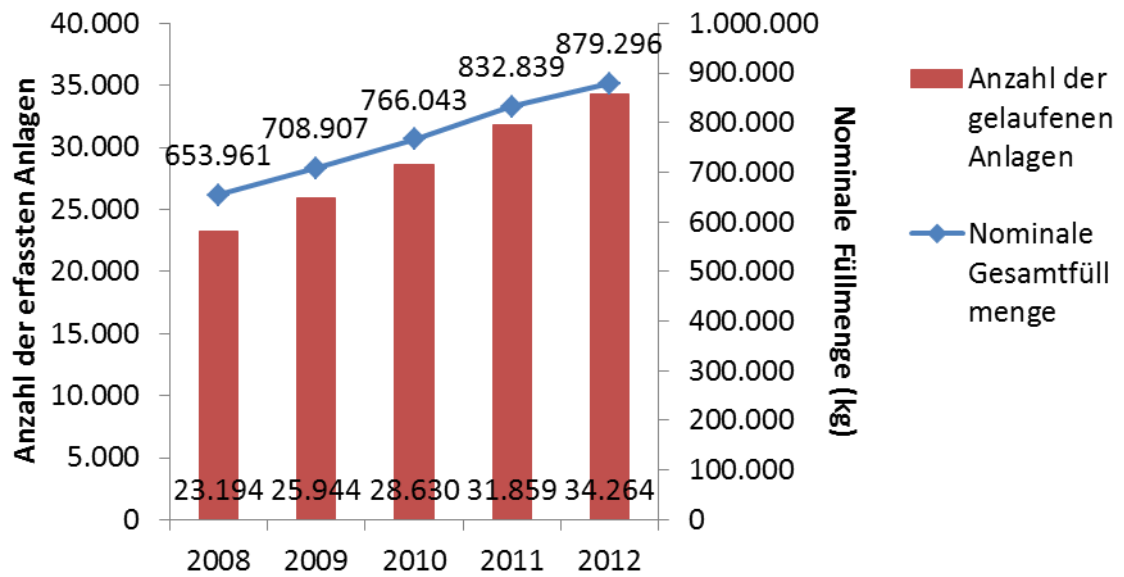


Abbildung 30: Nominale Gesamtfüllmenge und Anzahl der in VDKF-Lec erfassten Anlagen in den Jahren 2008-2012.

Tabelle 20: Anzahl der durch VDKF-Lec in 2008-2013 erfassten Anlagen nach Typ.

			Anzahl der Anlagen
Kälte	Gewerbekälte	ortsmontierte Anlagen	8.909
		steckerfertige Anlagen	291
	Haushaltskälte		38
	Industriekälte		4.952
Klima	Dezentral	VRF	3.298
		Split (single/multi)	8.152
	zentral		4.564
Raumluftechnik			1.364
Wärmepumpen	Direktverdampfung		279
	Mehrkreisssystem		197
Mobile Anlagen	mobile Klimaanlage		28
	Transportkühlung		685
Sonderanlagen			1.224
k.A.			60

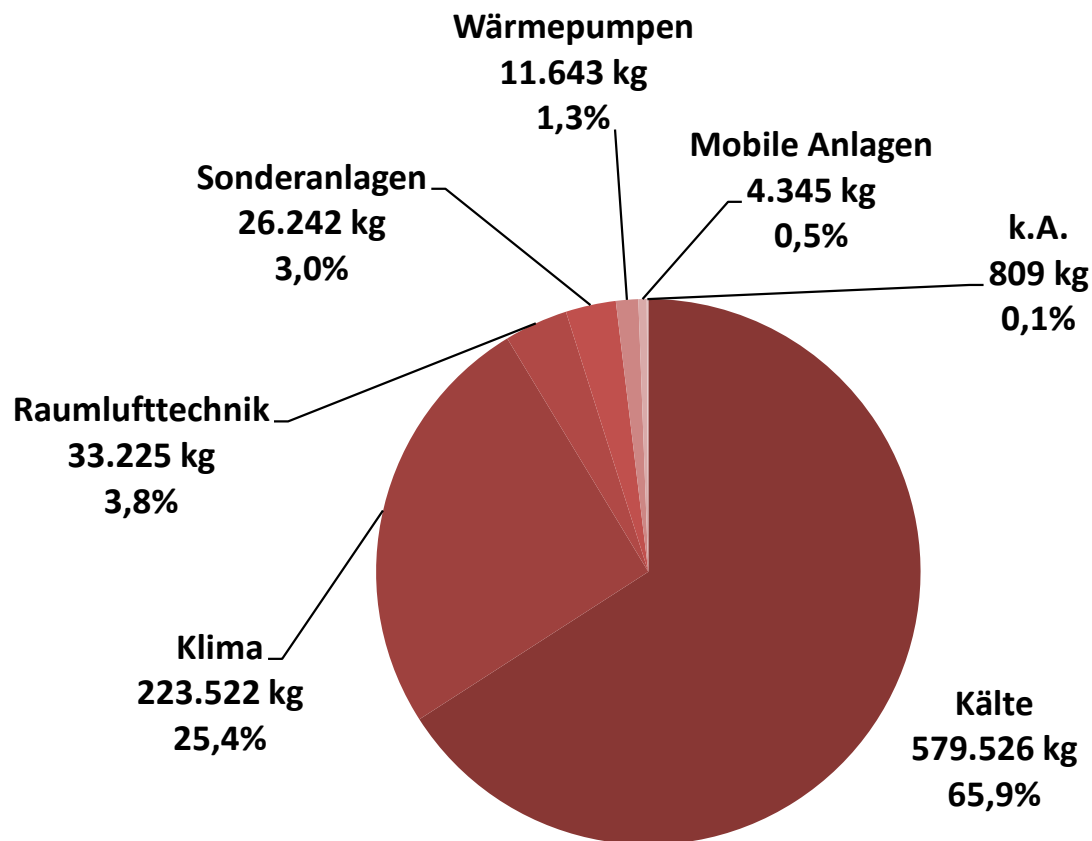


Abbildung 31: Verwendung der Kältemittelfüllmengen in den einzelnen Anwendungsbereichen (> 3 kg Füllmenge) im VDKF-Lec Datensatz (Anlagentyp, Füllmenge, Anteil an Gesamtfüllmenge).

Das am häufigsten verwendete Kältemittel im VDKF-Lec-Datensatz war R404A mit einer Füllmenge von knapp 310.000 kg und einem Anteil von 35%. Es folgten R407C (26%), R134a (21%) und R410A (11%).

Das Format der Daten erlaubte eine Analyse bezogen auf die gesamte nominale Füllmenge sowohl pro Jahr als auch über alle Jahre im Zeitraum 2008-2013, und zwar unterschieden nach verwendeten Kältemitteln. Auch zwischen Zentralanlagen, Klimageräten und Industriekälte konnte teilweise differenziert werden. Eine Auswertung bezogen auf einzelne Anlagen war nicht möglich, da Füllmengen sowie Nachfüllmengen nicht für einzelne Anlagen zur Verfügung standen.

Unsere Analyse der VDKF-Daten stimmt mit einer vom VDKF veröffentlichten Auswertung für einen Datenauszug überein, die auf der DKV-Jahrestagung 2013 vorgestellt wurde.⁵⁷

⁵⁷ Zaremski, W. und Hudetz, V. 2013: *Leakage and Energy Control System*, Vortrag auf der DKV Deutsche Kälte- und Klimatagung 2013, Hannover, 22. November 2013.

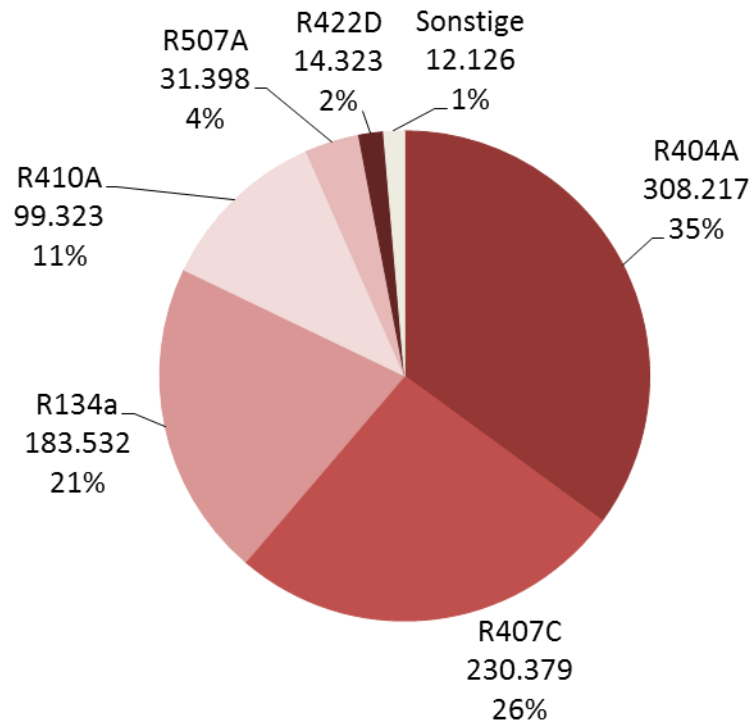


Abbildung 32: Anteil von Kältemitteln an der Gesamtfüllmenge im VDKF-Lec Datensatz (Kältemittel, Füllmenge, Anteil an Gesamtfüllmenge).

7.2.2.1 Nachfüllmengen und -raten

Wie schon erwähnt, konnten die VDKF-Lec-Daten nicht anlagenbezogen ausgewertet werden. Im Gegensatz zu den anderen beiden Datensätzen erfolgt an dieser Stelle deshalb eine über alle Anlagen gemittelte Auswertung. Dabei ergab sich eine jährliche Gesamtnachfüllrate von 3,39%. Die für die Jahre 2008 bis einschließlich 2012 berechneten Raten lassen sich aus Abbildung 33 entnehmen. Besonders zwischen den Jahren 2008 und 2010 war ein aufsteigender Trend zu beobachten. Der Durchschnitt über alle Jahre lag deutlich über dem für 2008 berechneten Wert.

Aufgrund der Menge der Daten wurde für diesen Datensatz eine zusätzliche Auswertung durchgeführt, bezogen auf das Alter der erfassten Anlagen (Abbildung 34). Diese zeigt keinen einheitlichen Trend für alle Kreisläufe. Für ältere Anlagen schien der nachgefüllte Anteil an der Füllmenge zwischen 2009 und 2012 erst anzusteigen und dann wieder abzufallen. Andererseits stieg bei neueren Anlagen ab 2009 der Nachfüllanteil im gleichen Zeitraum stetig von 0,59% auf 1,82% an. Es fällt auf, dass der nachgefüllte Anteil 2009 in allen vier Altersgruppen deutlich unter dem für 2010 liegt und oft den niedrigsten Anteil aller Jahre darstellt.

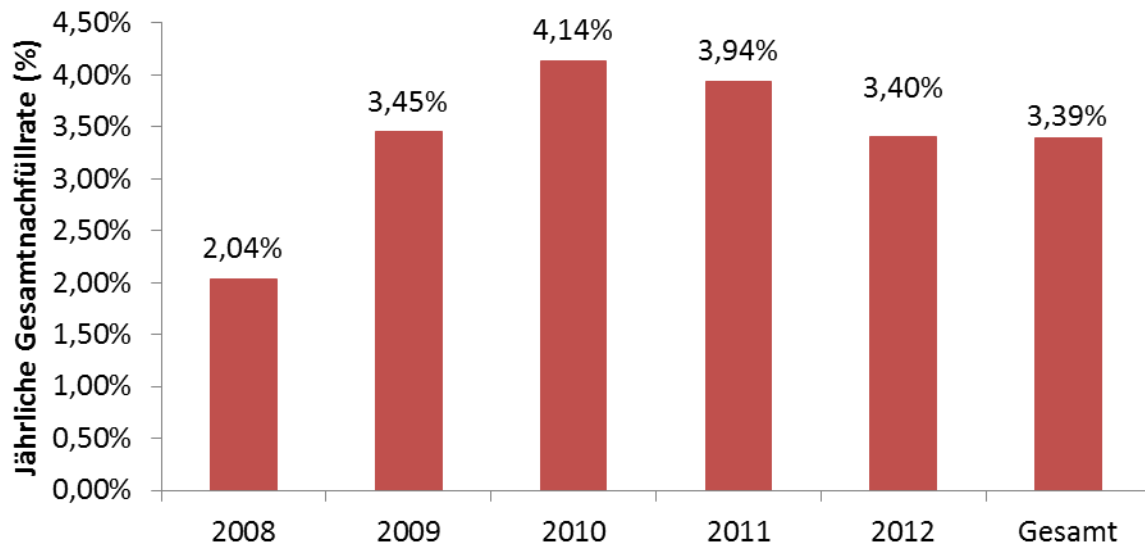


Abbildung 33: Jährliche Gesamtnachfüllrate im VDKF-Lec Datensatz für die Jahre 2008-2012.

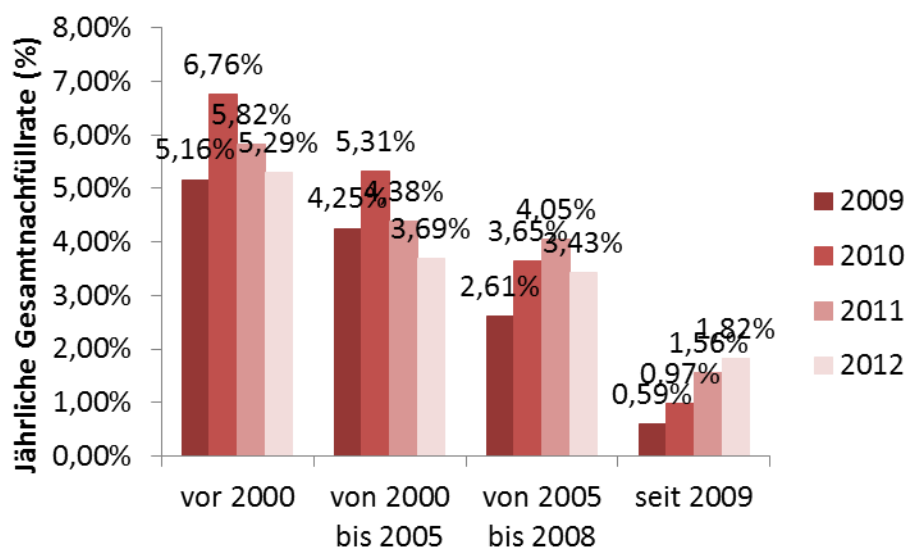


Abbildung 34: Jährliche Gesamtnachfüllrate pro Jahr im VDKF-Lec Datensatz für Anlagen unterschiedlicher Baujahre.

Die jährlichen Nachfüllmengen der im VDKF-Lec erfassten Anlagen liegen zwischen etwa 25.000 kg (2009) und knapp 33.000 kg (2011). Pro erfasste Anlage ergeben sich dabei Werte von 0,87 kg bis 1,11 kg Nachfüllmenge pro Jahr (Abbildung 35). Über den Zeitraum von 2009 bis 2012 stieg die durchschnittliche Nachfüllmenge pro Anlage zuerst an und fiel dann wieder ab. Die Anzahl der Anlagen sowie die nominale Füllmenge nahmen über die Jahre zu (siehe oben), jedoch ging die durchschnittliche Füllmenge pro Anlage zurück.

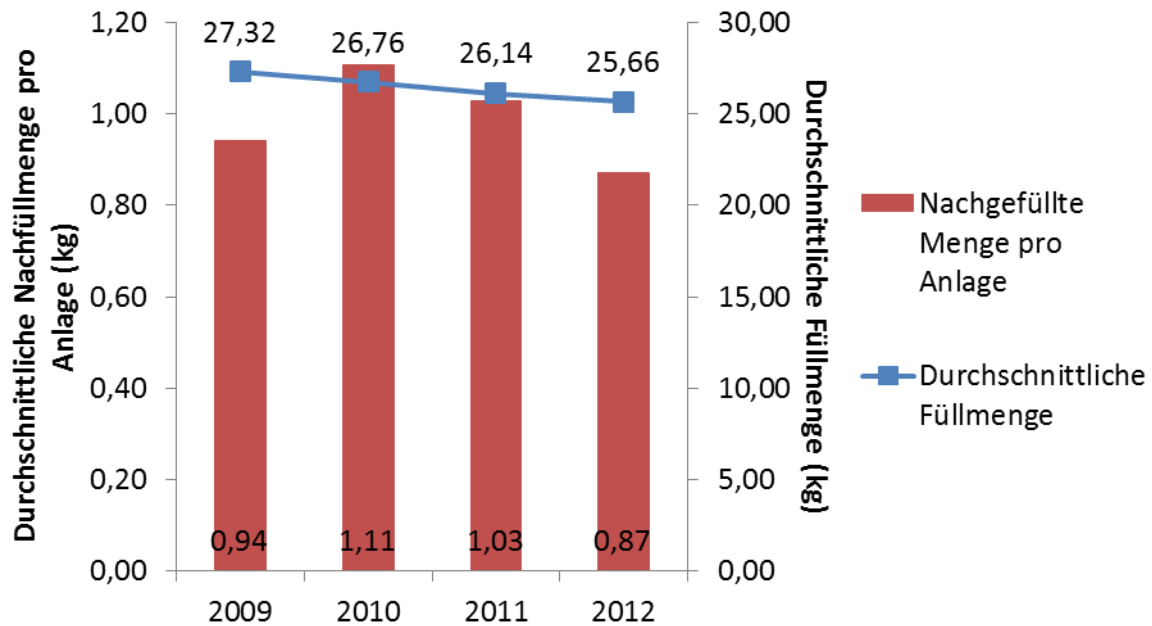


Abbildung 35: Erfasste Nachfüllmengen pro Anlage (in kg) aus der VDKF-Lec-Erfassung sowie die durchschnittliche Füllmenge der im System erfassten Anlagen in den Jahren 2009-2012.

Die VDKF-Lec-Daten lassen auch eine Unterteilung der jährlichen Gesamtnachfüllrate nach Kältemitteln zu (Abbildung 36). R404A hatte laut den Daten mit 5,29% die höchste jährliche Gesamtnachfüllrate. Bei R134a und R407C lag dieser Werte nur bei 2,76% bzw. 2,96%. In diesem Datensatz hatte R410A eine Nachfüllrate von nur 0,68%.

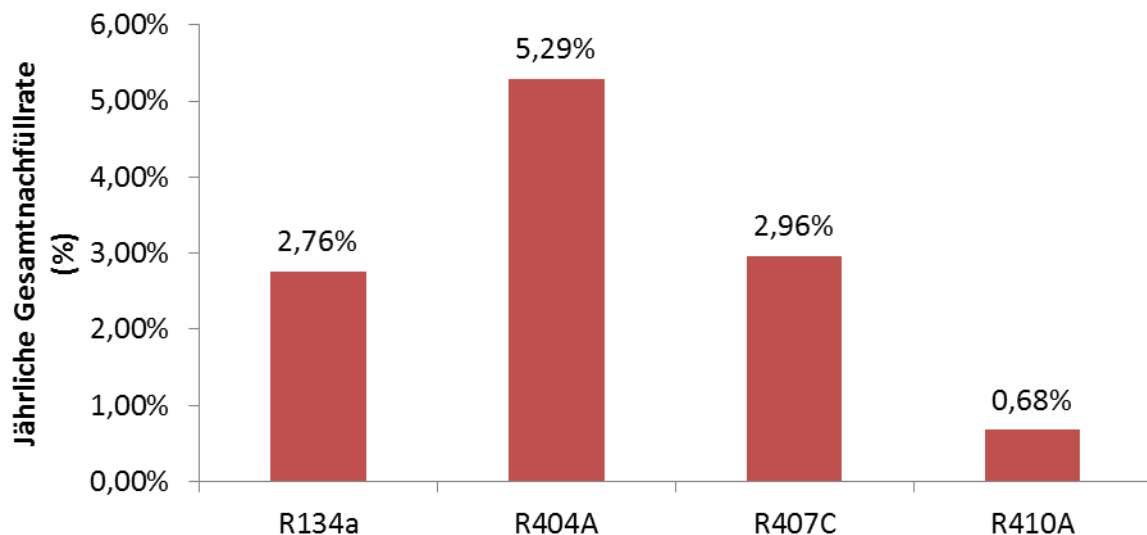


Abbildung 36: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den VDKF-Lec Daten bezogen auf das verwendete Kältemittel.

7.2.2.2 Die Rolle von Havarien im VDKF-Lec-Datensatz

Die VDKF-Lec-Daten belegen weiterhin, dass Havarien eine nicht zu vernachlässigende Rolle bei Nachfüllmengen spielen (Abbildung 37). Insgesamt sind knapp 23% der Nachfüllmengen durch Havarien bedingt. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich die Definition einer Havarie von der oben genannten unterscheidet (7.1.1.4). Havarien wurden vom VDKF erst ab einen Kältemittelverlust von 90% oder mehr als solche behandelt. Schon deshalb ist der Anteil von Havarien an der gesamten Nachfüllmenge niedriger als in den vorher betrachteten Datensätzen mit einem niedrigeren Schwellenwert.

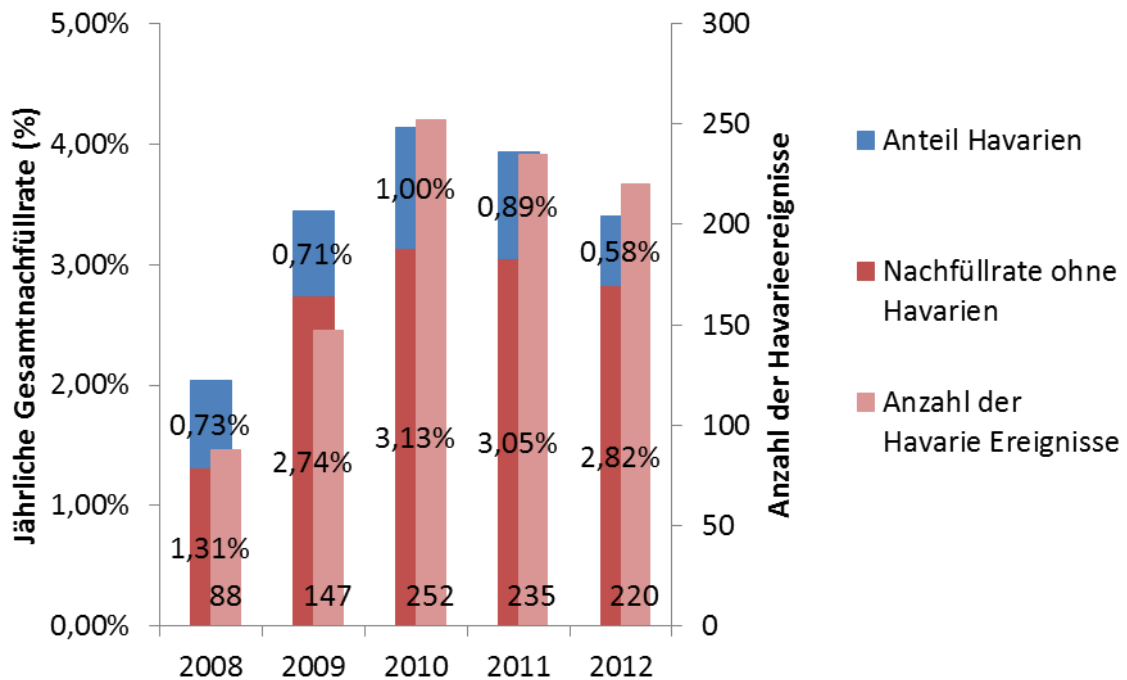


Abbildung 37: Jährliche Gesamtnachfüllrate im VDKF-Lec Datensatz mit und ohne Havarien sowie die Häufigkeit der Havarie-Ereignisse im jeweiligen Jahr.

7.2.2.3 Von Leckagen betroffene Bauteile

In den Daten aus dem VDKF-Lec (Abbildung 39 und Abbildung 38) führten undichte Stellen im Rohrleitungssystem sowie an Ventilen bei über der Hälfte der nachgefüllten Kreisläufe zu Kältemittelverlusten (Rohrleitungen bei 32,5% und Ventile bei 18,2% der nachgefüllten Kreisläufe). Bauteile wie Verdichter, Verdampfer, Verflüssiger oder die elektrische Steuerung spielten scheinbar eine kleinere Rolle.

Wenn nur Zentralanlagen betrachtet werden (Abbildung 40 und Abbildung 41), unterschieden sich die Ergebnisse nur minimal. Interessanterweise spielten dann Rohrleitungssysteme eine kleinere und Ventile eine größere Rolle in Bezug auf Leckagen.

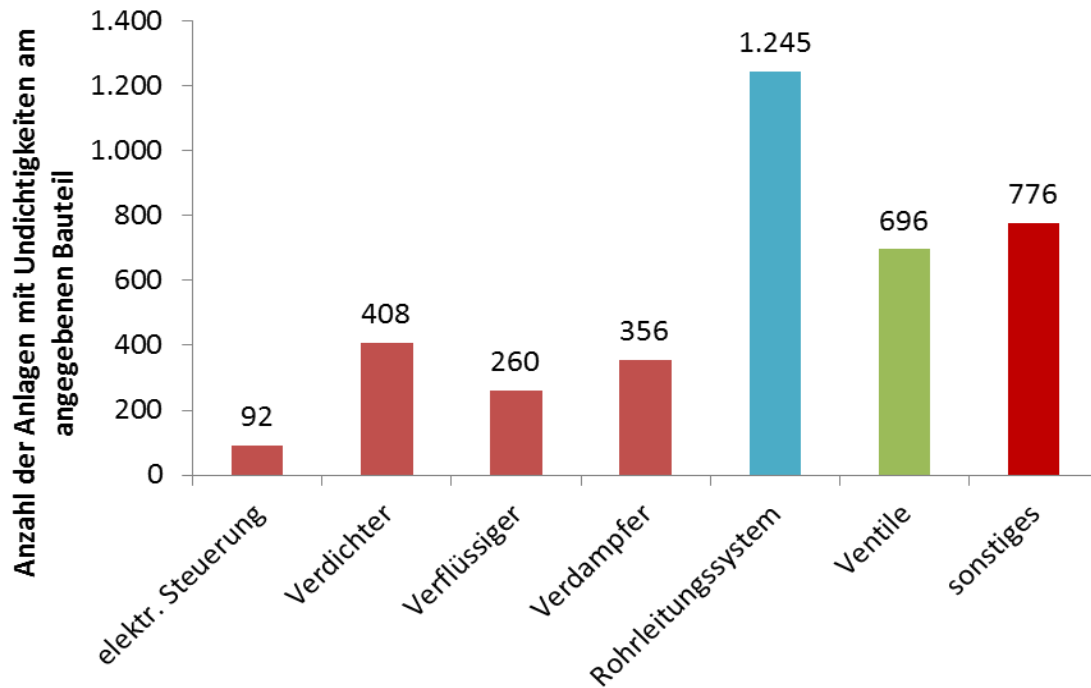


Abbildung 38: Häufigkeit der Undichtigkeiten an bestimmten Bauteilen, Rohrleitungen, Ventilen und sonstigen Orten.
Datengrundlage: VDKF-Lec-Datensatz.

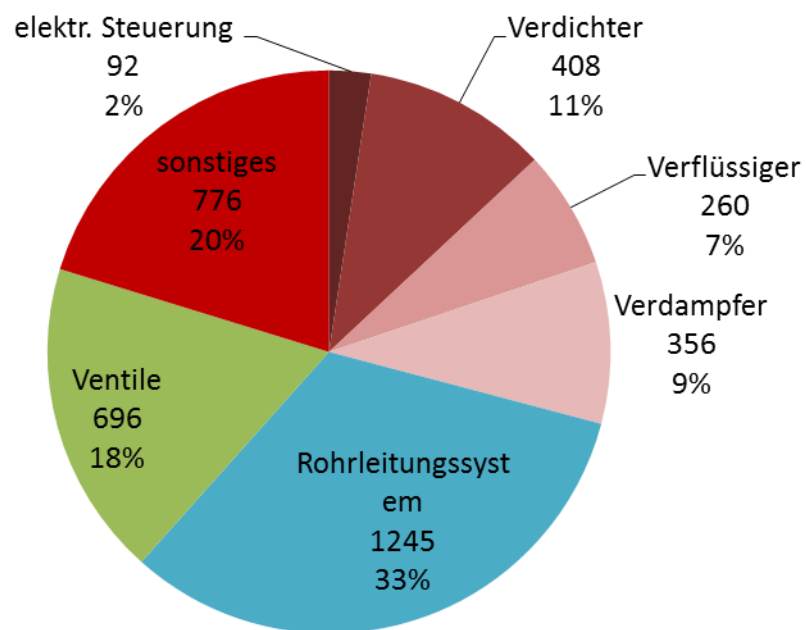


Abbildung 39: VDKF-Lec: Undichte Stellen, ausgedrückt als Anteile aller genannten Leakageorte an Anlagen mit Nachfüllmengen (betroffenes Bauteil, absolute Häufigkeit, Anteil der genannten Leakageorte).

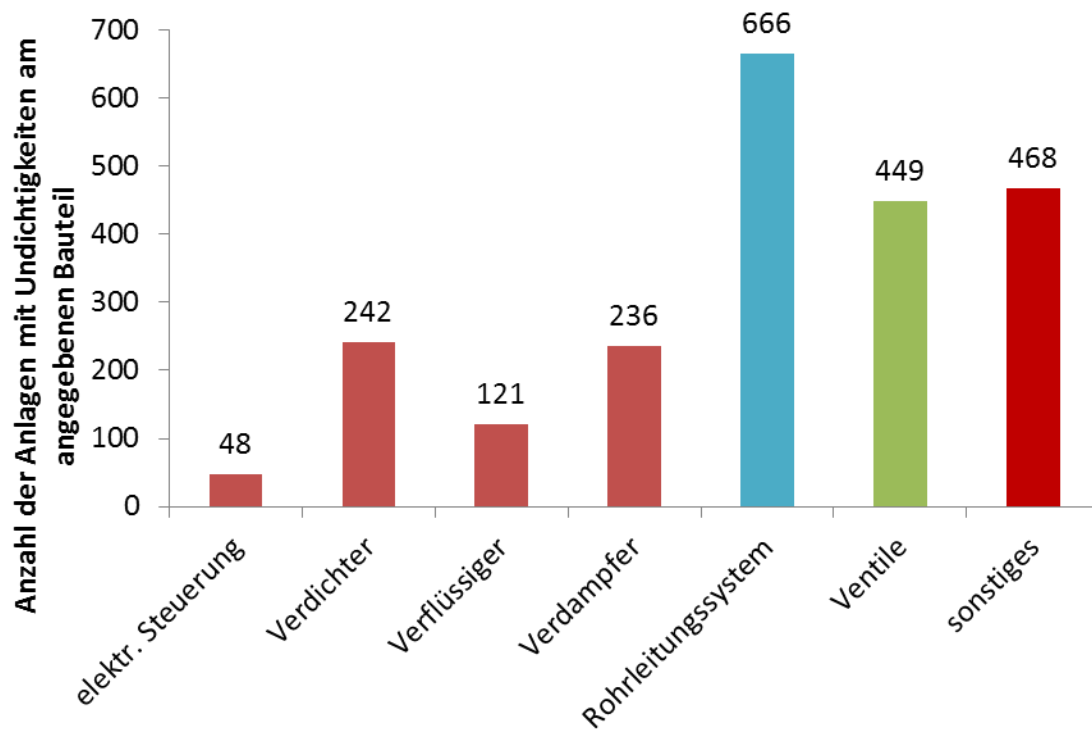


Abbildung 40: Häufigkeit der Undichtigkeiten an bestimmten Bauteilen, Rohrleitungen, Ventilen und sonstigen Orten in der Gewerbekälte. Datengrundlage: VDKF-Lec Datensatz.

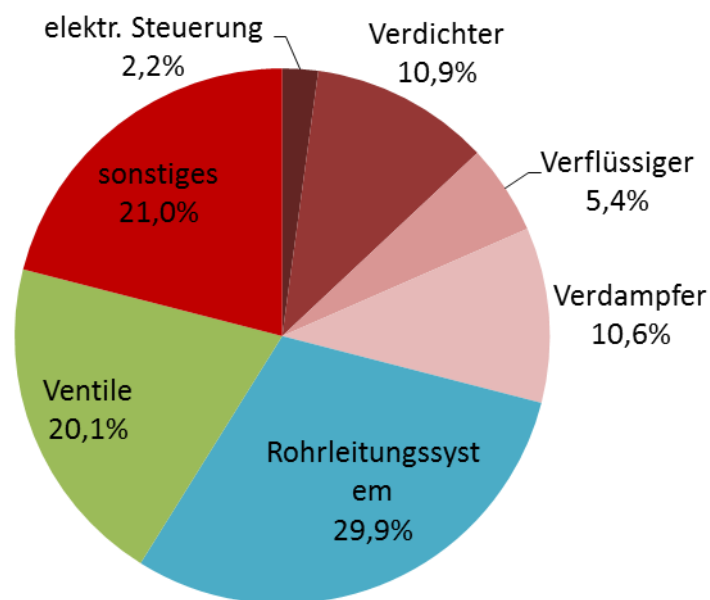


Abbildung 41: VDKF-Lec: Undichte Stellen ausgedrückt als Anteil aller genannten Leckageorte bei Gewerbekälteanlagen mit Nachfüllmengen (betroffenes Bauteil, absolute Häufigkeit, Anteil der genannten Leckageorte).

7.2.2.4 Einhaltung der rechtlichen Vorschriften

Auch über die Einhaltung der ChemKlimaschutzV und der F-Gase-Verordnung geben die VDKF-Lec-Daten Aufschluss, sofern man (wie oben erwähnt) davon ausgeht, dass die jährliche Gesamtnachfüllrate begrifflich mit den vorgegebenen spezifischen Kältemittelverlustraten vergleichbar ist. Obwohl die Daten keine Aussage über den Zusammenhang der Anlagengrößen mit ihrem Alter zulassen, fällt auf, dass Anlagen über 100 kg Füllmenge im Durchschnitt über den maximalen Kältemittelverlustraten der ChemKlimaschutzV liegen. Kleine Anlagen unter 10 kg Füllmenge erhielten laut den VDKF-Daten im Durchschnitt nur etwa 1,28% ihrer Füllmenge als Kältemittelnachfüllungen und liegen damit im Rahmen der Vorschriften. Bei Anlagen mittlerer Größe (10-100 kg) liegt der erfasste nachgefüllte Anteil zwar innerhalb der Vorgaben für ältere Anlagen, jedoch oberhalb des maximalen spezifischen Kältemittelverlustes für Anlagen, die ab Juli 2008 in Betrieb genommen wurden.

Tabelle 21: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den VDKF-Lec-Daten für kleine, mittlere und große Anlagen im Vergleich zu den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten - in Prozent.

	Erfasste Nachfüllraten	Vorgeschriebener maximaler spez. Kältemittelverlust		
		Vor Juli 2005	Zwischen Juli 2005 und Juni 2008	Ab Juli 2008
<10 kg	1,28%	8%	6%	3%
10-100 kg	3,35%	6%	4%	2%
>100 kg	4,32%	4%	2%	1%

Des Weiteren können in den verfügbaren VDKF-Lec-Daten die jährlichen Gesamtnachfüllraten von Anlagen, die vor Juli 2005, zwischen Juli 2005 und Juni 2008 sowie ab Juli 2008 in Betrieb genommen wurden, getrennt betrachtet werden (Tabelle 22). Die Raten lagen unter den maximalen Kältemittelverlustraten für kleine und mittelgroße Anlagen, jedoch über denen für große Anlagen.

Tabelle 22: Jährliche Gesamtnachfüllraten in den VDKF-Lec-Daten für Anlagen unterschiedlichen Alters im Vergleich zu den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten - in Prozent.

Erfasste Nachfüllraten	Vorgeschriebener maximaler spez. Kältemittelverlust		
	Vor Juli 2005	Zwischen Juli 2005 und Juni 2008	Ab Juli 2008
<10 kg	8%	6%	3%
10-100 kg	6%	4%	2%
>100 kg	4%	2%	1%
Erfasste Nachfüllraten	5,08%	3,43%	1,23%

7.2.3 Daten einer Discounterkette

Eine Discounterkette stellte die elektronischen Aufzeichnungen von 266 ihrer Kälteanlagen für dieses Vorhaben zur Verfügung. Die 93 Filialen, für die Daten der Anlagen vorliegen, verteilten sich relativ gleichmäßig über das gesamte deutsche Verkaufsgebiet.

Die erfassten Filialen wurden zufällig aus der Gesamtheit der Discounter-Filialen ausgewählt, wobei jeweils drei Filialen pro Geschäftsregion der Firma zufällig selektiert und alle dort im Betrieb befindlichen Anlagen in die Auswertung mit einbezogen wurden. Der Datensatz ähnelt dem aus den Begehungen, und eine anlagenbezogene Auswertung war deshalb im Gegensatz zu den VDKF-Lec-Daten auch hier möglich.

Die Größe der erfassten Anlagen reichte von 3,5 kg bis 220 kg, wobei etwa 60% der Anlagen zwischen 10 kg und 100 kg Füllmenge aufwiesen, knapp 30% weniger als 10 kg und nur etwa 10% mehr als 100 kg (Abbildung 42).

Die Anlagen wurden von 24 verschiedenen Serviceunternehmen betreut.

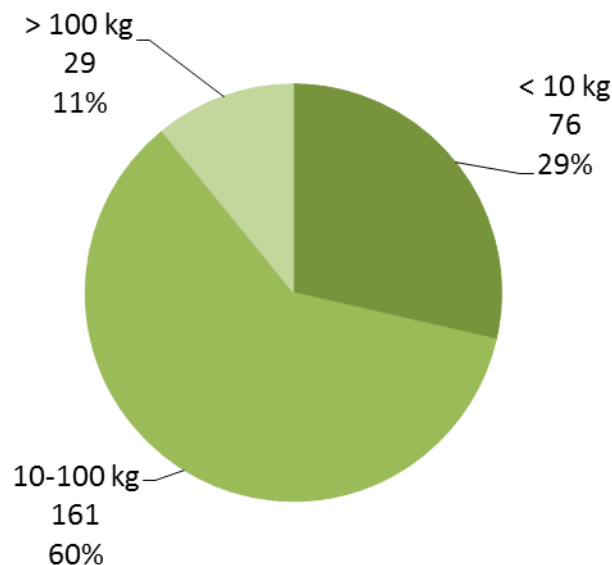


Abbildung 42: Anlagen unter 10 kg, zwischen 10 und 100 kg und über 100 kg Füllmenge im Discounter-Datensatz (Füllmenge, Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl).

Die Gesamtfüllmenge der 266 im Jahr 2013 erfassten Anlagen betrug etwas über 10.000 kg (Abbildung 43). 34 der 266 erfassten Anlagen wurden im erfassten Zeitraum nachgefüllt. Im Datensatz enthalten waren hauptsächlich Raumklimageräte (2013: 115), gefolgt von Zentralanlagen (2013: 90) und Verflüssigungssätzen (2013: 61; Tabelle 23).

Auf Kältemittel bezogen, ergibt sich das folgende Bild: R404A war das am häufigsten verwendete Kältemittel im Datensatz; etwa die Hälfte der Anlagen wurde damit betrieben (Abbildung 44). Als nächstes folgten R407C (25%), R410A (18%) und zuletzt R134a (7%).

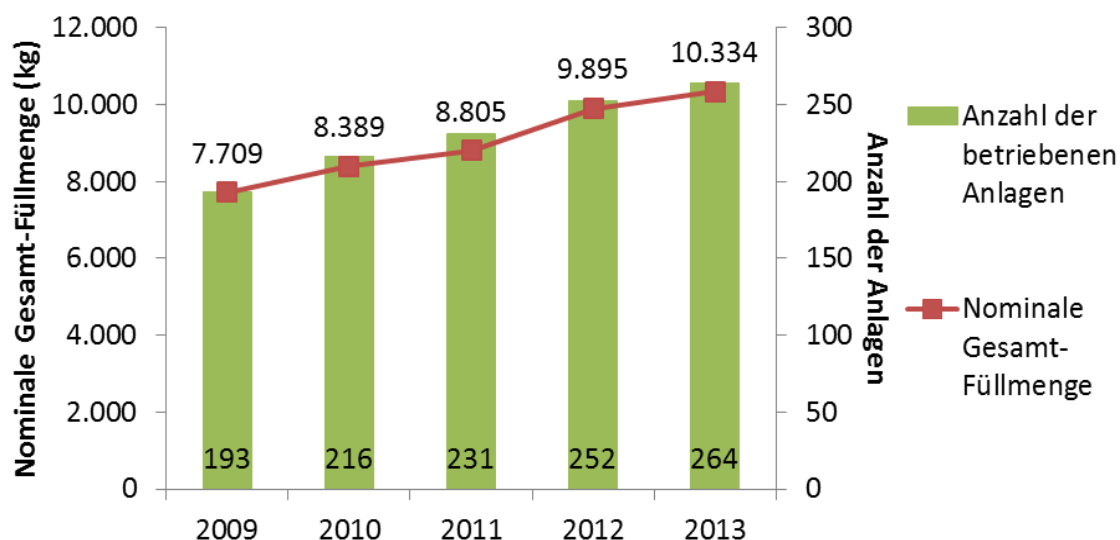


Abbildung 43: Nominale Gesamt-Füllmenge und Anzahl der betriebenen Anlagen in den Jahren 2009 bis 2013 im Discounter-Datensatz.

Tabelle 23: Anzahl der sich in Betrieb befindlichen Anlagen pro Jahr, Anlagentyp und Anlagengröße (2013) im Discounter-Datensatz.

	Anzahl der Anlagen								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013			
						Gesamt	< 10 kg	10-100 kg	> 100 kg
Zentral	74	78	80	86	90	90	0	61	29
Multisplit-/VRF	79	89	100	108	113	115	45	70	0
Verflüssigungssatz	40	49	51	58	61	61	31	30	0
Gesamt	193	216	231	252	264	266	76	161	29

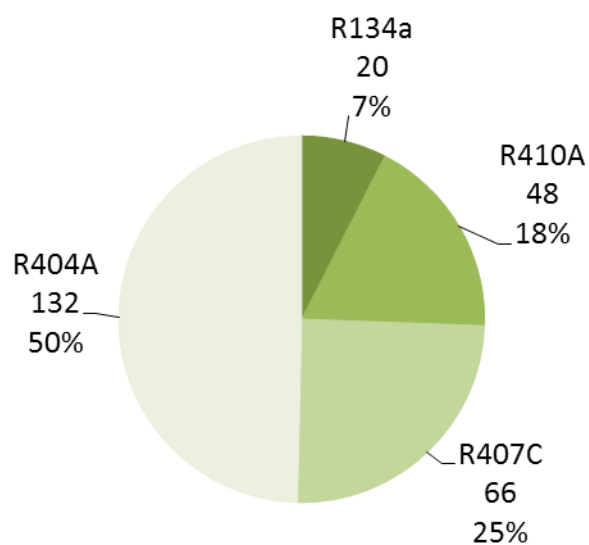


Abbildung 44: Anzahl der Anlagen im Discounter-Datensatz, die mit den Kältemitteln R134a, R410A, R407C und R404A betrieben werden (Kältemittel, Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl).

Tabelle 24: Anzahl der Klimaanlage, Verflüssigungssätze und Zentralanlagen mit bestimmten Kältemitteln im Discounter-Datensatz. Das pro Anlagentyp am häufigsten verwendete Kältemittel ist hervorgehoben.

	Multisplit-/VRF	Verflüssigungssatz	Zentral
R404A	1	56	75
R134a	0	5	15
R407C	66	0	0
R410A	48	0	0

7.2.3.1 Nachfüllmengen und -raten

Die Discounter-Daten wiesen für die Jahre 2008 bis 2013⁵⁸ eine jährliche Gesamtnachfüllrate von 2,73% auf. In den einzelnen Jahren lag der Anteil meist leicht unter diesem Wert - mit Ausnahme des Jahres 2011, für das ein Anteil von annähernd 5,4% festgestellt wurde (Abbildung 45).

Die im Discounter-Datensatz verzeichneten durchschnittlichen jährlichen Nachfüllmengen pro Anlage stiegen absolut betrachtet von 0,80 kg im Jahr 2009 auf 0,88 kg im Jahr 2012 an. Für das Jahr 2011 waren allerdings sogar 2,04 kg an Nachfüllmenge pro erfasste Anlage eingetragen.

Der Anteil der Anlagen im Datensatz, die nachgefüllt wurden, nahm zunächst leicht zu - von etwa 2,6% im Jahr 2009 auf etwa 3,6% im Jahr 2012 (Abbildung 47). 2013 wurden bis einschließlich August allerdings schon 4,17% der Kreisläufe nachgefüllt. Auf das ganze Jahr 2013 hochgerechnet, ergab sich dabei eine jährliche Nachfüllrate pro Anlage von 5,6%.

Für Anlagen mit R410A und R407C wurden keine Nachfüllmengen verzeichnet (Abbildung 48). Anlagen mit R404A wiesen jährlich gemittelt 3,08% Nachfüllrate auf und Anlagen mit R134a eine Rate von 2,82%.

Die jährliche Nachfüllrate pro Anlage betrug 1,74%. Separat betrachtet, lag die jährliche Nachfüllrate bei Verflüssigungssätzen 3,09% und bei Zentralanlagen bei 3,02% pro Anlage (Abbildung 49). Der Unterschied zwischen beiden Anlagentypen war minimal. Die Nachfüllrate für Klimaanlage beruhte auf den Angaben von nur einer Anlage, da überhaupt nur für eine der 90 Klimaanlage eine Nachfüllung aufgezeichnet war. Insgesamt wurden 10 von 61 Verflüssigungssätzen und 23 von 90 Zentralanlagen nachgefüllt.

⁵⁸ Daten für das Jahr 2013 sind das Resultat einer Hochrechnung, siehe Abschnitt über die Methode 7.1.2.1.



Abbildung 45: Jährliche Gesamtnachfüllrate im Discounter-Datensatz in den einzelnen Jahren über alle erfassten Anlagen, ohne Unterscheidung nach Gerätetypen o.ä. (es wurden nur die Anlagen betrachtet, die im jeweiligen Jahr auch betrieben wurden). Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.

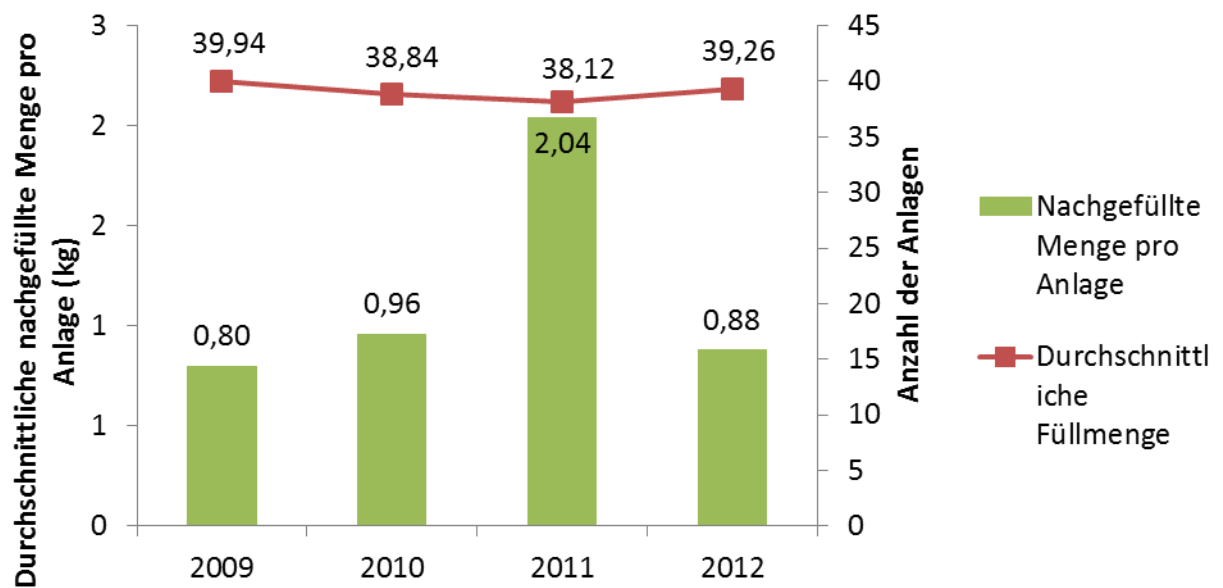


Abbildung 46: Im Discounter-Datensatz erfasste Nachfüllmengen pro betriebene Anlagen sowie durchschnittliche Füllmengen in den Jahren 2009 bis 2012.



Abbildung 47: Anteil der nachgefüllten Anlagen im Discounter-Datensatz. Der Anteil der Hochrechnung im Jahr 2013 ist in Rot angegeben.

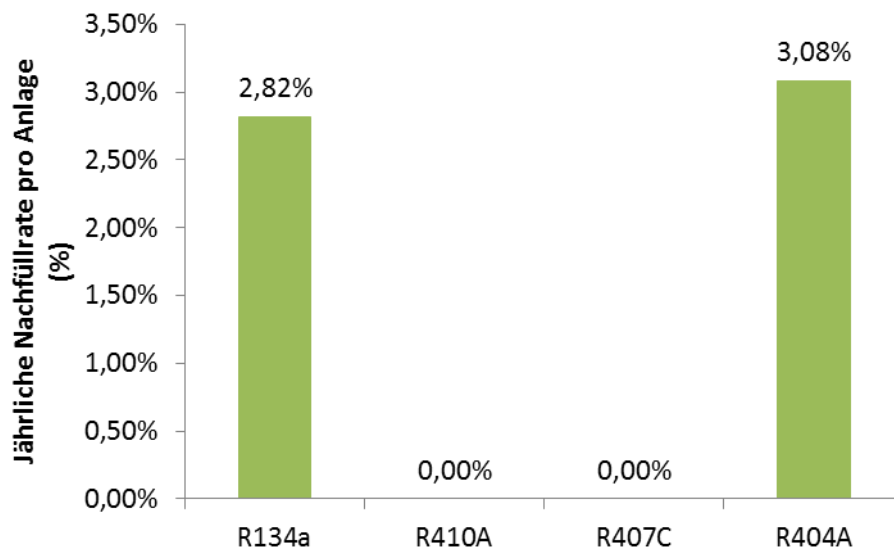


Abbildung 48: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage im Discounter-Datensatz bezogen auf das verwendete Kältemittel.

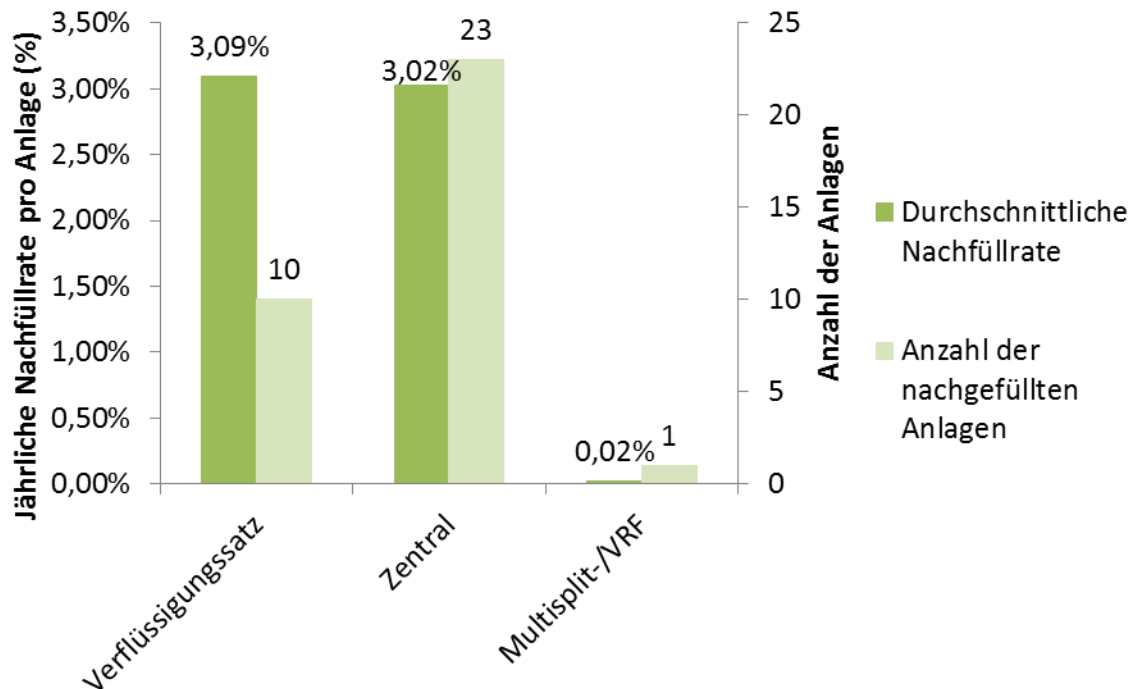


Abbildung 49: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage sowie Anzahl der nachgefüllten Anlagen im Discounter-Datensatz, nach Anlagentyp.

7.2.3.2 Die Rolle von Havarien im Discounter-Datensatz

Auch auf den Discounter-Datensatz wurde die weiter oben in 7.1.1.4 entwickelte Definition von Havarie angewendet. Demnach waren 5 von den 90 Discounter-Zentralanlagen von Havarien betroffen. Für andere Anlagentypen wurden keine Havarien festgestellt. Havarien machten trotzdem 386 kg bzw. 31,7% der nachgefüllten Kältemittelmenge aus. Ohne diese Havarien wäre die übergeordnete jährliche Nachfüllrate der erfassten Anlagen von 1,74% auf 1,32% gesunken (Abbildung 51).

Tabelle 25: Anzahl und Anteil der Anlagen mit Havarien nach Anlagentyp (Discounter-Datensatz).

	Anzahl der Anlagen mit Havarien	Anteil Anlagen mit Havarien
Zentral	5	5,6%
Verflüssigungssatz	0	0,0%
Multisplit-/VRF	0	0,0%

Im Discounter- Datensatz waren 1,24% der jährlichen Nachfüllrate von Zentralanlagen durch Havarien bedingt (Abbildung 50). Insgesamt waren knapp 6% der Zentralanlagen von Havarien betroffen. Da weder bei Verflüssigungssätzen noch bei Klimaanlageanlagen Havarien dokumentiert waren, konnten keine weiteren Angaben zu diesen Anlagentypen gemacht werden.

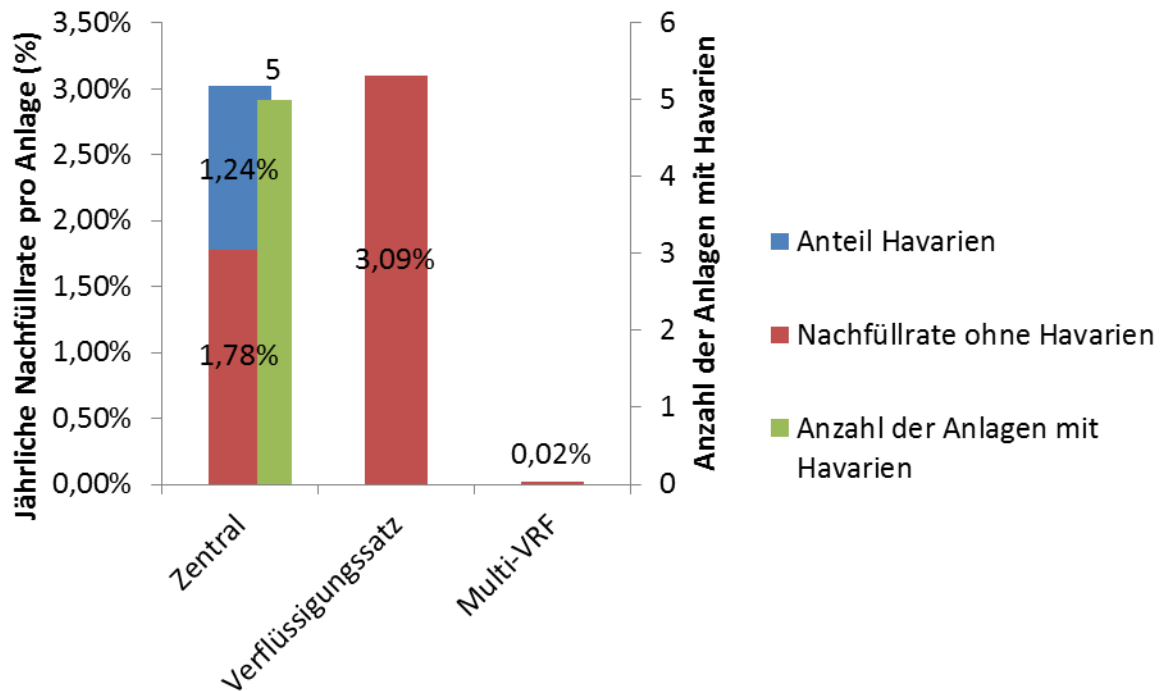


Abbildung 50: Nachfüllraten der einzelnen Anlagentypen mit und ohne Havarien aus den Discounter-Daten sowie die Anzahl der jeweils von Havarien betroffenen Anlagen.

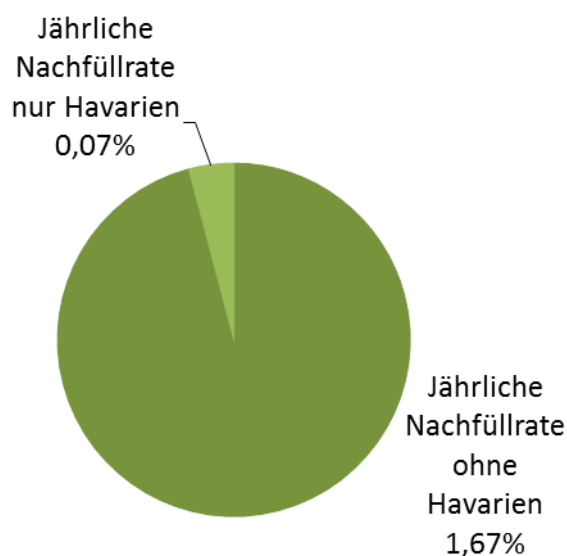


Abbildung 51: Einfluss von Havarien auf die jährliche Nachfüllrate im Discounter-Datensatz.

7.2.3.3 Von Leckagen betroffene Bauteile

Auch im MobiLec-System gibt es die Möglichkeit, Leckageorte zu verzeichnen. Die Aufzeichnungen zeigten, dass Anlagen vor allem auf Grund undichter Bauteile (bei knapp 65% der nachgefüllten Anlagen als undicht genannt) und undichter Verbindungen und Leitungen (bei knapp 60% genannt) Kältemittel verlieren (Abbildung 52).

Da Anlagen unter Umständen mehr als einmal nachgefüllt wurden, waren – wie oben – Mehrfachnennungen möglich. Schraubverbindungen wurden bei der Hälfte aller

nachgefüllten Anlagen (Abbildung 53; 17 Fälle) als undichte Stelle angegeben. Als nächstes genannt wurden Verdichter (in 13 Fällen bzw. bei 38,2% der nachgefüllten Anlagen), Verdampfer und Lötverbindungen (jeweils 6 Fälle oder 17,6%).

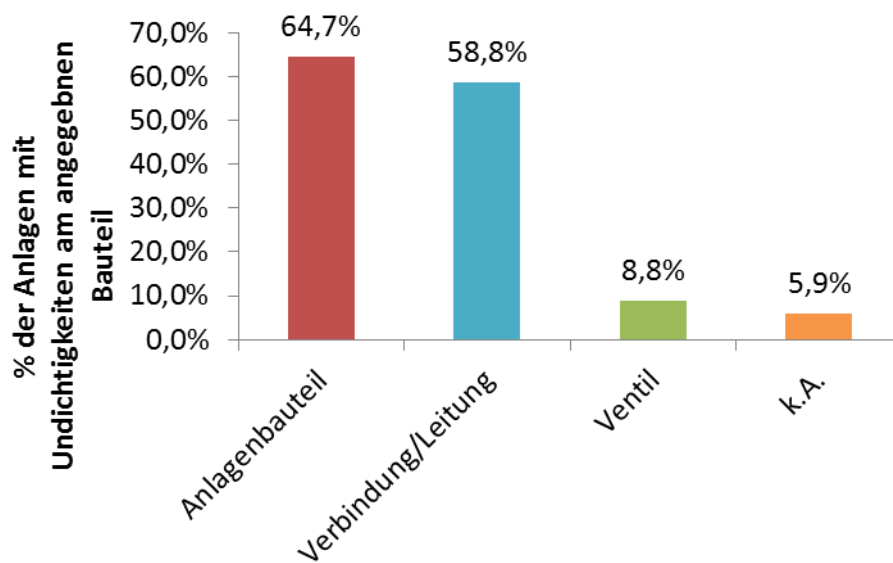


Abbildung 52: Häufigkeit von Undichtigkeiten an Bauteilen, Verbindungsstellen und Leitungen, Ventilen und ohne Angaben - bezogen auf die nachgefüllten Kreisläufe. Datengrundlage: Discounter-Daten.

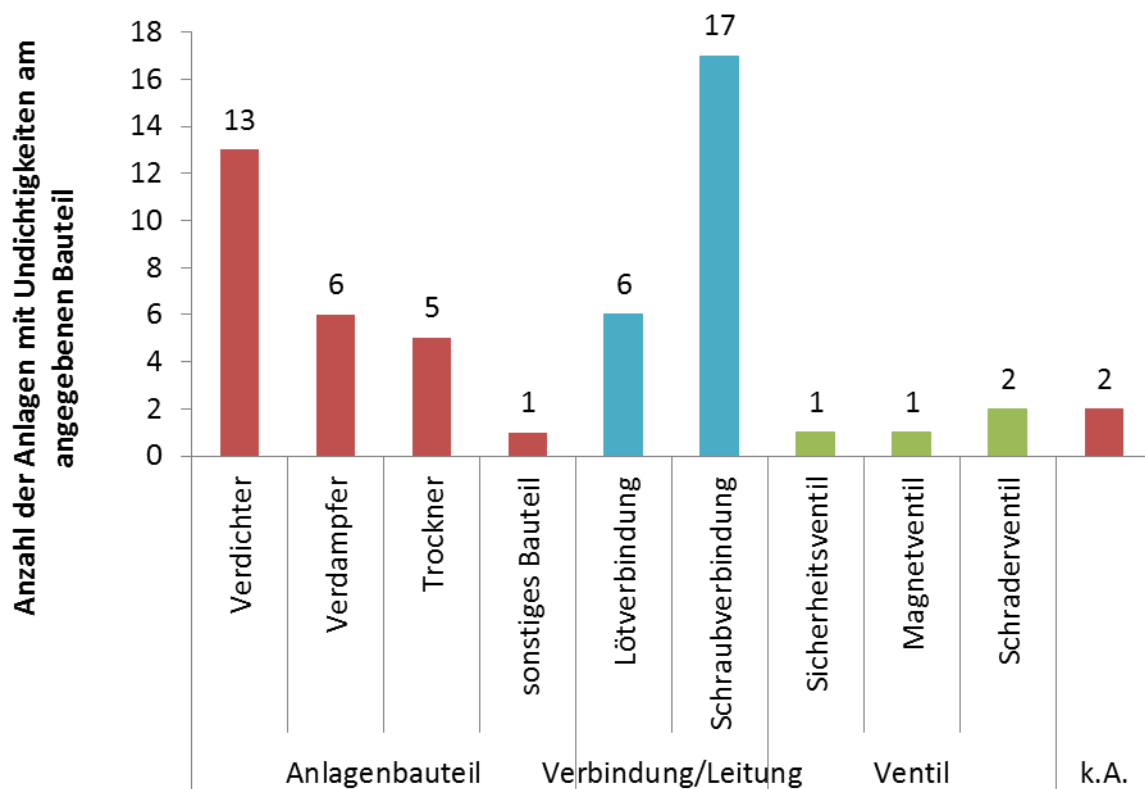


Abbildung 53: Anzahl der Undichtigkeiten an bestimmten Anlagenteilen (nur die tatsächlich nachgefüllten Anlagen wurden berücksichtigt). Datengrundlage: Discounter-Daten.

7.2.3.4 Einhaltung der rechtlichen Vorschriften

Gemäß dem Discounter-Datensatz wurden in fast allen Fällen die maximalen spezifischen Kältemittelverlustraten nach § 3 Abs. 1 der ChemKlimaschutzV eingehalten (siehe 3.1). Ältere sowie relativ neue Kreisläufe über 100 kg wiesen jedoch Nachfüllmengen auf, die zum Teil deutlich über diesen Vorgaben lagen. Hier erfasste Anlagen mit Füllmengen über 100 kg, die nach Juli 2008 in Betrieb genommen wurden, hatten eine Nachfüllrate von 7,82%, obwohl sie laut der Verordnung nur 1% Kältemittel pro Jahr verlieren dürften.

Tabelle 26: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten aller Anlagen im Discounter-Datensatz im Vergleich mit den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten.

	Baujahr vor Juli 2005		Baujahr Juli 2005 bis Juni 2008		Baujahr ab Juli 2008	
	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe
<10 kg	0,00%	8%	0,63%	6%	0,99%	3%
10-100 kg	1,42%	6%	2,38%	4%	1,62%	2%
>100 kg	4,29%	4%	0,36%	2%	7,26%	1%

Wenn nur die nachgefüllten Anlagen betrachtet werden (Tabelle 27) wird deutlich, dass dann alle Anlagen den vorgeschriebenen Grenzwert überschritten haben. Nur relativ alte und kleine Anlagen erfüllten die Vorschrift; für diese Anlagen waren keine Füllmengen im Datensatz verzeichnet.

Tabelle 27: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten der nachgefüllten Anlagen Discounter-Datensatz im Vergleich mit den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten.

	Baujahr vor Juli 2005		Baujahr Juli 2005 bis Juni 2008		Baujahr ab Juli 2008	
	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe
<10 kg	0,00%	8%	6,25%	6%	36,57%	3%
10-100 kg	13,18%	6%	12,10%	4%	10,06%	2%
>100 kg	8,57%	4%	2,86%	2%	25,43%	1%

Werden die Havarien nicht berücksichtigt (Tabelle 28), ergibt sich in etwa dasselbe Bild wie oben (Tabelle 26). Große Anlagen, die vor Juli 2005 oder nach Juli 2008 in Betrieb genommen wurden, verstießen im Durchschnitt gegen die Vorgaben der ChemKlimaschutzV.

Tabelle 28: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten ohne Havarien im Discounter-Datensatz im Vergleich mit den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten.

	Baujahr vor Juli 2005		Baujahr Juli 2005 bis Juni 2008		Baujahr ab Juli 2008	
	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe
<10 kg	0,00%	8%	0,63%	6%	0,99%	3%
10-100 kg	0,36%	6%	2,38%	4%	1,62%	2%
>100 kg	4,29%	4%	0,00%	2%	4,90%	1%

Für fast alle Anlagen wurde eine nach ChemKlimaschutzV ausreichende Anzahl an Dichtheitsprüfungen für das Jahr 2012 verzeichnet (Abbildung 54). Nur 3% der Anlagen (9 Stück) erfüllten diese Vorgabe nicht.

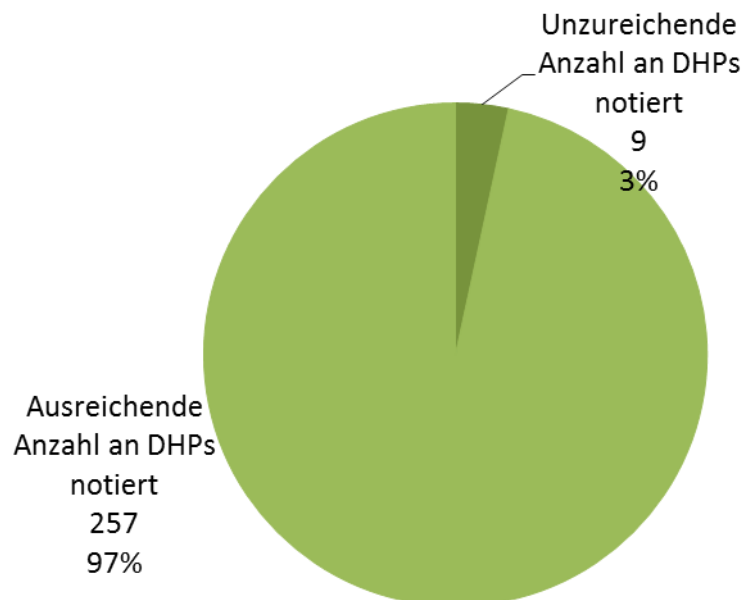


Abbildung 54: Anteil der Anlagen, für die eine laut ChemKlimaschutzV nicht ausreichende Anzahl an Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurde (Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl). Datengrundlage: Discounter-Datensatz.

Alle neun Anlagen, die in 2012 eine nicht ausreichende Anzahl an Dichtheitsprüfungen zeigten, waren Zentralanlagen. Damit fehlten in diesem Jahr DHPs für 10% der Anlagen dieses Typs (Tabelle 29). Sieben der neun Anlagen hatten außerdem eine Füllmenge von über 100 kg. Für etwa ein Viertel der Anlagen dieser Größe fehlten damit DHPs im Jahr 2012 (Tabelle 30).

Tabelle 29: Anlagen des Discounter-Datensatzes, für die 2012 nicht die vorgeschriebene Häufigkeit von Dichtheitsprüfungen dokumentiert wurden - nach Anlagentyp.

	Anzahl der Anlagen mit fehlenden DHPs in 2012	Anteil der gesamten Anlagen dieses Typs
Multisplit-/VRF	0	0,00%
Verflüssigungssatz	0	0,00%
Zentral	9	10,00%

Tabelle 30: Fehlende Dichtheitsprüfungen im Discounter-Datensatz dargestellt nach Größe.

	Anlagen mit fehlenden DHPs in 2012	Anteil an gesamten Anlagen dieser Größe
<10 kg	0	0,00%
10-100 kg	2	1,24%
>100 kg	7	24,14%

Für mehr als die Hälfte der nachgefüllten Kreisläufe waren außerdem nach der Nachfüllung keine DHPs eingetragen (Abbildung 55). Werden außerdem auch Anlagen berücksichtigt, für die solche Prüfungen nur teilweise verzeichnet waren, dann lag dieser Anteil bei 60%.

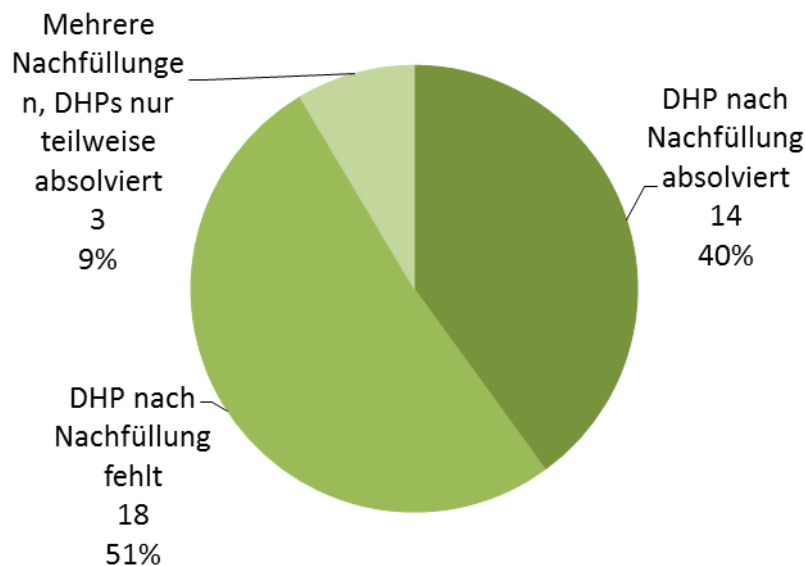


Abbildung 55: Anteil der nachgefüllten Anlagen bei denen die durch ChemKlimaschutzV vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen nach Nachfüllungen dokumentiert wurden (Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl). Datengrundlage: Discounter-Datensatz.

7.2.4 Zusätzliche Daten zweier Einzelhandelsketten

Zwei Lebensmitteleinzelhandelsketten machten für dieses Vorhaben Daten aus ihrem Kälteanlagenbestand für einen Vergleich verfügbar, und zwar von jeweils etwa 1.000 Anlagen.

Die eine Supermarktkette (nachfolgend Kette 1) stellte jährliche Gesamtnachfüllraten aus Kälteanlagen in aggregierter Form für die Jahre 2009-2013 zur Verfügung. Außer den verwendeten Kältemitteln und ihren Anteilen am Gesamtbestand gab es keine weiteren Angaben zu diesen Werten. Die Daten von Kette 1 umfassen neben Zentralanlagen zur Kühlung der Waren auch Raumklimageräte.

Die andere Supermarktkette (Kette 2) machte Füllmengen und Nachfüllmengen von Kälteanlagen⁵⁹ aus dem Jahr 2012 verfügbar. Hier beziehen sich die Daten ausschließlich auf Zentralanlagen.

Die gesamte Füllmenge der Anlagen betrug 482.742 kg. Die Größe der Anlagen reichte von 3 kg bis 2.050 kg. Nur etwa 0,4% der Anlagen hatten eine Füllmenge von unter 10 kg, etwa 4% zwischen 10 und 100 kg und die verbleibenden etwa 95% über 100 kg (Abbildung 56).

Die Anlagen umfassten auch Kaskadensysteme, darunter R134a/CO₂-Kaskaden. In diesen Fällen wurde nur der HFKW-Kreislauf berücksichtigt. Von den etwa 1.000 Anlagen wurden 2012 insgesamt 422 nachgefüllt, und zwar mit 51.282 kg Kältemittel.

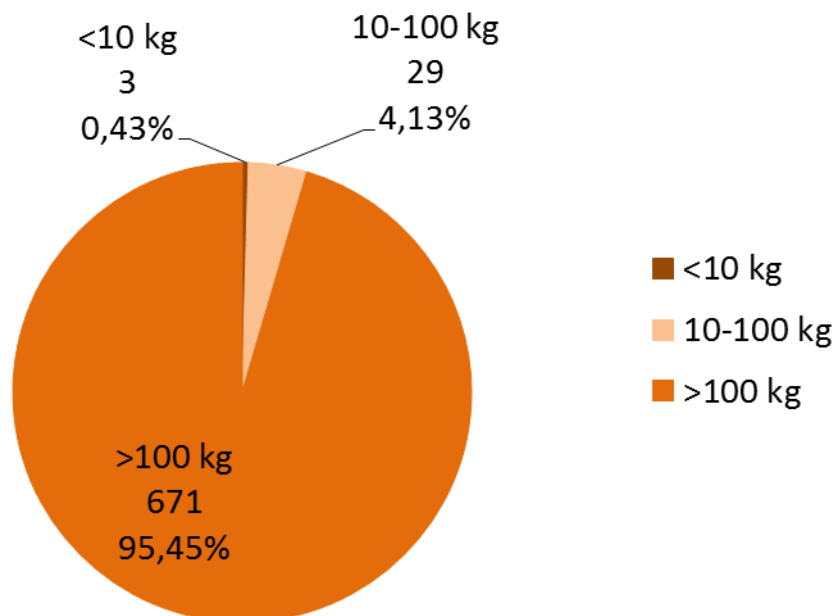


Abbildung 56: Daten einer Supermarktkette (Kette 2) von Anlagen nach Füllmengen: unter 10 kg, zwischen 10 und 100 kg und über 100 kg (oben Füllmenge, darunter Anzahl der Anlagen, unten Anteil an der Gesamtzahl).

R404A war das mit Abstand am häufigsten verwendete Kältemittel im Datensatz von Kette 2. Etwa 98% der Anlagen werden mit diesem Kältemittel betrieben

⁵⁹ Jeder Kältekreislauf einer Kaskade zählt in diesem Fall als eine Anlage.

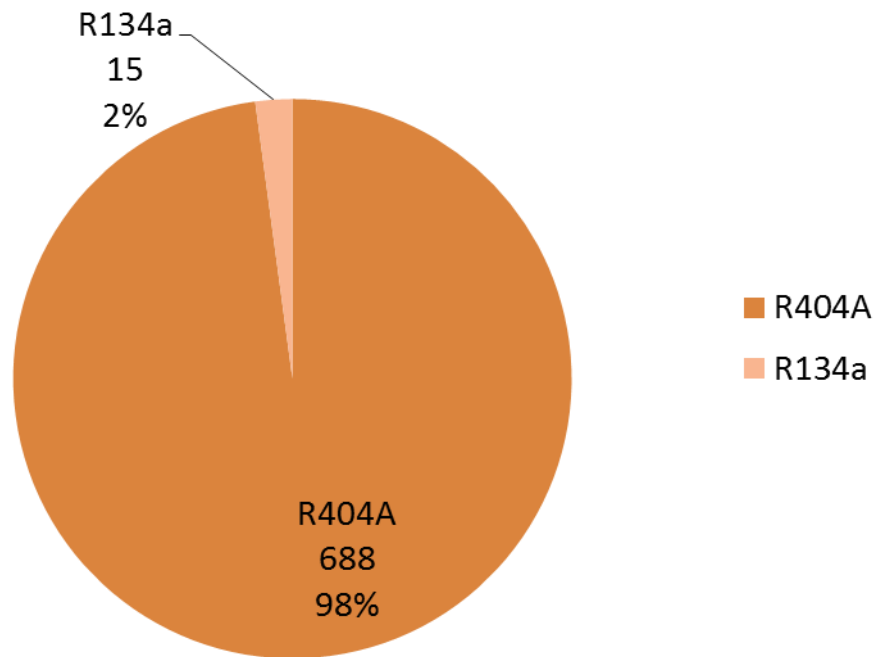


Abbildung 57: Anzahl der Anlagen im Datensatz der zweiten Supermarktkette (Kette 2), die mit den Kältemitteln R134a und R404A betrieben werden (Kältemittel, Anzahl der Anlagen, Anteil an der Gesamtanzahl).

7.2.4.1 Nachfüllmengen und -raten

Die Daten der ersten Supermarktkette (Kette 1) weisen für die Jahre 2009 bis 2013 jährliche Gesamtnachfüllraten zwischen 7,3% und 9,7% auf. Aus dem Datensatz von Kette 2 ergibt sich hingegen eine Gesamtnachfüllrate für 2012 von 10,6% (Abbildung 58). Im Durchschnitt wurden in diesem Datensatz pro betriebene Anlage 2012 ca. 72,95 kg Kältemittel nachgefüllt.



Abbildung 58: Jährliche Gesamtnachfüllrate in den-Datensätzen der beiden Supermarktketten für die Jahre 2009 bis 2013. Daten der Kette 2 liegen nur für 2012 vor.

Auf Kältemittel bezogen ergibt sich eine relativ hohe jährliche Gesamtnachfüllrate für R404A-Anlagen in beiden Datensätzen (9,6% bzw. 10,8%). Der Kette 1-Datensatz weist außerdem eine Nachfüllrate von 8% für R134a Anlagen auf, was deutlich über den 3,4% im zweiten Datensatz liegt. Im letzteren sind allerdings nur 15 Anlagen enthalten, darunter 10 R134a/CO₂-Kaskaden jüngerer Datums.

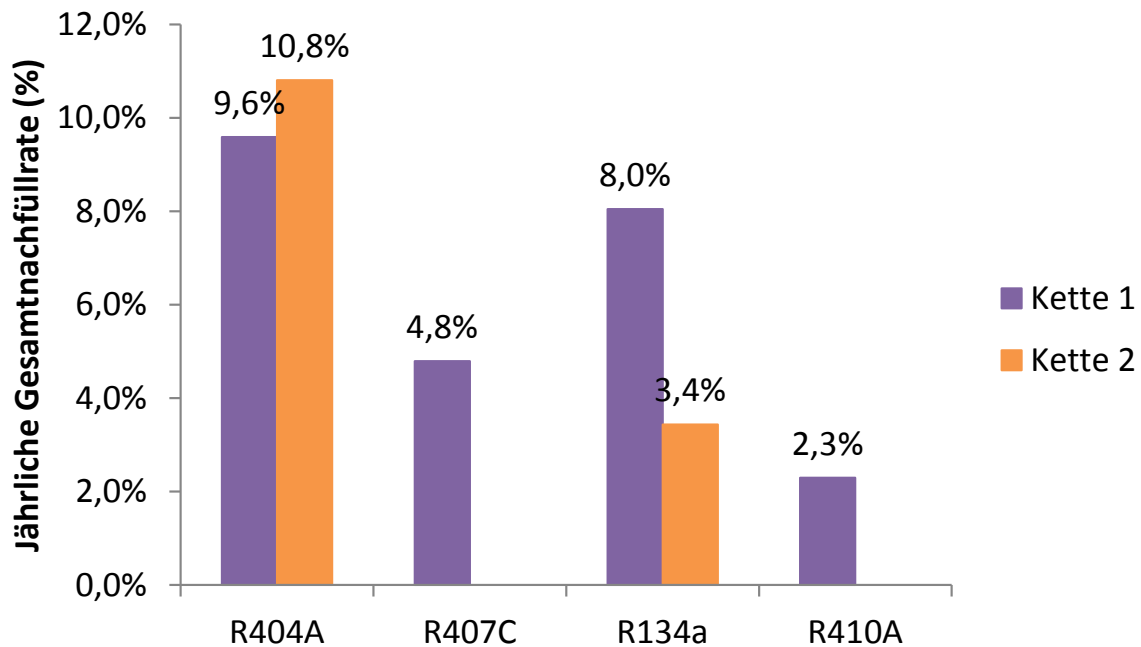


Abbildung 59: Jährliche Gesamtnachfüllrate pro Kältemittel im Datensatz der beiden Supermarktketten.

7.2.4.2 Die Rolle von Havarien

Im Datensatz von Kette 2 spielen Havarien eine eher untergeordnete Rolle. In 10 Anlagen wurden 90% oder mehr der nominalen Füllmenge an Kältemittel nachgefüllt. Darunter befinden sich jeweils eine Anlage unter 10 kg und eine zwischen 10 und 100 kg Füllmenge sowie 8 Anlagen über 100 kg. Insgesamt waren in diesem Fall 11,6% der nachgefüllten Menge durch Havarien bedingt. Geht man davon aus, dass es sich im Datensatz um Zentralanlagen handelt und damit schon bei 50% Kältemittelverlust von einer Havarie auszugehen ist, waren viel mehr, nämlich 34 Anlagen von Havarien betroffen. In diesem Fall waren eine Anlage unter 10 kg, zwei Anlagen zwischen 10 und 100 kg sowie 31 Anlagen über 100 kg betroffen, und 29,7% der nachgefüllten Menge entfallen dann auf Havarien.

Der Datensatz von Kette 1 gibt keinen Aufschluss über die Rolle von Havarien.

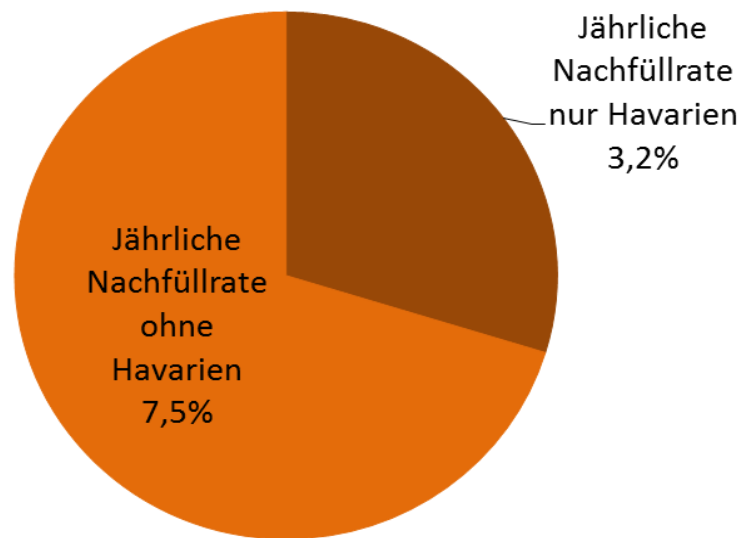


Abbildung 60: Einfluss von Havarien auf die Nachfüllrate im Datensatz von Kette 2 unter der Annahme, dass es sich ausschließlich um Zentralanlagen handelt.

7.2.4.3 Einhaltung der rechtlichen Vorschriften

Gemäß den Daten im Datensatz von Kette 2 wurden im Durchschnitt aller Fälle die maximalen Kältemittelverlusten nach § 3 Abs. 1 der ChemKlimaschutzV überschritten. Für die Durchschnittsberechnung spielt es keine Rolle ob alle, nur die nachgefüllten oder nur die nicht von einer Havarie betroffenen Anlagen einbezogen werden (Tabelle 31, Zeile 1). Es fällt auf, dass die jährliche Nachfüllrate pro Anlage bei neueren Anlagen sogar immer höher liegt als bei den vor 2008 gebauten. Angaben zum Datum der Inbetriebnahme standen nur in ganzen Kalenderjahren zur Verfügung, so dass – anstelle der genaueren Vorgaben der ChemKlimaschutzV – nur Anlagen, die vor 2005, zwischen 2005 und 2008 und ab 2008 in Betrieb genommen wurden, separat betrachtet werden konnten. Bei den tatsächlich nachgefüllten Anlagen lag die Nachfüllrate im Durchschnitt zwischen 50 und 100% höher - im Vergleich mit der Gesamtheit aller Anlagen. Die maximalen Verlusten nach ChemKlimaschutzV wurden dementsprechend noch deutlicher überschritten.

Die Daten der Kette 1 enthalten keine Informationen zu einzelnen Anlagen, und eine Auswertung nach Baujahren war deshalb nicht möglich.

Tabelle 31: Durchschnittliche jährliche Nachfüllraten der Anlagen über 100 kg Füllmenge in den Daten der Kette 2-im Vergleich mit den ChemKlimaschutzV-Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverlustraten. Die erste Zeile enthält die Raten aller Anlagen, die zweite Zeile nur die der nachgefüllten Anlagen und die dritte die Rate aller Anlagen ohne Havarien. Aufgrund der Datengrundlage konnte der Vergleich nur auf Jahre genau angestellt werden.

	Baujahr vor 2005		Baujahr 2005 bis 2008		Baujahr ab 2008	
	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe	Erfasste Nachfüllrate	Vorgabe
Alle Anlagen	10,00%	4%	9,33%	2%	11,86%	1%
Nachgefüllte Anlagen	15,89%	4%	15,94%	2%	22,61%	1%
Ohne Havarien	6,74%	4%	7,19%	2%	7,73%	1%

7.2.5 Erläuterungen zu den Datenquellen

Ein wichtiger Aspekt dieser Studie war die Frage nach der Vergleichbarkeit der verwendeten Datensätze. Um die gewonnenen Resultate gemeinsam interpretieren zu können, ist es daher notwendig, die Vorzüge und Grenzen der drei verschiedenen Datensätze genauer zu betrachten.

7.2.5.1 Die Daten aus den Anlagenbesichtigungen

Ein großer Vorteil der Daten aus den Anlagenbegehungen war deren hohe Zufallswahrscheinlichkeit. Diese war begründet durch das Fehlen jeglicher Filter, wie zum Beispiel die eingeschränkte Erfassung von Anlagen eines bestimmten Betreibers oder von Anlagen, die von einem bestimmten Serviceunternehmen betreut wurden. Die Anzahl der erfassten Anlagen war jedoch vergleichsweise gering und stellte eher eine Momentaufnahme dar.

Des Weiteren ist zu beachten, dass nicht alle Betriebe, mit denen Kontakt aufgenommen wurde, einer Erfassung ihrer Anlagendaten zugestimmt hatten (siehe auch 6.3). So wurden 352 Betriebe kontaktiert, aber nur die Anlagen von 62 Betrieben (also 309 Anlagen von denen 291 in der Datenauswertung berücksichtigt werden konnten) wurden letztendlich auch begangen (siehe Abbildung 61). Selbst wenn ein Betrieb kooperierte, kam es mitunter vor, dass bestimmte Anlagen nicht erfasst bzw. besichtigt werden durften.

7.2.5.2 Die elektronischen Daten aus VDKF-Lec

Der bedeutendste Vorteil der Daten aus dem VDKF-Lec System war die sehr hohe Anzahl der Anlagen, die die Datengrundlage bildete. Der Auswertung der VDKF-Lec-Daten in dieser Studie lagen Aufzeichnungen von knapp 35.000 Anlagen zugrunde. Gemäß Angaben des VDKF⁶⁰ wurden in Deutschland mit VDKF-Lec insgesamt etwa 500.000

⁶⁰ Aussage des VDKF gegenüber dem Umweltbundesamt am 11.10.2013.

Anlagen betreut, welche sowohl Anlagen mit Füllmengen von weniger als auch von mehr als 3 kg umfassten.

Hier wurden nur stationäre Kälte- und Klimaanlage über 3 kg Füllmenge betrachtet, und es war davon auszugehen, dass ein Teil der 500.000 Anlagen somit nicht mit in die Auswertung aufgenommen werden konnte. Die Freigabe der Anlagendaten zur statistischen Auswertung durch den VDKF erfolgte außerdem auf freiwilliger Basis, und sowohl der Betreiber als auch das Wartungspersonal hatten die Möglichkeit dies zu unterbinden (insgesamt waren laut VDKF die Daten von 74.000 Anlagen zur Auswertung freigegeben; diese Zahl beinhaltete auch mobile Anlagen und stationäre Anlagen mit Füllmengen von unter 3 kg).

Trotz dieser Einschränkungen beruhten die Angaben auf immerhin 7% aller mit VDKF-Lec erfassten Anlagen.

Ein ausgesprochener Nachteil dieses Datensatzes war jedoch, dass nur eine bestimmte Probe von Anlagen – nämlich solche, die vom Betreiber und/oder Techniker zur Auswertung freigegeben wurden – zur Verfügung stand. Dieser Umstand birgt die Gefahr, dass ausgewählt dichte Anlagen im Datensatz überrepräsentiert waren.

7.2.5.3 Die elektronisch erfassten Daten im Discounter-Datensatz

Der bedeutende Vorzug der Discounter-Daten war die zufällige Auswahl der erfassten Anlagen. Ein Nachteil war hingegen, dass nur bestimmte Anlagenarten erfasst wurden, nämlich solche, die bei der Discounterkette Verwendung finden. Außerdem sollte auch berücksichtigt werden, dass, obwohl sie von verschiedenen Filialen stammen, die Daten trotzdem einer zentral organisierten und sehr homogenen Wartung und Instandhaltung unterlagen. Hier sollte deshalb auch erwähnt werden, dass sich das Unternehmen öffentlich zu einer umweltschonenden Kühlung in seinen Filialen bekennt und in der Vergangenheit Innovationen in diesem Bereich mitfinanziert hat.

7.2.5.4 Die zusätzlichen Daten der zwei Einzelhandelsketten

Ähnlich wie bei den Discounter-Daten waren auch in den Supermarkt-Daten fast ausschließlich Zentralanlagen im Datensatz enthalten. Auch hier unterlagen die Anlagen – und damit die Daten – einer zentral organisierten und sehr homogenen Wartung und Instandhaltung.

7.2.5.5 Schlussfolgerungen

Ein direkter Vergleich der hier untersuchten Datensätze wurde bewusst nur in bestimmten Fällen angestellt. Der deutliche Unterschied in der Anzahl der erfassten Anlagen zwischen den Datensätzen ist – zusätzlich zu den unterschiedlichen Auswertungsmöglichkeiten – als einer der wichtigsten Gründe dafür zu nennen. Lediglich die resultierenden Trends hinsichtlich der Nachfüllraten und mögliche Erklärungsansätze wurden deshalb miteinander verglichen. Auf einen absoluten Vergleich der gewonnenen Ergebnisse wurde verzichtet.

Im Übrigen ist darauf hinzuweisen, dass eine einfache Hochrechnung auf den gesamten Anlagenbestand von ca. 41 Millionen Anlagen (siehe 4.1; ohne Haushaltskühl- und -gefriergeräte) nicht möglich ist, da keine repräsentative Auswahl der Stichproben möglich ist.

Auch ist zu beachten, dass es eine kleine Schnittmenge zwischen den in der Anlagenbegehung erfassten Daten und den im VDKF-Lec Datensatz vorhandenen Daten geben könnte. Drei der Betriebe deren Anlagen begangen wurden, benutzen VDKF-Lec für die Dokumentation der Anlagen, wobei nicht klar war, ob diese Daten auch für die statistischen Auswertungen des Verbandes freigegeben worden waren. Eine kleine Schnittmenge gab es auch bei den Discounter-Daten und bei den Daten einer Supermarktkette, da Anlagen in drei Discounter-Märkte und drei Supermarktfilialen auch im Rahmen der Anlagenbegehungen erfasst wurden (Abbildung 61).

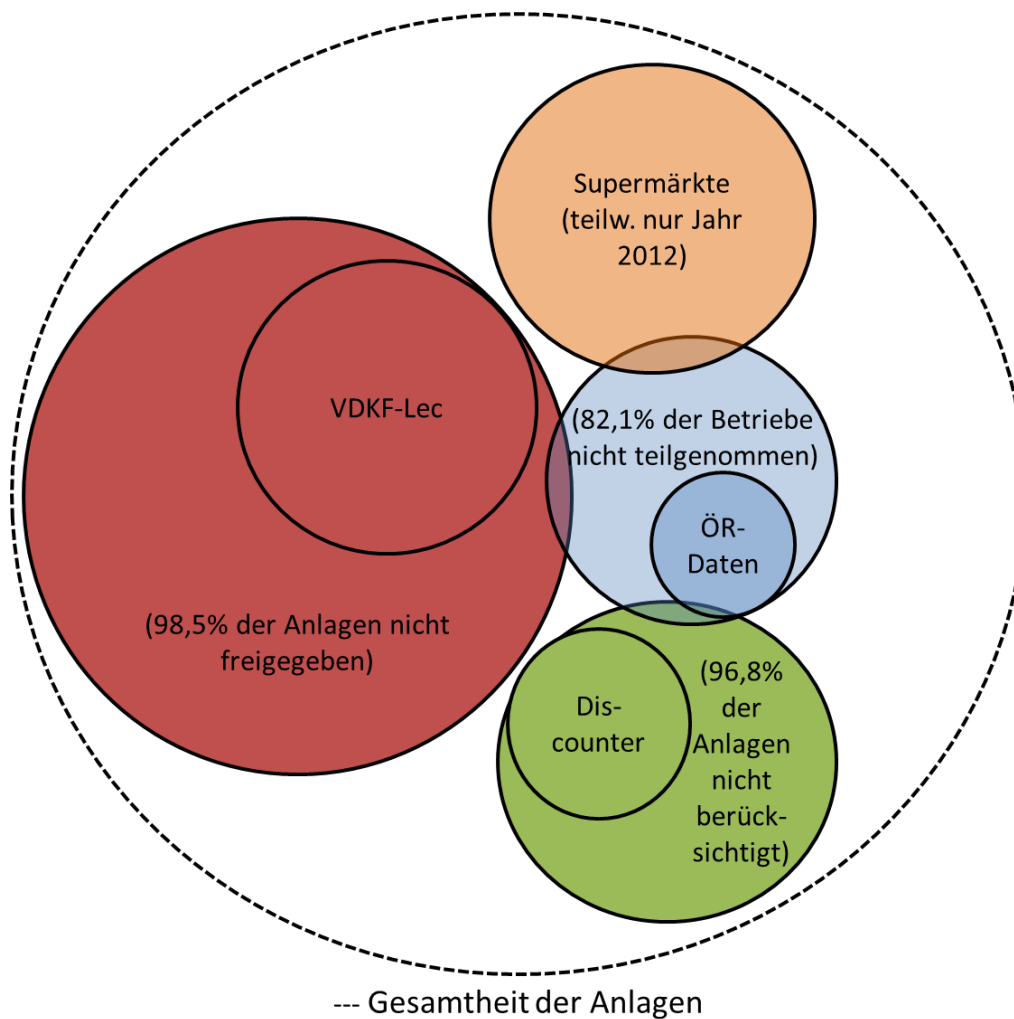


Abbildung 61: Verhältnis der drei Datensätze zueinander. Größenverhältnisse sind nicht maßstabsgetreu wiedergegeben. Der Anteil der freigegebenen bzw. berücksichtigten Anlagen bzw. teilgenommenen Betriebe ist in Klammern angegeben. „Freigegeben“ bezieht sich auf die freiwillige Freigabe der über das VDKF-Lec erfassten Anlagendaten auf Seiten des Anlagenbetreibers. „Nicht berücksichtigt“ bezieht sich auf die Anlagen des Discounters, die nicht in der zufälligen Auswahl enthalten sind. „Teilgenommen“ bezieht sich darauf, dass nicht jeder kontaktierte Betreiber einer Anlagenbegehung zugestimmt hat.

7.2.6 Grenzen der Untersuchung

Wie weiter unten ausführlicher beschrieben (siehe 7.3.1), hing die Qualität der Ergebnisse dieser Datenauswertung stark von den tatsächlich dokumentierten Informationen bei den einzelnen Anlagen ab. Es kann sein, dass Nachfüllmengen, aber auch durchgeführte Dichtheitsprüfungen nicht dokumentiert wurden und somit keinen Eingang in die Datenauswertung finden konnten. Aufgrund der – relativ zur erfassten Anzahl der

Anlagen – geringen Anzahl der Nachfüllungen verteilen sich die Daten aus der Anlagenbegehung nicht normal (Abbildung 62). Aussagen mit statistischer Signifikanz sind daher nur bedingt möglich. Lediglich eine Erfassung über einen längeren Zeitraum könnte diese Grenze der Untersuchung überwinden. Erst dann werden voraussichtlich für einen größeren Anteil von Anlagen Nachfüllmengen aufgezeichnet sein, so dass eine Normalverteilung möglich ist. Dies ist allerdings nur der Fall, wenn der menschliche Faktor Dokumentation besser kontrolliert werden kann.

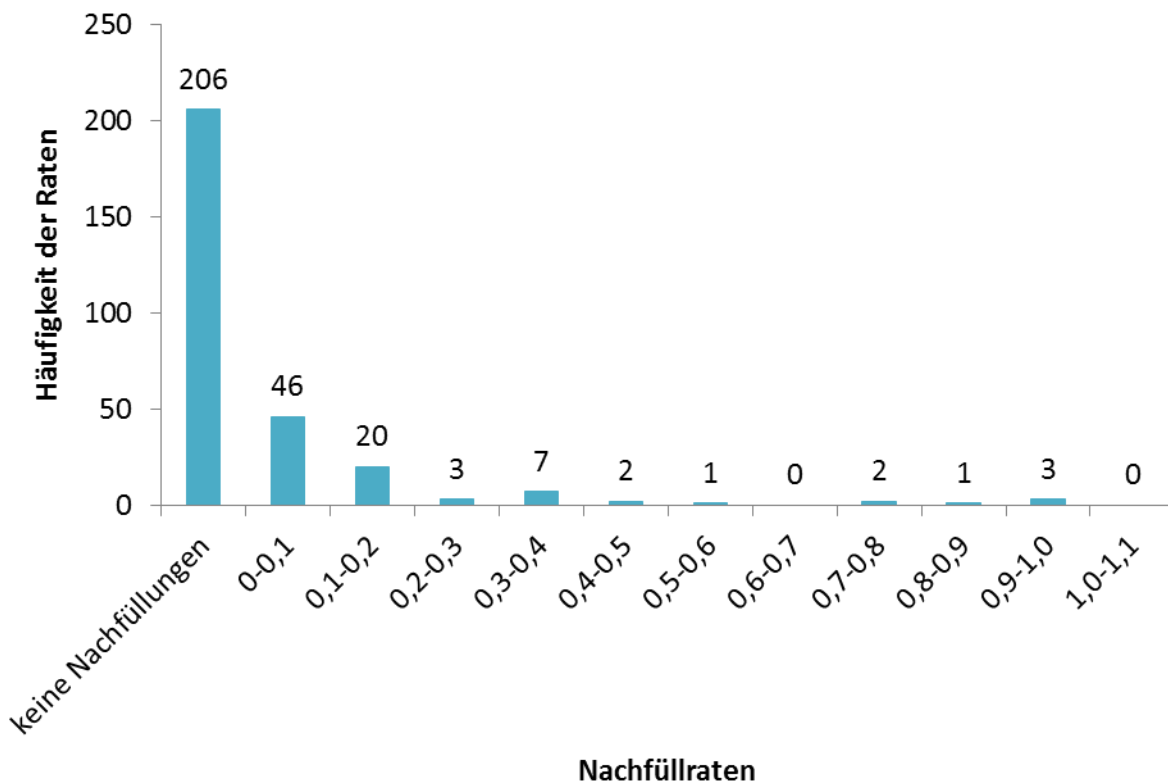


Abbildung 62: Verteilung der Nachfüllraten in den Daten aus den Anlagenbegehungen.

7.3 Auswertung der Daten

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den drei Datensätzen gegenübergestellt. Wo möglich, werden außerdem Erkenntnisse aus der Literatur verwertet und es wird auf zusätzliche Datenquellen zurückgegriffen.

7.3.1 Dokumentation als Faktor in der Auswertung

§ 3 Abs. 2 der ChemKlimaschutzV gibt vor, dass Betreiber von Anlagen über „die Dichtheitsprüfungen und etwaige Instandsetzungsarbeiten“ Aufzeichnungen zu führen und aufzubewahren haben. Die Qualität dieser Dokumentation hat einen erheblichen Einfluss auf die hier gewonnenen Ergebnisse. So verringert beispielsweise eine lückenhafte Dokumentation der Nachfüllmengen während der Wartung und Instandhaltung in der Erhebung rechnerisch die jährlichen Nachfüllraten der Anlagen. Es ist daher sehr wichtig, die hier gewonnenen Ergebnisse mit Rücksicht darauf zu interpretieren.

Obwohl dies für alle drei Datensätze gilt, werden im Folgenden hauptsächlich Hinweise auf unvollständige Dokumentation im Datensatz aus den Anlagenbegehungen diskutiert. Die VDKF-Lec-Daten lassen – bis auf eine oder zwei Ausnahmen – keine detaillierten Rückschlüsse auf die Qualität der Dokumentation zu. Dies ist vor allem durch das Format bedingt, in dem die Daten zur Verfügung standen. Auch die Discounter-Daten enthielten diesbezüglich nur wenige schlüssige Hinweise.

Wie bereits erwähnt, konnten nicht alle im Datensatz aus den Anlagenbegehungen erfassten Anlagen in die tatsächliche Auswertung einbezogen werden. Für die nicht einbezogenen Kreisläufe fehlten so zentrale Angaben wie die nominale Füllmenge. Es liegt nahe, dass bei solchen Anlagen auch weitere Angaben, wie Nachfüllmengen, fehlen.

Abbildung 63 zeigt, dass bei mehr als einem Viertel der nachgefüllten Anlagen aus den Anlagenbegehungen keine Angaben zu undichten Stellen dokumentiert waren. Obwohl diese Informationen laut Gesetzeslage nicht ausdrücklich dokumentiert werden müssen, können sie besonders bei Dichtheitskontrollen sehr hilfreich sein. Im Normalfall ist auch davon auszugehen, dass undichte Stellen identifiziert werden, um erneute Leckagen zu vermeiden.

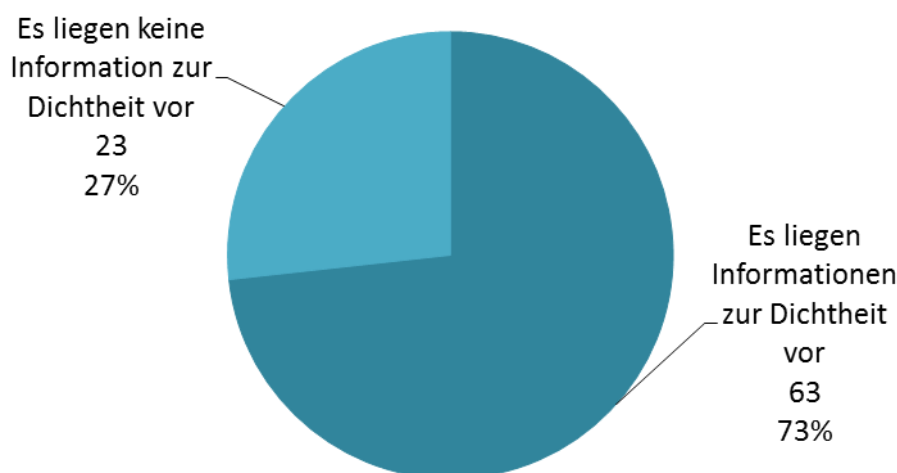


Abbildung 63: Dokumentation der undichten Stellen bei nachgefüllten Kreisläufen. Datengrundlage: Anlagenbegehungen.

Häufig fehlten Informationen zu installierten Leckageerkennungssystemen (Tabelle 32). Dies war auch bei der Dokumentation von Instandsetzungsarbeiten festzustellen, die oft nicht in den Aufzeichnungen vermerkt waren (Tabelle 33). Bei solchen Arbeiten handelt es sich um Reparaturen sowie Ergänzungen und Veränderungen an den Anlagen in Folge von Störungen, die eine Inspektion hinausgehen.

Tabelle 32: Informationen über ein Leckageerkennungssystem (wenn installiert). Datengrundlage: Anlagenbegehungen.

Informationen zu Leckageerkennungssystem vorhanden?	
Ja	Nein
5	36

Tabelle 33: Dokumentation der Instandsetzung in den Daten aus den Anlagenbegehungen.

Instandsetzung dokumentiert?		
Ja	Nein	Anlagen zu neu
84	187	4

Abbildung 16 (Seite 74) lieferte einen weiteren Hinweis darauf, dass die Dokumentation über den Betrieb der erfassten Anlagen zum Teil unvollständig war. Dort wurde gezeigt, dass der Anteil der nachgefüllten Anlagen am Anlagenbestand über die Jahre erheblich und stetig angestiegen war – von etwa 2% im Jahr 2008 auf über 8% im Jahr 2012. Auch in den Discounter-Daten ist diese Zunahme erkennbar (siehe Abbildung 47). Eine ausreichende Erklärung für diesen Trend in den Dokumentationen haben wir vorerst nicht, denn es wäre naheliegender, dass der Anteil der Anlagen, die eine Nachfüllung benötigen, über die Jahre hin etwa konstant bleibt oder sich sogar – aufgrund höherwertiger technischer Ausstattung und regelmäßiger Wartung – verringert. Es ist jedoch möglich, dass der vorliegende Trend das Resultat von über die Jahre verbesserter Dokumentation der Anlagen im Zuge der Umsetzung der ChemKlimaschutzV ist⁶¹. Eine erneute Untersuchung in den Jahren 2015/2016 könnte diesen Umstand besser beleuchten.

Ganz ähnliche Probleme mit der Zuverlässigkeit der Dokumentation ließen sich auch anderswo finden: Während der Debatte um die EU F-Gase-Verordnung (2006) war häufig das niederländische STEK-System genannt worden, das laut offiziellen Angaben erhebliche Emissionsminderungen von F-Gasen in den Niederlanden hervorgebracht hat. In einer Studie des Institute for European Environmental Policy (IEEP)⁶² aus dem Jahr 2005 über das STEK-System ist davon die Rede, dass nur die Daten eines Bruchteils der stationären Kälteanlagen in Bewertungen eingeflossen waren, und zwar nicht aufgrund eines begrenzten Zeitrahmens oder fehlender Ressourcen, sondern weil viele Betreiber ihre Daten nicht mitteilen wollten. Hinzu kam, dass nur für etwa 11% der Anlagen, für die Daten bereitgestellt wurden, überhaupt Emissionen angegeben wurden – eine

⁶¹ Diese Annahme wird auch durch die im VDKF-Lec-Datensatz enthaltenen jährlichen Gesamtnachfüllraten unterstützt. In Abbildung 33 (Seite 59) ist zu erkennen, dass in dieser Auswahl die Nachfüllraten über die Jahre 2008 bis 2010 stetig ansteigen, bevor sie dann langsam bis 2012 abnehmen. Dies ist auch der Fall, wenn man im VDKF-Lec-Datensatz die Anlagen nach Alter getrennt betrachtet (Abbildung 34). Auffällig ist dabei, dass 2009 die Raten deutlich unter denen für 2010 und 2011 liegen, unabhängig vom Baujahr der Anlagen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Dokumentation der Nachfüllmengen für 2009 nicht vollständig ist.

⁶² Institute for European Environmental Policy (IEEP) 2005: Is STEK as good as reported?, IEEP, Brussels, p. 9.

ähnliche Situation wie in der vorliegenden Studie. Das IEEP nahm an, dass zahlreiche Betreiber mit hohen Emissionen aus Angst vor strengeren Auflagen ihre Mitarbeit verweigerten. Außerdem war es naheliegend anzunehmen, dass Serviceunternehmen, die sorgfältig Leckage-Stellen ausfindig machen und abdichten, auch die Aufzeichnungen ordnungsgemäß führen. Unternehmen, die weniger gründlich arbeiten und dadurch höhere Nachfüllraten verursachen, waren möglicherweise auch weniger gründlich bei der Dokumentation von Nachfüllungen. Da die Grundlage für die berechneten Nachfüllraten ausschließlich dokumentierte Nachfüllungen waren, kann es sein, dass gerade eben Anlagen mit besonders hohen Kältemittel-Verlusten statistisch als Anlagen mit 0% Nachfüllung behandelt wurden. Der menschliche Einfluss spielte also eine große Rolle. Eine Kontrolle von Seiten des Betreibers z.B. anhand der gekauften Kältemittelmenge könnte helfen, findet aber nur selten statt.

Es gibt für den Techniker, der eine Nachfüllung durchgeführt hat (häufig unter Zeitdruck), nur wenige Anreize, den zusätzlichen Aufwand der Dokumentation zu betreiben.

Zusammenfassend sollte daher darauf hingewiesen werden, dass die Resultate der Auswertung von Daten aus den Anlagenbegehungen zu einem gewissen Teil von einer lückenhaften Dokumentation beeinflusst sein können und dahingehend interpretiert werden sollten.

7.3.2 Nachfüllmengen und -raten im Vergleich

Eine der zentralen Fragen dieser Studie war die nach den Nachfüllmengen beziehungsweise Nachfüllraten der Kälteanlagen.

Ein Vergleich zwischen den verschiedenen Datensätzen zeigte, dass die Anzahl der Nachfüllungen pro Anlage in den Aufzeichnungen aus den Anlagenbegehungen, dem VDKF-Lec System und dem Discounter zwischen 2008 und 2010/11 relativ stark angestiegen ist und danach stagnierte bzw. leicht zurückging. Diese Entwicklung ist auch im VDKF-Lec Datensatz sehr deutlich zu beobachten.

Eine mögliche Erklärung für den Trend in den Jahren vor 2011 könnte die seit Beginn besser gewordene Dokumentation sein (siehe oben). Eine solche Vermutung liegt nahe, da die Umsetzung neuer Verordnungen von Seiten der Fachbetriebe immer eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Eine Untersuchung des Fortschritts bei der Umsetzung der F-Gase-Verordnung von 2006 in den einzelnen Mitgliedsstaaten hat ergeben, dass dieser Vorgang in 2010 und 2011 noch angedauert hat.⁶³

Nur im Discounter-Datensatz war ein abfallender Trend nach 2011 zu verzeichnen. Es ist daher an dieser Stelle nicht zweifelsfrei möglich, potentielle Effekte der Umsetzung der ChemKlimaschutzV oder F-Gase-Verordnung festzustellen.

Wie oben erwähnt, unterscheiden sich diese Datensätze im Charakter deutlich voneinander, weshalb hier von einem Vergleich der absoluten Werte abgesehen wurde.

⁶³ Schwarz, W., Leisewitz, A., Gschrey, B., Herold, A., Gores, S., Papst, I., Usinger, J., Colbourne, D., Kauffeld, M., Pedersen, P.-H., Croiset, I. 2011: *Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Annexes to the Final Report*, a.a.O., S. 50

In der Literatur konnten wir bislang keine Beschreibungen von Datensätzen verschiedener Jahre finden.

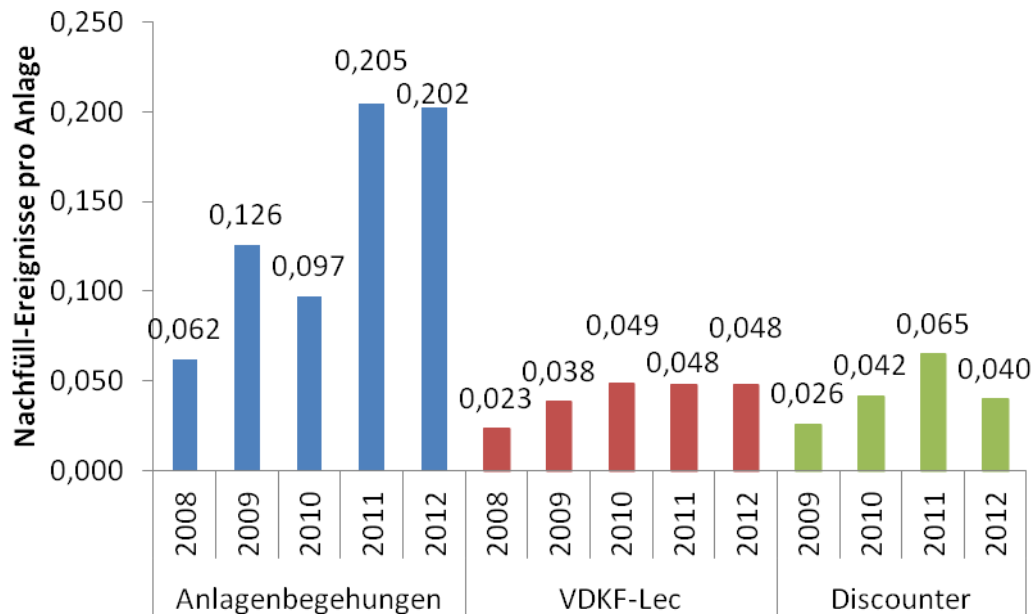


Abbildung 64: Anteil nachgefüllter Kreisläufe in den Datensätzen aus den Anlagenbegehungen, aus dem VDKF-Lec und dem Discounter-Datensatz.

Die Daten aus den Anlagenbegehungen belegen eine höhere jährliche Gesamtnachfüllrate als die beiden anderen Datensätze. Gleichzeitig zeigen alle drei Datensätze einen ähnlichen Verlauf für die jährliche Gesamtnachfüllrate, nämlich einen Anstieg bis etwa 2011 und danach Stagnation bzw. einen Rückgang.

Für alle drei Datensätze ließen sich jährliche Gesamtnachfüllraten berechnen (siehe Abbildung 65). Auch hier fiel auf, dass der Verlauf der Nachfüllraten jeweils annähernd einen Bogen beschreibt, der zwischen 2010 (VDKF-Lec) und 2011 (Anlagenbegehungen und Discounter-Daten) seinen Höhepunkt erreicht. Danach sinken die Nachfüllraten in allen drei Datensätzen wieder ab. Eine mögliche Verzögerung bei der Umsetzung der rechtlichen Vorgaben im Zusammenhang mit der Dokumentation wurde schon als möglicher Faktor für den ansteigenden Trend vor 2010/2011 genannt (siehe oben). An dieser Stelle war jedoch bei allen Datensätzen auch ein deutlicher abfallender Trend danach zu verzeichnen, der auf Verbesserung der Dichtheit der Anlagen schließen lässt.

Auf einen direkten Vergleich der absoluten Werte in den drei Datensätzen wurde verzichtet.

Nur die Daten aus den Anlagenbegehungen und zu einem gewissen Maße der Discounter- sowie der Supermärkte-Datensatz ließen Rückschlüsse auf die Nachfüllraten nach den fünf wichtigsten Anlagentypen zu (Abbildung 66). Wie schon oben erwähnt, zeigten Zentralanlagen die höchste Nachfüllrate (7,6%) bei den Anlagen aus den Anlagenbegehungen, gefolgt von Verflüssigungssätzen (5,2%) und Industrieanlagen (4,7%). Flüssigkeitskühlsätze (Chiller) hatten die niedrigste Nachfüllrate (3,4%). Die Raten für Verflüssigungssätze und Zentralanlagen im Discounter-Datensatz lagen beide bei etwas über 3%. Klimaanlage wiesen im Datensatz aus den Begehungen eine Rate von 3,8% auf.

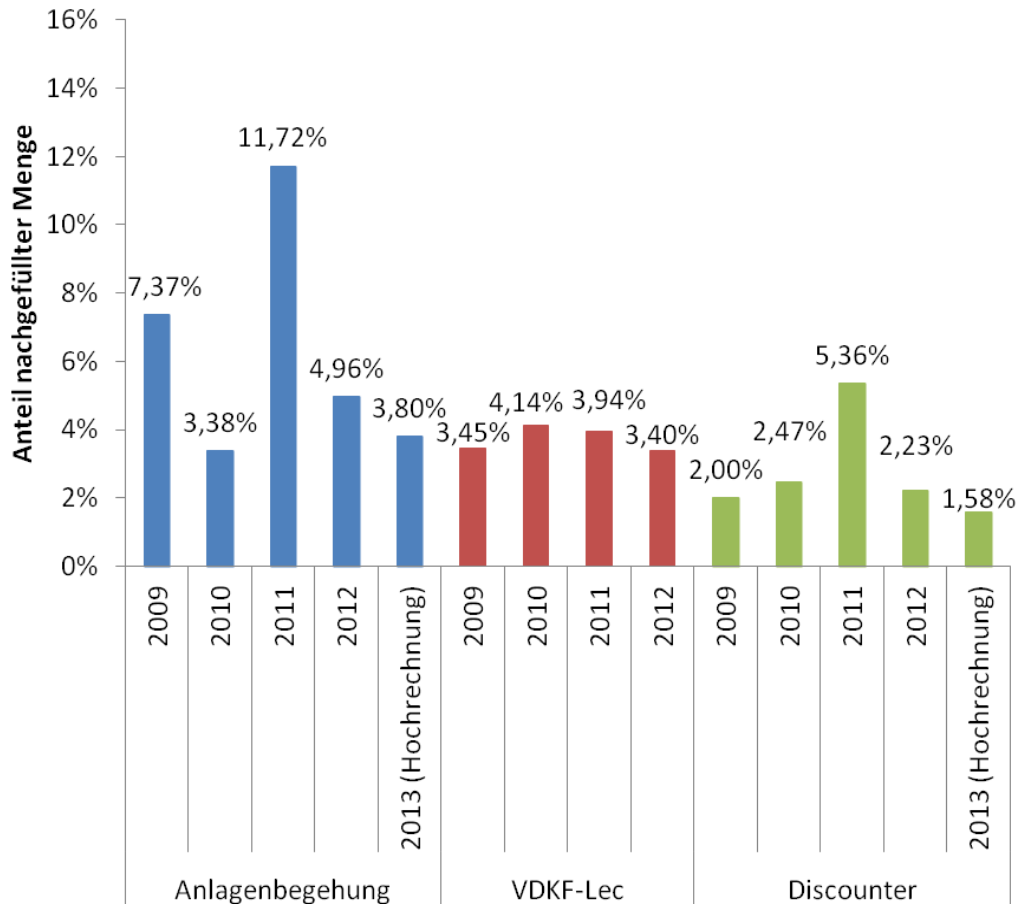


Abbildung 65: Jährliche Gesamtnachfüllraten im Vergleich zwischen den drei Datensätzen.

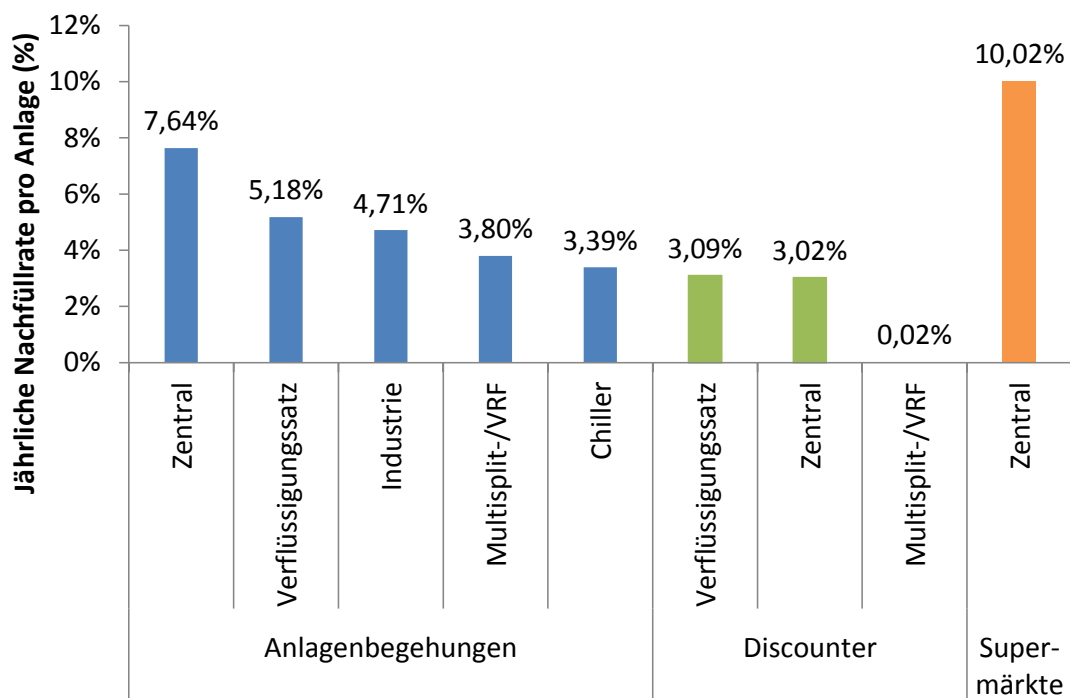


Abbildung 66: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage aus der Anlagenbegehung, dem Discounter- sowie dem Supermärkte-Datensatz.

Da im Discounter-Datensatz nur eine einzige Nachfüllung für diesen Anlagentyp verzeichnet wurde, fiel die Nachfüllrate hier mit 0,02% gering aus. Die Daten aus den beiden zusätzlich erfassten Supermarktketten hingegen ließen nur Rückschlüsse über die Nachfüllrate von Zentralanlagen zu. Mit über 10% lag der Wert noch deutlich über dem aus den Anlagenbegehungen.

Abbildung 67 zeigt die am häufigsten verwendeten Kältemittel R134a, R404A, R407C und R410A im Vergleich. Es wird deutlich, dass diese vier Kältemittel in den Datensätzen der Anlagenbegehungen sowie den VDKF-Lec-Daten die gleiche Hierarchie ihrer Nachfüllraten aufwiesen. Das Kältemittel R404A hatte in allen Datensätzen den mit Abstand höchsten Wert (3,1% in den Daten des Discounters, 5,3% bei VDKF-Lec; 8,8% in den Anlagenbegehungen, 9,6% und 10,8% bei den Supermärkten). Die Nachfüllraten von R407C und R134a waren in den beiden Datensätzen Anlagenbegehungen und VDKF-Lec nur etwas mehr als halb so hoch wie diejenigen von R404A. Das Klimaanlagenkältemittel R410A wiederum hatte die weitaus niedrigste Rate.

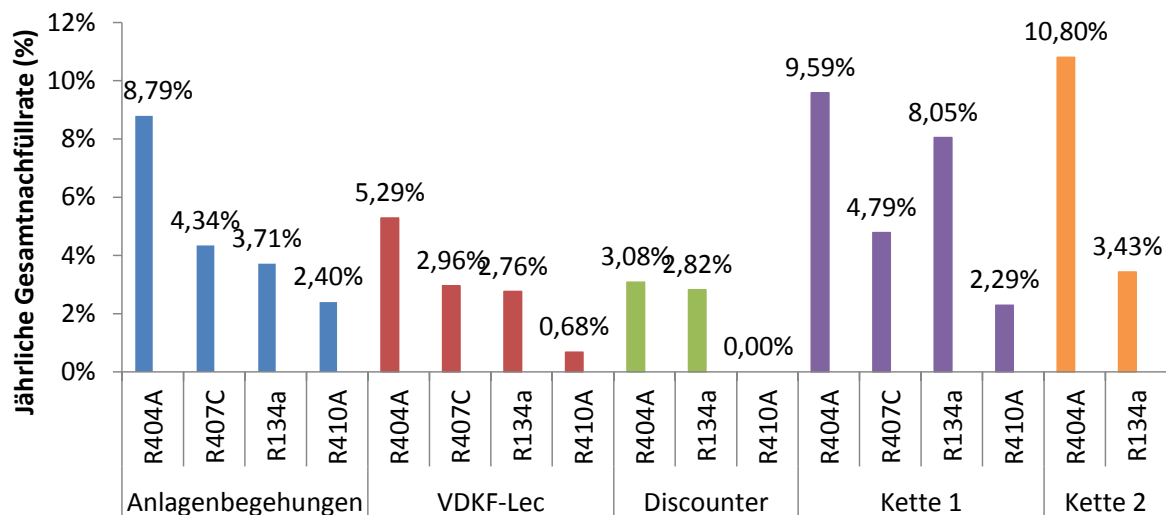


Abbildung 67: Jährliche Gesamtnachfüllraten pro Kältemittel in allen drei Datensätzen für die vier im Datensatz aus der Anlagenbegehung am häufigsten verwendeten Kältemittel.

Die von uns zusätzlich ausgewerteten Daten von über 1.000 Märkten einer der beiden Supermarktketten (Kette 1; Abbildung 67) bestätigen besonders die Relation der Nachfüllraten von R404A und R410A. Auch hier zeigt sich eine deutlich höhere Nachfüllrate bei R404A (nämlich 9,6% jährliche Gesamtnachfüllrate), welches vor allem in Zentralanlagen eingesetzt wird. Das vorrangig in Multisplit-/VRF Anlagen eingesetzte R410A hat auch hier eine bedeutend geringere jährliche Gesamtnachfüllrate (2,3%) zu verzeichnen. Für R134a und R407C sind die Rollen allerdings vertauscht. R134a liegt relativ betrachtet bedeutend näher an R404A als in den oben dargestellten Daten. R407C weist eine jährliche Gesamtnachfüllrate auf, die auch hier in etwa halb so hoch ist wie die von R404A. Bei den untersuchten Märkten der Kette 1 ist die Rate von R407C allerdings auch mehr als doppelt so hoch wie die von R410A.

Die absoluten Werte der Daten der Supermarktkette 1 für R404A, R407C und R410A liegen denen aus den Anlagenbegehungen sehr nahe. Lediglich für R134a Anlagen

deuten diese Daten mit 8% auf eine bedeutend höhere jährliche Gesamtnachfüllrate bei diesem Kältemittel hin.

Die zweite Supermarktkette (Kette 2; Abbildung 59) setzt hauptsächlich R404A sowie R134a in ihren Kälteanlagen ein, sodass hier nur jährliche Gesamtnachfüllraten für diese beiden Kältemittel wiedergegeben sind. Auch diese Daten zeigen, dass R404A Anlagen (wobei auch hier davon ausgegangen werden kann, dass es sich hauptsächlich um Zentralanlagen handelt) eine deutlich höhere Nachfüllrate aufweisen (10,8%) als Anlagen, die mit R134a betrieben werden (3,4%).

Auch bei diesen Daten sind die absoluten Werte noch deutlich über denen aus den Anlagenbegehungen.

R404A wurde auch im Datensatz aus der Anlagenbegehung überwiegend in Zentralanlagen eingesetzt, nämlich zu 63,3% der Gesamt-Füllmengen im Erfassungszeitraum. R404A verursachte zudem den größten Teil der Nachfüllraten bei Zentralanlagen (Abbildung 68). Wenn nur Zentralanlagen mit R404A betrachtet werden, ergab sich für diese eine jährliche Nachfüllrate pro Anlage von 10,2%. Somit zeigte sich ein direkter Zusammenhang zwischen hohen Nachfüllraten für Zentralanlagen und hohen Nachfüllraten für R404A, wobei aber an dieser Stelle noch nicht gesagt werden konnte, ob und in welcher Relation die Eigenschaften des Kältemittels oder der Anlagentyp die Höhe der Nachfüllrate bestimmen.⁶⁴ Fest steht, dass R404A Anlagen mit höherem Betriebsdruck arbeiten, der Kältemittelaustritt begünstigen kann.

Auch bei der Discounterkette hatten Zentralanlagen, die mit R404A betrieben werden, deutlich höhere Nachfüllraten (3,3%) als solche, die mit R134a betrieben werden (1,6%). Diese Teilmenge umfasste 75 Anlagen (Abbildung 68). Die Rate für mit R404A betriebene Zentralanlagen war damit höher als die im Datensatz enthaltene Rate für alle Zentralanlagen von etwa 3% (siehe Abbildung 49). Auch hier stand nicht fest, ob und inwieweit die Eigenschaften des Kältemittels oder des Anlagentyps die Höhe der Nachfüllrate verursachen.

Der Supermarkt-Datensatz umfasst fast ausschließlich Zentralanlagen.⁶⁵ Auch hier ließ sich eine deutlich höhere Nachfüllrate bei Anlagen feststellen, die mit R404A betrieben werden (11,1%), als bei solchen, die mit R134a betrieben werden (8,9%).

In der Literatur lassen sich einige Daten aus vergleichbaren Erfassungen finden. Vor allem für die Supermarktkälte (vorrangig Zentralanlagen) gibt es diverse relevante Veröffentlichungen, welche im Folgenden näher betrachtet werden.

Cowan et al (2010)⁶⁶ zum Beispiel haben die Daten aus einer Vielzahl einschlägiger Studien zusammengetragen. Die Ergebnisse zeigen, dass berichtete Emissionsraten aus Kälteanlagen in Supermärkten in Großbritannien über die Jahre stark schwanken und von

⁶⁴ Im Zuge des Vorhabens wurde uns von einigen Anwendern der Verdacht geäußert, dass aufgrund des hohen Preises des Kältemittels Serviceunternehmen in einigen Fällen höhere R404A-Nachfüllmengen berechneten, als tatsächlich nachgefüllt worden seien. Diese Mengen würden dann, so der Verdacht, „schwarz“ an Dritte verkauft. Der Verdacht wurde uns gegenüber allerdings nicht durch Fakten belegt.

⁶⁵ Um andere Anlagentypen im Folgenden auszuschließen, wurden hier nur Anlagen mit R134a und R404A betrachtet.

⁶⁶ Cowan et al, 2010, a.a.O. S. 66

über 40% bis unter 3% reichen. Gemittelt lassen sich Werte von etwa 15-20% Kältemittelverlust pro Jahr und Anlage feststellen. Für Deutschland zitieren Cowan et al Emissionsraten von 5-10% bei Zentralanlagen mit mehreren Kompressoren. Auch SKM Enviro (2010)⁶⁷ geht in einer Studie zur Ökoeffizienz von Supermarktkälteanlagen von einer durchschnittlichen jährlichen Kältemittelverlustrate⁶⁸ von 15% für die EU-15 aus, wobei eingeräumt wird, dass dieser Wert in Deutschland geringer sein könnte. Der Wert wurde damals durch eine Untersuchung von Nachfüllraten in großen Supermarktketten in UK, Deutschland und Frankreich gewonnen.

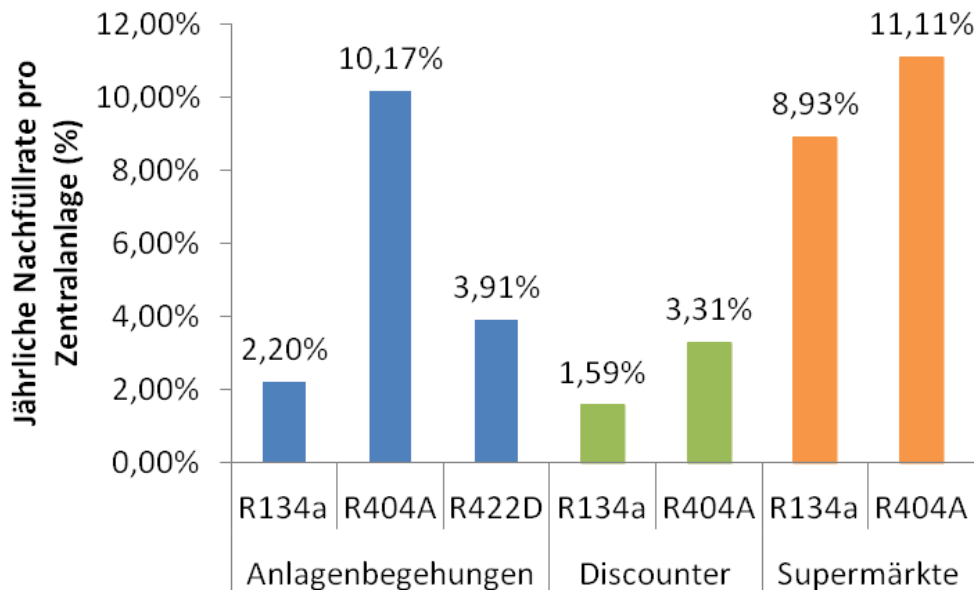


Abbildung 68: Jährliche Nachfüllraten pro Anlage für R134a, R404A und R422D in Zentralanlagen im Datensatz aus den Anlagenbegehungen sowie für R134a und R404A in Zentralanlagen im Discounter-Datensatz und dem Supermarkt-Datensatz.

Im Rahmen der vorbereitenden Studie für die Überarbeitung der EU F-Gase-Verordnung (Schwarz et al 2011) wurden mit Hilfe von Serviceunternehmen Daten von über 1.100 Kältekreisläufen in Supermärkten in Österreich und Deutschland zusammengestellt. 2004 wurden bei diesen Kreisläufen 17,9% der Gesamtfüllmenge nachgefüllt, und 2009 waren es 15,3%. Die 2013-Klimabilanz der Metro AG (zu der auch Real und Galeria Kaufhof gehören) gibt für das letzte Quartal 2012 bis einschließlich das dritte Quartal 2013 eine Nachfüllrate für ihre Gewerbekälteanlagen von 12,1% an⁶⁹. Auch eine Untersuchung des

⁶⁷ European Partnership for Energy and the Environment (EPEE) 2010: Eco-Efficiency Study of Supermarket Refrigeration, London: EPEE, London.

⁶⁸ Wie in 6.2.1.2 erwähnt werden die Begriffe ‚Kältemittelverlustrate‘ und ‚Nachfüllrate‘ in dieser Studie gleichgesetzt.

⁶⁹ Metro AG 2010: Klimabilanz 2013, Metro AG, Düsseldorf.

http://www.metrogroup.de/internet/site/metrogroup/get/documents/metrogroup_international/corpsite/07_sustain/publications/carbon-footprint-environmental-indicators-2013-de.pdf

UBA⁷⁰ aus dem Jahr 2008 zum Thema Dichtheit von Kälteanlagen in deutschen Supermärkten berichtet von Nachfüllraten zwischen 5 und 10%. Eine Studie der britischen Nichtregierungsorganisation EIA gibt Nachfüllraten aus einer freiwilligen Befragung von Supermarktketten in Europa wieder⁷¹. Hier werden jährliche Nachfüllraten zwischen 3,6% und 14,2% für das Jahr 2012 genannt.

7.3.3 Die Rolle von Havarien in den drei Datensätzen

In den Daten aus der Anlagenbegehung entfielen 27,5% der nachgefüllten Kältemittelfüllmenge auf Havarie-Ereignisse (siehe Tabelle 34). Dieser Anteil war im VDKF-Lec-Datensatz etwas niedriger und lag bei knapp 23%. Bei den vorliegenden Discounter-Daten war dieser Anteil am höchsten und lag bei etwa 32%. Es ist zu beachten, dass sich die Definition einer Havarie zwischen den VDKF-Lec-Daten (90% oder mehr Kältemittelverlust) und den beiden anderen Datensätzen (je nach Anlagentyp zwischen 50% und 90% an Kältemittelverlusten) unterschied. In dieser Aufstellung ist zudem zu beachten, dass es sich um die Anteile der Havarien an den Nachfüllmengen handelte, die insgesamt 100% ausmachen.

Der Beitrag von Havarien zur jährlichen Gesamtnachfüllrate war bei den Daten aus den Anlagenbegehungen am größten (31,1%), gefolgt vom VDKF-Lec-Datensatz (23%) und nur knapp 8% im Discounter-Datensatz. Insgesamt waren diese Werte etwas höher als die Havarie-Anteile an der Nachfüllmenge. Dies war darauf zurückzuführen, dass Havarien vor allem bei großen Anlagen verzeichnet wurden. Dementsprechend hohe Kältemittelverluste hoben die jährliche Gesamtnachfüllrate daher überdurchschnittlich an (siehe 7.1.1.3 für eine detaillierte Erläuterung). Beim Discounter-Datensatz war der Wert jedoch bedeutend geringer, da bis auf eine Havarie im Jahr 2009 alle Havarien im Jahr 2011 vorgefallen waren.

Auch die von der Supermarktkette 2 bereitgestellten Daten lassen Rückschlüsse auf die Rolle von Havarien auf Kältemittelverluste zu.⁷² Obwohl nur 34 Anlagen in 2012 eine Havarie zu verzeichnen hatten, entfielen knapp 30% der Nachfüllmenge auf solche Ereignisse.

⁷⁰ Umweltbundesamt (UBA) 2008: *Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und –geräten für den Supermarkt*. Rhiemeier J., Harnisch J., Ters C. Kauffeld M., Leisewitz A., Dessau-Roßlau, Dezember 2008.

⁷¹ Environmental Investigation Agency (EIA) 2013. *Chilling Facts 5*. EIA, London.

⁷² Die von der Kette 2 bereitgestellten Daten umfassen lediglich das Jahr 2012 und geben nicht direkt Aufschluss über Havarien, da lediglich die Nachfüllmengen der Anlagen im ganzen Kalenderjahr 2012 angegeben wurden, aber nicht die Nachfüllmenge pro Nachfüllung und Anlage. Es wird außerdem davon ausgegangen, dass es sich ausschließlich um Zentralanlagen handelt. Im Falle dieses Datensatzes ist eine Havarie deshalb vereinfacht definiert als ‚Nachfüllrate von 50% oder mehr‘.

Tabelle 34: Havarieanteile an der Nachfüllmenge und der jährlichen Gesamtnachfüllrate (Anlagenbegehungen und VDKF-Lec: 2008-2012 Daten; Discounter: 2009-2012 Daten).

	Havarie-Anteil an gesamter Nachfüllmenge	Anzahl der Anlagen mit Havarien	Havarie-Anteil an jährlicher Gesamtnachfüllrate
Anlagenbegehungen	27,48%	30	31,10%
VDKF-Lec	22,69%	942	23,01%
Discounter	31,69%	5	7,94%
Supermarktkette 2	29,93%	34	29,72%

In der Literatur konnte nur eine andere Studie gefunden werden, die näher auf Kältemittelverluste (siehe 7.1.1.2) durch Havarien in Deutschland eingeht. Die eingangs erwähnte Studie von Birndt vom Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK)⁷⁷³ untersuchte (im Zeitraum 1.1.1998 bis 30.6.1999) insgesamt 62 Supermarktkälteanlagen in Hessen und Sachsen auf Leckagen. Mittels Lecksuchgeräten stellte Birndt einen mittleren spezifischen Kältemittelverlust von 3,2% bei den Anlagen fest, wenn die beiden festgestellten Havarien (2 der 62 Anlagen) unberücksichtigt bleiben. Havarien werden bei Birndt als Kältemittelverlust von über 50% der nominalen Füllmenge definiert. Unter Berücksichtigung dieser Havarien stieg der durchschnittliche Kältemittelverlust aller 62 Anlagen auf 10,2% ihrer Füllmengen an. Zu beachten ist auch, dass Birndt direkte Kältemittelverluste (Emissionen) gemessen hat und nicht auf aufgezeichnete Nachfüllmengen angewiesen war, so dass er daher auch nicht nachgefüllte Leckagen berücksichtigen konnte. Diese Studie ist zwar schon recht alt, allerdings halten wir sie für die Relation zwischen kontinuierlichen und abrupten Kältemittelverlusten nach wie vor für wichtig.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Havarien im Betrieb von Kälteanlagen eine wichtige Rolle spielen und einen bedeutenden Teil des Kältemittelverlusts ausmachen.

7.3.4 Von Leckagen betroffene Bauteile

Mit Hinblick auf die undichten Stellen, an denen Leckagen auftraten, unterscheiden sich die drei großen Datensätze in gewissem Maße. Durch die sehr ähnliche Datenerfassung ließen sich die Daten aus den Begehungen und die Discounter-Daten in dieser Hinsicht gut miteinander vergleichen (

Abbildung 69 und Abbildung 70). Anlagenbauteilen wurde in beiden Datensätzen die wichtigste Rolle zugeordnet, gefolgt von Verbindungen/Leitungen sowie Ventilen. Hervorzuheben waren im Discounter-Datensatz im Besonderen undichte Kompressoren, die bei 38% der nachgefüllten Anlagen als Leakageort angegeben wurden⁷⁴. Da ein großer Teil der beim Discounter erfassten Anlagen Zentralanlagen mit langen

⁷³ Birndt, R., a.a.O., S. 51

⁷⁴ Die Summe aller Leckstelle ergibt mehr als 100%, da undichte Anlagen teilweise mehr als einmal nachgefüllt wurden (Mehrfachnennungen).

Rohrleitungen sind, spielten Verbindungsstellen und Leitungen in diesem Datensatz eine gegenüber den Bauteilen fast gleich große Rolle. Sie wurden bei knapp 59% der Anlagen als Leckageort genannt. Wie Abbildung 60 zeigt, waren vor allem Schraubverbindungen anfällig für Undichtigkeiten (50%), während Lötverbindungen nur 10% der Kältemittelverluste (Nachfüllmengen) aus Verbindungen und Leitungen ausgelöst hatten. Im Datensatz aus den Begehungen waren hingegen Ventile öfter undicht als Leitungen oder Verbindungsstellen. Unterschiede zwischen Magnet-, Schrader- und Sicherheitsventilen ließen sich hier nicht feststellen.

Die bereitgestellten VDKF-Lec-Daten waren auf andere Weise strukturiert, und es war nicht möglich zu beurteilen, ob mehrere Leckageorte pro Leckage genannt worden waren. Um diese Daten trotzdem hier einzubinden, wurde der Rang betrachtet, der den vier am häufigsten genannten Leckageorten in den jeweiligen Datensätzen zugeordnet war (Tabelle 35). Sowohl die VDKF-Lec als auch die Discounter-Daten wiesen Verbindungsstellen und Leitungen als die bedeutendsten Leckageorte aus. In den Daten aus den Anlagenbegehungen waren Verbindungen/Leitungen die zweitgrößte Quelle von Leckagen, am häufigsten wurden hier Ventile genannt, die in den VDKF-Lec-Daten zweithäufigste Quelle waren und in den Discounter-Daten an letzter Stelle standen. Undichtigkeiten an Anlagenbauteilen (Verdichter und Verdampfer) wurden sowohl bei den VDKF-Lec-Daten als auch bei den Daten aus den Anlagenbegehungen an letzter Stelle angeführt.

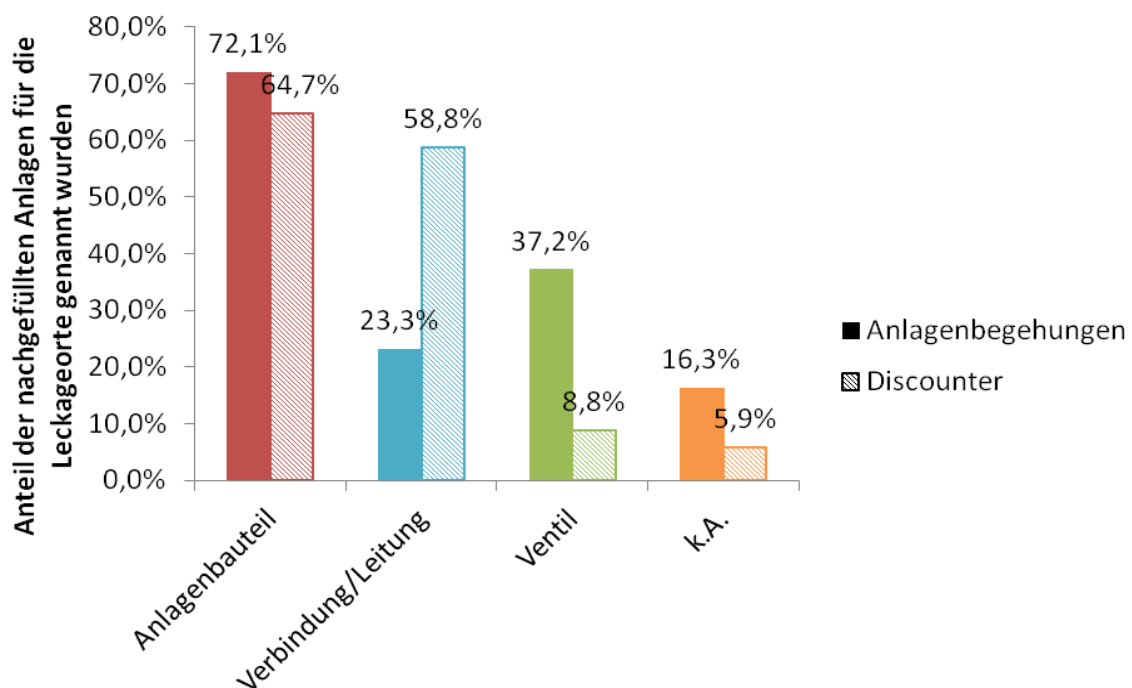


Abbildung 69: Übergeordnete Leckageorte als Anteil der nachgefüllten Anlagen in den Daten aus den Anlagenbegehungen und im Discounter-Datensatz.

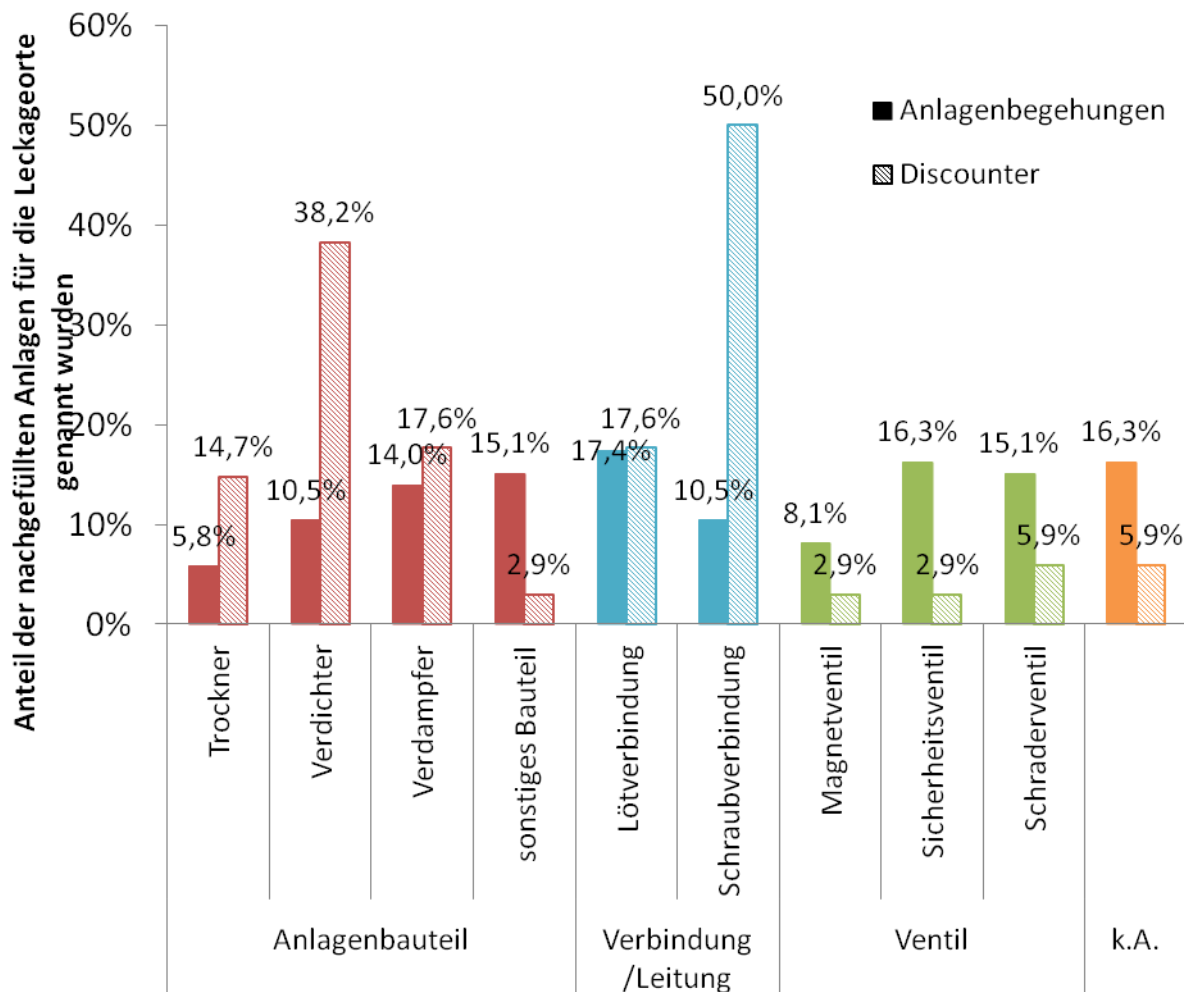


Abbildung 70: Häufigkeit der Leckageorte ausgedrückt als Anteil an den nachgefüllten Anlagen. Datensatz aus den Anlagenbegehungen und Discounter-Datensatz.

Zusammenfassend lässt sich daraus folgern, dass Verbindungsstellen und Leitungen am häufigsten undicht waren, gefolgt von Ventilen. Verdampfer und Verdichter folgten an 3. und 4. Stelle.

Tabelle 35: Rangfolge der am häufigsten genannten Leckageorte in allen drei Datensätzen

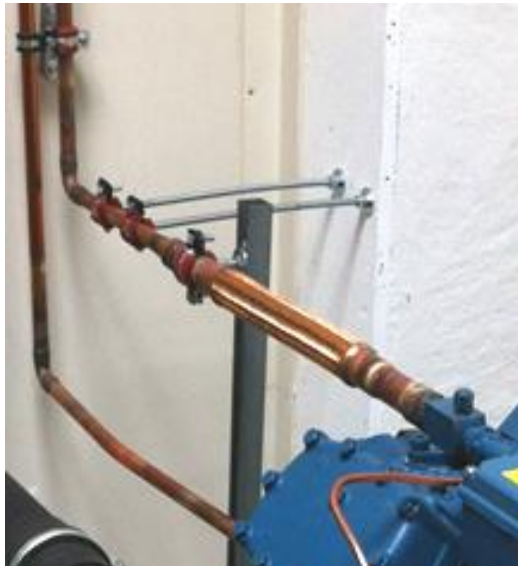
	VDKF-Lec	Discounter	Anlagenbegehung
Verbindung/Leitung	1	1	2
Ventile	2	4	1
Verdampfer	4	3	3
Verdichter	3	2	4

Zum Vergleich ziehen wir die erwähnte Untersuchung von Birndt heran.⁷⁵ Von den 62 gewerblichen Kälteanlagen, die in der Studie untersucht wurden, waren 19 Verbundanlagen und 43 dezentrale Kälteanlagen (Baujahre 1990 bis 1999,

⁷⁵ Birndt, R., a.a.O., S. 51

Kältemittelfüllmengen von 0,7 bis 360 kg). Auch hier waren undichte Verbindungen bzw. Leitungen Hauptquelle von Leckagen. Die große Mehrheit der Kältemittelverluste, nämlich 83%, traten an Montage-Fügestellen auf (Abbildung 72). Nicht fachgerecht installierte Bördelverbindungen wurden am häufigsten als Leckageursache genannt.

Abbildung 71: Wellenschlauch zwischen Verdichter und Leitungsführung. (Quelle: Öko-Recherche 2014).



Laut Korn (2013)⁷⁶ treten solche Leckagen hauptsächlich aufgrund von Schwingungen und Pulsationen an nicht fachgerecht installierten Leitungen auf. Um diesen Ursachen entgegenzuwirken, werden häufig sogenannte Wellschläuche installiert, die z.B. Schwingungen vom Verdichter abfangen. Solche Maßnahmen konnten auch bei einigen der begangenen Anlagen beobachtet werden (siehe Abbildung 71). Auch beschleunigte Kältemittelflüssigkeiten – und dadurch hervorgerufene Stöße in Rohren und Leitungen aber auch an Bauteilen – können laut Korn Leckagen hervorrufen. Diese können nur über einen fachgerechten Aufbau/Umbau der Leitungsführungen vermieden werden.

Die Daten aus der Studie von Birndt lassen sich aufgrund der abweichenden Datenerhebung nicht direkt mit den hier gewonnenen Erkenntnissen vergleichen. Birndt identifizierte in seiner Studie Lecks sehr genau mit Hilfe eines Montagelecksuchgeräts und konnte sie daher den genauen Verbindungsstellen – statt wie hier lediglich den verbundenen Bauteilen – zuordnen.

Zusammenfassend lässt sich trotzdem erkennen, dass Lecks an Verbindungsstellen beziehungsweise in den Leitungen in allen Fällen die größte Rolle spielten. Wenn in den Ergebnissen von Birndt (1999) alle Lecks an diversen Arten von Ventilen aufaddiert werden, so ergibt sich auch hier ein Anteil von über 23%. Da außerdem einige Lecks an Bördeln und Lötverbindungen streng genommen Ventilen zugeordnet werden können, war der Anteil der Ventile bei Birndt wahrscheinlich noch höher.

Die betreffenden Resultate aus den Anlagenbegehungen lagen trotzdem deutlich über den Ergebnissen in den anderen Datensätzen und den Ergebnissen von Birndt. Welche der von Birndt genannten Montagefügestellen auf den Verdichter entfielen, konnte nachträglich nicht festgestellt werden.

Aufgrund der hier gewonnenen Ergebnisse konnte trotzdem davon ausgegangen werden, dass – neben dem Verdampfer – am Verdichter häufig Leckagen auftreten.

⁷⁶ Korn, D. 2013: *Störfälle in Rohrsystemen von Kälteanlagen*. Berlin: VDE Verlag.

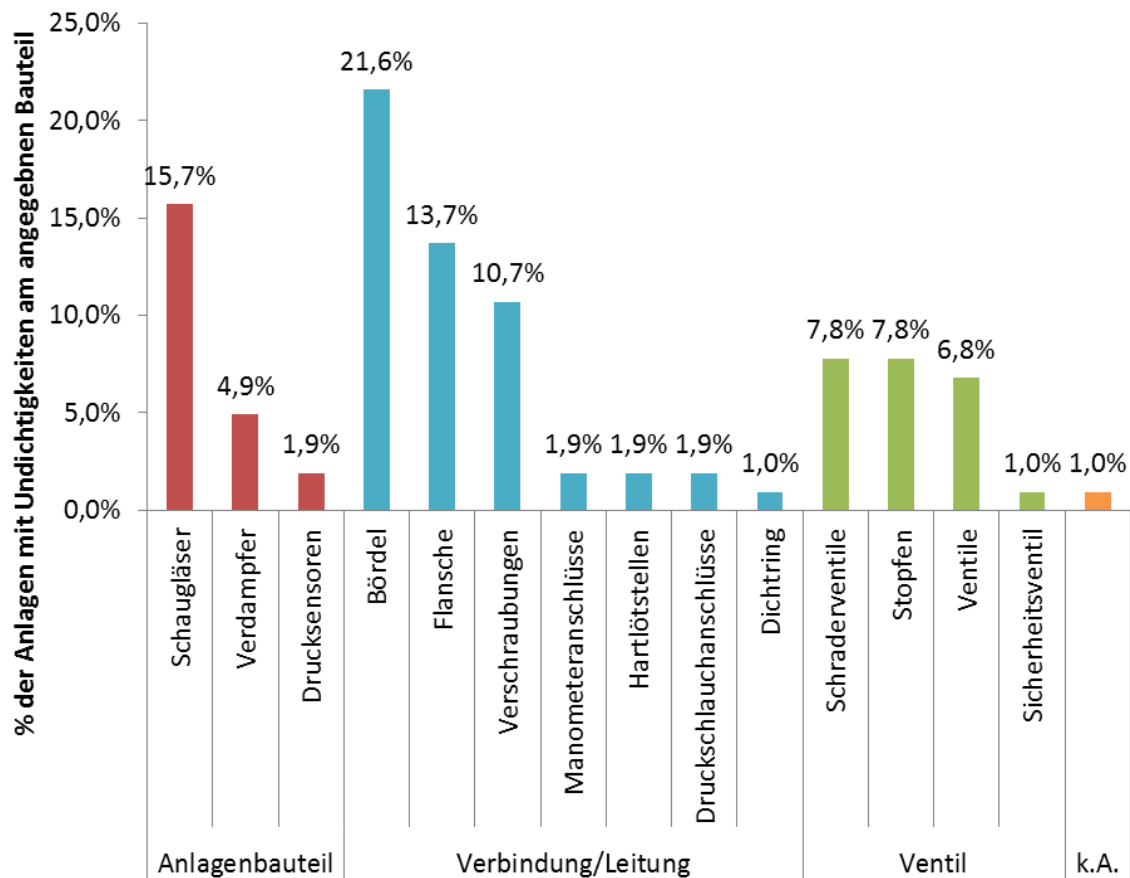


Abbildung 72: Orte der Kältemittelverluste an 62 Gewerbekälteanlagen in Hessen und Sachsen 1999 (Birndt 1999).

7.3.5 Ursachen für Kältemittelverluste beziehungsweise Emissionen

Von besonderem Interesse waren die tatsächlichen Gründe für die dokumentierten Nachfüllungen. Aus den Resultaten des vorangegangenen Abschnitts ließen sich diverse Schlussfolgerungen ziehen, wie zum Beispiel nicht fachgerechte Montage, Versagen von Bauteilen und Ventilen oder Leckagen an Verbindungsstellen und Leitungen als Folge von Materialermüdung oder Vibrationen. Cowan et al (2010; a.a.O., S. 66) zum Beispiel betrachteten Daten von Unternehmen, die Gewerbekälteanlagen betreiben. Genauer gesagt, wurden 200 Ereignisse untersucht, bei denen Serviceunternehmen an die Anlage gerufen wurden. In etwa 60% der Fälle geschah dies wegen überhöhter Temperatur der Anlage (Abbildung 73). Zweithäufigster Grund war ein niedriger Kältemittelfüllstand, der einen Alarm des Leckageerkennungssystems auslöste (24% der Fälle). Im Voraus vereinbarte Termine machten nur 9% der Fälle aus. Des Weiteren stellen Cowan et al fest, dass in etwa der Hälfte aller Besuche durch das Serviceunternehmen mindestens ein Leck gefunden wurde.

Tabelle 36 ergänzt diese Schlussfolgerungen und präsentiert die zusätzlich genannten Gründe, die in der Dokumentation zu einzelnen Nachfüllungen vermerkt oder während der Anlagenbesichtigung durch den Anlagenbetreiber mitgeteilt wurden. Weder die VDKF-Lec- noch die Discounter-Daten enthielten zusätzliche Angaben, so dass das Folgende lediglich auf den Daten aus der Anlagenbegehung beruht.

In einzelnen Fällen ergaben sich weitere Erkenntnisse bezüglich der oben dargestellten Angaben. Es wurde jedoch auch klar, dass in vielen Fällen der tatsächliche Grund für den

Kältemittelverlust nicht dokumentiert war und daher ungeklärt bleibt. Angaben wie „Havarie“, „allgemeiner Verlust“ oder „Undichtigkeit gesucht“ waren für die hier vorliegenden Zwecke ungeeignet und bereicherten die Dokumentation nur bedingt.

Auch die zusätzlichen hier aufgeführten Angaben sind nur bedingt hilfreich, wenn es darum geht, zukünftige Undichtigkeiten zu vermeiden. Eine Aufzeichnung von Unfällen, die den Betrieb der Anlage betreffen (könnten), wäre zum Beispiel sinnvoll, um solchen Vorkommnissen durch verbesserte Abläufe vorzubeugen. Ebenso sollten die Gründe, das Serviceunternehmen zu rufen, in den Aufzeichnungen vermerkt werden. Solche Daten können weitere Einblicke in die Bedeutung von Leckagen im Betriebsalltag geben. Eine erste Abhilfe soll die, durch das Ergänzungsvorhaben durch das BMUB geförderte und vom UBA initiierte, erweiterte Abfrageliste zu den Leckagegründen im VDKF-Lec, bringen. So können zukünftig detailliertere Erkenntnisse zu Leckagegründen gefunden und beim Bau neuer Anlagen berücksichtigt werden.

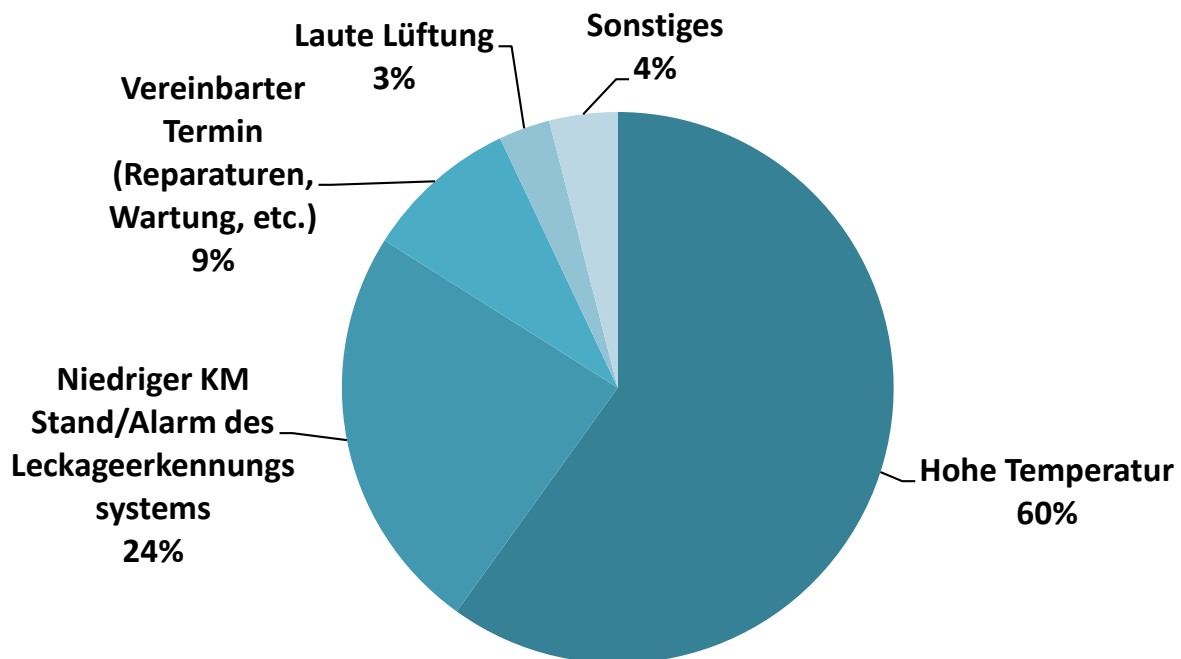


Abbildung 73: Gründe für die Bestellung des Serviceunternehmens (Cowan et al 2010).

Cowan et al (2010; a.a.O., S. 66) zum Beispiel betrachteten Daten von Unternehmen, die Gewerbekälteanlagen betreiben. Genauer gesagt, wurden 200 Ereignisse untersucht, bei denen Serviceunternehmen an die Anlage gerufen wurden. In etwa 60% der Fälle geschah dies wegen überhöhter Temperatur der Anlage (Abbildung 73). Zweithäufigster Grund war ein niedriger Kältemittelfüllstand, der einen Alarm des Leckageerkennungssystems auslöste (24% der Fälle). Im Voraus vereinbarte Termine machten nur 9% der Fälle aus. Des Weiteren stellen Cowan et al fest, dass in etwa der Hälfte aller Besuche durch das Serviceunternehmen mindestens ein Leck gefunden wurde.

Tabelle 36: Zusätzlich genannte Gründe für eine Nachfüllung (Qualitative Angaben) aus den Anlagenbegehungen.

Probleme mit Bauteilen	Probleme mit Verbindungsstellen oder Leitungen	Probleme mit Ventilen	Unbestimmter Verlust
Anstauregler undicht	Flanschdichtung erneuert	Kältemittel nachgefüllt; Ventil abgedichtet	"geringe" Nachfüllungen an Kappen usw.
Hochdruck Schalter undicht	Haarriss	Schraderventil undicht	allgemeiner Verlust
Schauglas undicht	Heißgasleitung gerissen	Undichtigkeit am Magnetventil	diverse Undichtigkeiten
Thermosensor an Verdichter undicht	Rohrriss am Verflüssiger	Undichtigkeit am Sicherheitsventil	eventuell Dichtung (keine genauen Infos)
Undichte am Trockner	Schlauch Wasserdruckregler undicht		Havarie
Undichtigkeit am Expansionsventil	Überwurfmutter E-Ventil		Leistungsanpassung
Undichtigkeit am Schwingungsdämpfer	Verschraubung am Sicherheitsventil abgedichtet		Nachfüllung
Verdampfer undicht			Undichtigkeit gesucht, Kältemittel nachgefüllt
Verflüssiger defekt			Wasser im KM-Kreislauf
Verflüssiger getauscht			
Verflüssiger undicht			

In der Praxis wird häufig davon ausgegangen, dass pauschale Wartungsverträge zu dichteren Anlagen führen. Als Grund wurden die zusätzlichen Kosten gesehen, die durch häufige Nachfüllungen und den Preis des Kältemittels entstehen und dem Serviceunternehmen relativ teuer kommen; teurer zumindest, so das Argument, als die Arbeitszeit, die nötig sei, um die Anlagen dicht zu halten und somit Nachfüllungen zu vermeiden. Ein befragter Experte⁷⁷ meinte allerdings, dies treffe nicht zu. Demnach seien Kältemittelpreise in Deutschland immer noch „viel zu niedrig“ um einen solchen Zusammenhang herzustellen. Preise wie in Skandinavien könnten die Situation

⁷⁷ Persönliches Gespräch mit Thorsten Lerch, Dozent an der Bundesfachschule für Kälte- und Klimatechnik am 14.03.2014 Maintal; Persönliches Gespräch mit Dr. Michael Kauffeld am 10.12.2013 in Karlsruhe.

verändern. Auch giftige oder brennbare Kältemittel würden demnach zu einer verbesserten Dichtheit führen.

In den erhobenen Daten lagen die Nachfüllraten für Anlagen mit Wartungsverträgen auf etwa derselben Höhe (5,5%) – wenn auch etwas höher – wie für Anlagen ohne solche Verträge (4,8%). Die Vermutung, dass Wartungsverträge zu besserer Dichtheit der betreuten Anlagen führen, ließ sich somit nicht bestätigen.

Tabelle 37: Jährliche Nachfüllrate pro Anlage nach Art des Wartungsvertrags. Datengrundlage: Daten aus den Anlagenbegehungen.

	Jährliche Nachfüllrate pro Anlage
Wartungsvertrag vorhanden	5,5%
Kein Wartungsvertrag vorhanden	4,8%

7.3.6 Vorgenommene Reparaturen und Verbesserungen

Aufgrund der lückenhaften Dokumentation in den zur Verfügung gestellten Aufzeichnungen war es nicht möglich, Näheres über Reparaturen oder Verbesserungen in Erfahrung zu bringen. Allerdings wurde von Experten sowie den Technikern, die die Begehungen durchgeführt haben, bestätigt, dass es nicht üblich sei, Anlagen nachträglich baulich zu verbessern, um die Leckage-Wahrscheinlichkeit zu verringern.⁷⁸ Demnach werden von Seiten des Betreibers im Betrieb der Anlagen in der Regel lediglich die Vorgaben zu Leckagekontrollen und Instandsetzung erfüllt. Eine Ausnahme bilde der oben erwähnte Einsatz von Wellenschläuchen. Eine weitere Ausnahme seien Industriebetriebe, bei denen ein Haustechniker für den Betrieb der Kälteanlagen zuständig ist. Es käme dort häufiger zu baulichen Verbesserungen.

Theoretisch wäre es möglich, Schraubverbindungen durch geschweißte oder gelötete Verbindungen zu ersetzen. Dies geschieht jedoch nur beim Design neuer Geräte, die dann bereits mit weniger Schraubverbindungen aus der Fabrik kommen⁷⁹. Für den Techniker sind Schraubverbindungen grundsätzlich praktisch, wenn zum Beispiel defekte Bauteile ausgetauscht werden müssen.⁷⁸

Näheres zu diesem Thema kann Kapitel 9 entnommen werden.

7.3.7 Führung der Aufzeichnungen sowie Einsichtnahme

Da die Betreiber von Anlagen gemäß der ChemKlimaschutzV sowohl für deren Dichtheit, Wartung als auch Emissionen verantwortlich sind, ist es wichtig, dass die Dokumentation der Anlagen vollständig und transparent ist und eine Einsicht durch qualifiziertes Personal zulässt.

⁷⁸ Persönliches Gespräch mit Dr. Michael Kauffeld, Simon Huesman, Thorsten Hauck, Julian Karbiner, Timo Maurath und Dennis Lerch am 10.12.2013 in Karlsruhe.

⁷⁹ „To further minimise the risk of refrigerant leaks, Cofely Refrigeration has consequently moved away from semi-hermetic joints to hermetic ones.“ http://www.cofely.de/en/news/pressreleases/press_0040.html

Die Discounter-Daten wurden, wie schon erwähnt, durch ein elektronisches Erfassungssystem erhoben. In allen Fällen wurden die Aufzeichnungen durch das Serviceunternehmen geführt, und der Betreiber hatte über das Internet ständig die Möglichkeit, die Daten einzusehen. Für die VDKF-Lec-Daten lagen uns keine Angaben hierzu vor. Die Aufzeichnungen wurden hier allerdings auch sehr wahrscheinlich hauptsächlich von Serviceunternehmen geführt und können vom Betreiber elektronisch eingesehen werden. Es war allerdings auch möglich, dass die Aufzeichnungen von Personal des Betreibers geführt wurden.

Obwohl auch im Datensatz aus den Anlagenbegehungen hauptsächlich Serviceunternehmen die Aufzeichnungen geführt hatten, waren die Betreiber doch in mindestens 23% der Fälle (Abbildung 26) entweder mit eingebunden (16%) oder selbst verantwortlich (7%). Das "Logbuch" spielte bei der Dateneinsicht durch den Betreiber eine übergeordnete Rolle, da 78% der Anlagendokumentation so eingesehen werden konnten. Für immerhin knapp 30% der Anlagen nahmen Betreiber selbst Auswertungen vor. Bei 5,7% der Anlagen hatten die Betreiber keinerlei Einsicht in die Aufzeichnungen. Offenbar war vielen Betreibern von Kälte- und Klimaanlageanlagen nicht bekannt, dass sie und nicht die beauftragten Serviceunternehmen verpflichtet sind, die Vorschriften der ChemKlimaschutzV einzuhalten.

7.3.8 Einhaltung der ChemKlimaschutzV und F-Gase-Verordnung

Aus den oben aufgeführten Resultaten geht hervor, dass eine ganze Reihe von Anlagen verschiedener Größe und verschiedenen Alters nicht die Vorgaben von § 3 Abs. 1 der Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung einhielten. So wiesen Kreisläufe über 100 kg in allen drei Datensätzen Nachfüllmengen auf, die über den Vorgaben für maximale Kältemittelverluste dieser Verordnung lagen. Lediglich Discounter-Anlagen dieser Größenordnung, die zwischen 2005 und 2008 in Betrieb genommen wurden, blieben unter dem zugehörigen Grenzwert. Dieses Resultat wurde ebenfalls erreicht, wenn die Havarien nicht berücksichtigt wurden. Auch neue Anlagen (seit Juli 2008 in Betrieb genommen) mit unter 10 kg Füllmenge schienen häufig nicht den Vorgaben zu entsprechen. Im Datensatz aus der Anlagenbegehung lagen solche Kreisläufe mit Nachfüllraten von über 6% deutlich über den zulässigen 2%. Auch im VDKF-Lec-Datensatz gab es Anzeichen dafür, dass solche Anlagen über dem Wert lagen, und sogar bei den erfassten Discounter- Filialen waren die Nachfüllraten mit 1,7% nah am Limit.

Zusätzlich ist zu bemerken, dass in den Daten aus der Begehung nur ältere Anlagen unter 10 kg und mittelalte Anlagen zwischen 10 und 100 kg die Vorgaben von § 3 Abs. 1 ChemKlimaschutzV einhielten. Neuere Anlagen unterlagen strikteren Vorgaben und hielten diese offensichtlich nur in bestimmten Fällen ein.

Die Vorgaben von § 3, Abs. 2 der F-Gase-Verordnung hinsichtlich der Anzahl der durchzuführenden Dichtheitsprüfungen (siehe 3.1), wurden gemäß den vorliegenden Daten nur teilweise erfüllt. Selbst im Discounter-Datensatz fehlten bei 3% der Kreisläufe im Jahr 2012 Dichtheitsprüfungen. Im Datensatz der Anlagenbegehungen waren es deutlich mehr. Hier fehlen 2012 bei folgendem Anteil an Kreisläufen Dichtheitsprüfungen:

- bei 25% der Kreisläufe mit Füllmengen über 100 kg,
- bei 27% solcher mit 10-100 kg Füllmenge und

bei 32% der Kreisläufe unter 10 kg Füllmenge.

Der Unterschied zwischen den beiden Datensätzen könnte durch die Art der Aufzeichnung bedingt sein. Während Dichtheitsprüfungen bei über 30% der Anlagen mit manuellen Aufzeichnungen im Datensatz aus der Anlagenbegehung fehlten, waren es nur knapp 8% bei Anlagen mit digitaler Dokumentation (Tabelle 38). Dieses Ergebnis ist deutlich näher an den elektronisch erfassten Discounter-Daten.

Auch andere Gründe sind jedoch möglich. Die bestehenden Wartungsverträge und längerfristigen Vertragsverhältnisse (inklusive Schulungen), welche die Discounterkette mit seinen Serviceunternehmen eingeht, könnten dazu führen, dass Wartung und Pflege der Anlagen regelgerechter und mit mehr Umsicht durchgeführt werden. Dies gilt besonders für eine ordnungsgemäße Durchführung und Dokumentation der Dichtheitsprüfungen.

Tabelle 38: Fehlende Dichtheitsprüfungen bei Kreisläufen mit digitalen bzw. manuellen Aufzeichnungen im Datensatz aus der Anlagenbegehung.

Art der Aufzeichnung	Anteil der Anlagen mit fehlenden DHPs 2012
digital	7,9%
manuell	30,5%

Eine Fallstudie des Institute of Refrigeration⁸⁰ im Rahmen des Real Zero-Projektes machte auch auf fehlende Dokumentationen von gesetzlich vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen aufmerksam. Solche Prüfungen sind besonders unter Berücksichtigung der Ergebnisse weiter oben sehr wichtig, da sie die Chance, dass eine Leckage frühzeitig erkannt wird, stark erhöhen. Das niederländische STEK System – eine Einrichtung zur Minderung der Kältemittlemissionen⁸¹ – beruht zu einem großen Teil auf vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen, um Leckagen von vorneherein zu vermeiden.⁸² Die Kontrolle solcher Maßnahmen stellt auch einen Grundgedanken der F-Gase-Verordnung dar.⁸³

Auch die Vorgabe der F-Gase-Verordnung, erneute Dichtheitsprüfungen im Anschluss an eine Nachfüllung durchzuführen, wurde laut den hier präsentierten Daten in den meisten Fällen nicht eingehalten. Laut den Aufzeichnungsdaten der Anlagenbegehungen fehlten solche Prüfungen bei etwa 60% der nachgefüllten Anlagen. Bei den Discounter-Daten fehlten sie bei 51% und teilweise bei zusätzlichen 9% der nachgefüllten Anlagen. Da eine

⁸⁰ Insitute of Refrigeration (IOR) 2009: *Real Zero Case Study 1*, Insitute of Refrigeration, Surrey (UK) Online: http://www.realzero.org.uk/web_images/documents/casestudy1RETAIL.pdf

⁸¹ Center for Energy and Environmental Sciences an der University of Groningen (IVEM) 2008: *Freezing HFC emissions, Reduction of HFC-emissions in commercial refrigeration in the Netherlands by the STEK-regulation - an actor study*, IVEM, Groningen Online: <http://ivem.eldoc.ub.rug.nl/ivempubs/dvrapp/EES-2008/EES-2008-50T/?pFullItemRecord=ON>

⁸² Bruyckere, D. 2010: Fachgespräch mit Dan de Bruyckere (STEK), Brüssel, 4.5.2010 und 18.1.2011.

⁸³ Institute for European Environmental Policy (IEEP) 2005: *Is STEK as good as reported?*, IEEP, Brüssel. S. 9.

Dichtheitsprüfung auch unmittelbar nach der Nachfüllung erfolgen kann, war davon auszugehen, dass nach Nachfüllungen in der Regel eine Dichtheitsprüfung erfolgte. Die Ergebnisse dieser Erfassung zeigten allerdings, dass es noch an einer Dokumentation dieses Vorgangs mangelt.

8 Fazit aus der Datenauswertung

Trotz der Unterschiede zwischen den ausgewerteten Datensätzen konnten einige allgemeine Schlussfolgerungen zu verschiedenen Aspekten gezogen werden, die nachfolgend dargestellt werden.

8.1 Nachfüllmengen und -raten

Sowohl die Häufigkeit der Nachfüllereignisse als auch die absoluten Nachfüllmengen stiegen bei allen drei Datensätzen bis 2011 an und stagnierten dann. Der ansteigende Trend vor diesem Zeitpunkt könnte das Resultat von zunehmend besseren Aufzeichnungen sein und damit weniger über die Dichtheit der Anlagen als über die Qualität der Dokumentation aussagen. Die Entwicklung nach 2011 könnte dadurch erklärt werden, dass eine Umsetzung der ChemKlimaschutzV bzw. F-Gase-Verordnung bis dato noch nicht abgeschlossen war und die entsprechenden Vorgaben deshalb erst ab diesem Zeitpunkt zu einer Verbesserung der Dichtheit beitrugen.

Besonders Zentralanlagen wiesen bei den begangenen Anlagen eine relativ hohe jährliche Gesamtnachfüllrate von 7,6% auf. Obwohl dieses Ergebnis nicht durch die Discounter-Daten bestätigt werden konnte, war es doch vergleichbar mit ähnlichen Ergebnissen aus der Literatur und anderen Datensätzen. Neben den hier ausgewerteten Supermärkte Datensätzen deuten selbst freiwillige Angaben von Supermarktgruppen auf Nachfüllraten von circa 10% oder mehr hin. Klimaanlage und Chiller hingegen wiesen besonders niedrige Nachfüllraten auf.

Nach Kältemitteln betrachtet zeigten sich besonders hohe Nachfüllraten bei Anlagen, die mit R404A betrieben wurden. Dies war bei allen drei Datensätzen der Fall. Zusätzliche Ergebnisse aus einer Auswertung der Supermarkt-Daten bestätigten dieses Ergebnis nachdrücklich. Neben R404A wird auch R134a oft (und in der Gewerbekälte fast ausschließlich) in Zentralanlagen eingesetzt. Interessanterweise lagen die Nachfüllraten für dieses Kältemittel bedeutend unter denen für R404A in allen drei Datensätzen. Bei einer reinen Betrachtung von Zentralanlagen im Datensatz aus den Anlagenbegehungen hatten R404A-Anlagen eine fast fünfmal so hohe Nachfüllrate wie R134a-Anlagen.

Anlagen, die mit R410A betrieben wurden – einem Kältemittel, das fast ausschließlich in Klimageräten Anwendung findet – hatten in allen drei Datensätzen die geringste Nachfüllrate.

8.2 Die Rolle von Havarien

Aus der Studie geht eindeutig hervor, dass Havarien eine bedeutende Rolle bei den Kältemittelnachfüllmengen und damit auch -emissionen von Kälteanlagen spielen. In den drei Datensätzen machten solche Ereignisse 23 – 32% der Kältemittelnachfüllmenge aus. Havarien trugen daher auch in relevantem Maß zu den jährlichen Nachfüllraten in den drei Datensätzen bei. Im sehr großen VDKF-Lec Datensatz betrug der Havarie-Anteil an der jährlichen Gesamtnachfüllrate etwa 23%.

Es gibt eine Reihe von technischen Maßnahmen, mit deren Hilfe Havarien deutlich reduziert werden können. Solche Maßnahmen werden in Kapitel 8 ausführlich beleuchtet.

8.3 Von Leckagen betroffene Bauteile

Eine Auswertung aller Daten ließ die Schlussfolgerung zu, dass besonders Anlagenbauteile wie Kompressoren und die Rohrleitungsverbindungen in unmittelbarer Nähe des Kompressors für Leckagen anfällig waren. Auch Verbindungsstellen bzw. Leitungen und Ventile spielten diesbezüglich eine wichtige Rolle. Dies konnte auch durch Beispiele aus der Literatur bestätigt werden. Laut den VDKF-Lec-Daten waren auch Verdampfer oft undicht. Die identifizierten Stellen bieten sich als Positionen für Sensoren von Leckageerkennungssystemen an.

8.4 Ursachen für Kältemittelverluste beziehungsweise Emissionen

Durch regelmäßige Wartung und bessere Dokumentation können Leckagen früher erkannt und Emissionen verhindert werden. Aus den hier gewonnen Erkenntnissen geht hervor, dass technische Lösungen – sowohl bei der Installation als auch nachträglich – zwar wichtig, aber gegenüber besserer Wartung und Dokumentation zweitrangig sind. Ein Einfluss der Art des Wartungsvertrags auf die Dichtheit der Anlage konnte nicht festgestellt werden.

8.5 Vorgenommene Reparaturen und Verbesserungen

Außer der Installation von Wellschläuchen, die der Vorbeugung von Leckagen an Leitungen und Verbindungsstücken dienen, welche Schwingungen ausgesetzt sind, ist es nicht üblich, Anlagen nachträglich baulich zu optimieren, um die Leckage-Wahrscheinlichkeit zu verringern. Bei der Konzeption neuer Anlagen kann jedoch Rücksicht auf solche Faktoren genommen werden. Es wäre z.B. möglich Anlagen statt mit Schraub- zunehmend mit Löt- und Schweißverbindungen zu konzipieren.

Ein Katalog von technisch ausgereiften Maßnahmen zur Verbesserung der Dichtheit von Kälteanlagen wurde erarbeitet und ist in Kapitel 9.1 enthalten. Eine verbreitete Anwendung dieser Maßnahmen könnte Kältemittelverluste in der Praxis wesentlich verringern.

8.6 Führung der Aufzeichnungen sowie Einsichtnahme

Aus den Anlagenbegehungen ging hervor, dass manuell geführte Aufzeichnungen (das sogenannte „Logbuch“) noch häufig das Mittel der Wahl in der Anlagendokumentation darstellten. Trotz der klaren Vorgaben der ChemKlimaschutzV hatten bei 5,7% der Anlagen die zuständigen Betreiber keinerlei Einsicht in die Dokumentation der Anlagen. Diesen Betreibern war offensichtlich nicht bewusst, dass von ihrer Seite eine Verpflichtung zur Führung von Aufzeichnungen besteht.

Im Laufe des Vorhabens wurde außerdem deutlich, dass Anlagenbetreiber in vielen Fällen Details zu ihrer Anlage nicht kennen.

8.7 Einhaltung der ChemKlimaschutzV

Die Dokumentation der Anlagen war in den betrachteten Fällen häufig unvollständig. Betreiber kamen in vielen Fällen ihrer Aufzeichnungspflicht laut ChemKlimaschutzV nicht vollständig nach oder waren damit überfordert.

Nachfüllraten lagen oft über den Vorgaben für maximale spezifische Kältemittelverluste in § 3 Abs. 1 der ChemKlimaschutzV. Dies traf vor allem auf große Anlagen zu und galt auch dann, wenn die Havarie-Ereignisse rausgerechnet werden. Dies belegten alle drei Datensätze.

Dichtheitsprüfungen wurden oft nicht nach den Vorgaben von § 3 Abs. 2 der F-Gase-Verordnung durchgeführt oder nicht ordnungsgemäß dokumentiert. So fehlte bei mehr als einem Viertel aller Anlagen aus den Begehungen mindestens eine der von der Verordnung vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen im Jahr 2012.

8.8 Zusätzliche Schlussfolgerungen

Durch die Recherchen im Rahmen dieses Vorhabens wurde deutlich, dass in der Praxis nach wie vor Unsicherheit bei der Definition einiger Begriffe wie „Betreiber“ oder „Havarie“ bzw. „Normalbetrieb“ bestand. Besonders während der Anlagenbegehungen zeigte sich, dass bezüglich solcher Grundbegriffe in der Praxis viele Missverständnisse oder gar Unwissen herrschten. Diese Definitionen sollten Herstellern und Betreibern in kurzer und übersichtlicher Form zur Verfügung stehen.

Außerdem stellte sich heraus, dass in den wenigsten Fällen Leckageerkennungssysteme an den Anlagen vorhanden waren. Diese Systeme werden deutlich in der ChemKlimaschutzV erwähnt, sind aber noch nicht flächendeckend im Einsatz, obwohl sie technisch ausgereift und verfügbar sind (siehe Kapitel 11). Eine genaue Definition dieser Systeme war von Seiten der Behörden nicht verfügbar.

9 Verbesserung der Dichtheit von stationären Kälte- und Klimaanlage

Im Folgenden wird detailliert auf die Verbesserungen der Dichtheit von Bestandsanlagen eingegangen.

Es ist zu beachten, dass die zwei der drei im Rahmen des Vorhabens zu erstellenden Produkte diesem Bericht als Anlagen beigelegt sind. Hierbei handelt es sich um

- eine Checkliste zur Überprüfung der Anlagen vor Ort;
- ein Handbuch zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten.

Das dritte Produkt, der Katalog technischer Möglichkeiten zur Verbesserung der Anlagendichtheit, ist unter 9.1 aufgeführt und dient zusätzlich als Zusammenfassung dieses Kapitels.

Kältemittelverluste führen zu einer schlechteren Energieeffizienz der Kälteanlage und damit zu einer erhöhten Leistungsaufnahme des Verdichters und, im Fall von sehr hohen Kältemittelverlusten, auch zu einem Verlust an Kälteleistung und einer Zunahme der Verdichterlaufzeit, inklusive des damit verbundenen höheren Energieverbrauchs. Die höhere Energieaufnahme führt zu erhöhten CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung, so dass Kältemittelleckagen zweifach die Umwelt belasten – zum einen direkt über den Treibhauseffekt des entwichenen Kältemittels, und zum anderen über die mit der Stromerzeugung verbundenen CO₂-Emissionen (siehe 1). Außerdem führen Kältemittelleckagen zu erhöhten Kosten für den Betreiber für den erforderlichen Service, die Reparatur der Leckagestelle und das nachzufüllende Kältemittel. Abbildung 74 zeigt den zeitlichen Anstieg dieser verschiedenen Kosten für eine Kälteanlage mit fortschreitendem Kältemittelverlust.⁸⁴

Wie bereits erwähnt (siehe 7.3.5), sind Cowan et al.⁸⁵ zu Folge Kältemittelleckagen für die Hälfte aller Servicebesuche verantwortlich, wobei es sich überwiegend nur um ein einzelnes Leck handelt (in nahezu 80% der Fälle). Bei entsprechend großen Leckagen können außerdem insbesondere bei der Lebensmittelkühlung Warenverluste hinzukommen.

Kältemittelverluste treten an nahezu allen Kälteanlagen auf. Der Umfang der Kältemittelverluste hängt von der Komplexität der Kälteanlage, den Betriebsbedingungen, der Wartung und vielen weiteren Faktoren ab. So neigen fabrikgefertigte Systeme weniger zur Leckage als solche, die vor Ort aus Komponenten zusammengebaut werden, insbesondere wenn bei letzteren Schraubverbindungen eingesetzt werden.

⁸⁴ IIR: Containment of Refrigerants within Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Systems. 24th Informatory Note on Refrigeration Technologies, 2014.

⁸⁵ Cowan, D.; Gartshore, J.; Chaer, I.; Francis, C.; Maidment, G. 2010: *REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project*. Institute of Refrigeration, Surrey (UK) Online: http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/IOR_ReducingRefrigerantEmissions.pdf.

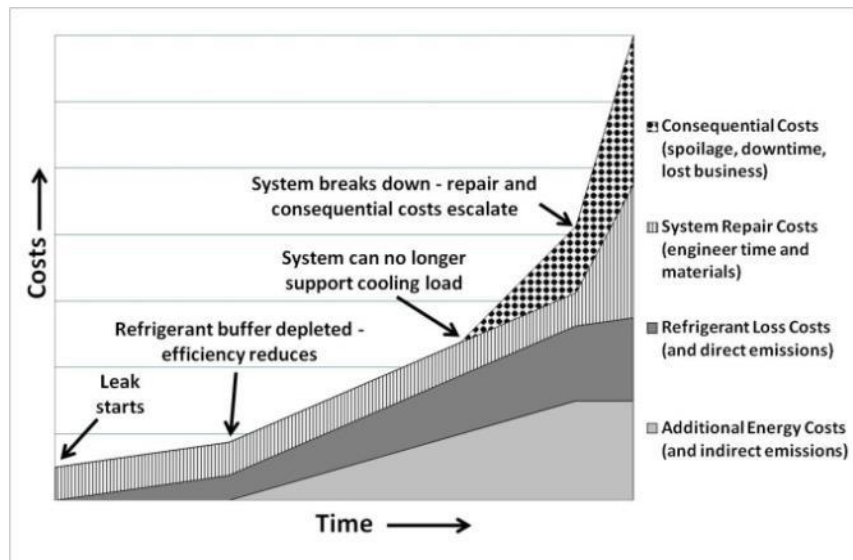


Abbildung 74: Die zunehmenden Kosten eines nicht behobenen Kältemittellecks aufgeteilt in (von oben nach unten) Folgekosten, Reparaturkosten, Kältemittelkosten und zusätzliche Energiekosten (IIR2010).

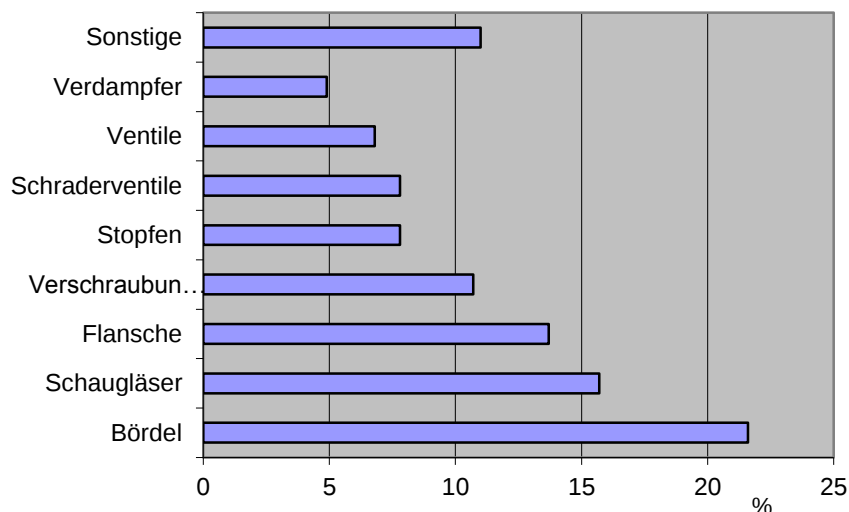


Abbildung 75: Orte der Kältemittelverluste (nach Anzahl der Leckagen, nicht nach Menge!) an 62 Gewerbekälteanlagen in Hessen und Sachsen im Jahr 1999 (FKT1999).

Bei einer älteren Untersuchung des Forschungsrats Kältetechnik an 62 gewerblichen Kälteanlagen in Deutschland (davon 19 Verbundanlagen und 43 dezentrale Kälteanlagen, Baujahre 1990 bis 1999, Kältemittelfüllmengen von 0,7 bis 360 kg) traten 83% der Kältemittelverluste an Montage-Fügestellen auf⁸⁶ (Abbildung 75). Der mittlere spezifische Kältemittelverlust lag bei 3,2%. 99% des Gesamtkältemittelverlustes wurde durch „große“ Leckagestellen mit Emissionen von über 30 Gramm Kältemittel pro Jahr verursacht.⁸⁷

⁸⁶ Forschungsrat Kältetechnik e.V.: Verbesserung der Dichtheit kältetechnischer Erzeugnisse. Studie des FKT, Januar 2003.

⁸⁷ Forschungsrat Kältetechnik e.V.: Dichtheit von Kälteanlagen. Bericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11340, Dezember 1999.

Diese Daten und Leckageorte decken sich mit der 1996 durch die ETSU veröffentlichten Ergebnissen, dass nämlich häufigste Leckagestelle Bördelverbindungen sind, gefolgt von Wellendichtungen, anderen mechanischen Verbindungsstellen, kleinen Messleitungen, Ventilen, Überwurfmuttern und Materialermüdung durch Vibrationen.⁸⁸

Einer französischen Studie (2007) zu Folge waren die Ventile, insbesondere die Serviceventile, die Hauptleckagestellen.⁸⁹ Dabei wiesen 40% aller Leckstellen eine Leckagerate von weniger als 5 Gramm Kältemittel pro Jahr auf, 45% aller Leckstellen hatte eine Leckagerate von 5 bis 10 Gramm Kältemittel pro Jahr⁸⁹, d.h. die Mehrzahl der Emissionen rührte von vielen sehr kleinen Leckagen her.

Bostock (2007)⁹⁰ berichtete von einer Studie an deutschen Supermärkten, nach welcher 85% der Leckagemenge durch nur 15% der Lecks verursacht worden war. 96% aller Leckagen traten demnach bei der Montage vor Ort hergestellten Verbindungsstellen auf. Den Löwenanteil hatten dabei mit 50% der Kältemittelmenge Bördelverschraubungen, welche für 22% aller messbaren Lecks standen.⁹¹

Eine englische Studie (2004) gibt für Supermarktverbundkälteanlagen Leckageorte mit ihrer jeweiligen Leckagehäufigkeit an⁹² und kommt im Prinzip zu einem ähnlichen Ergebnis wie die erwähnte Studie des Forschungsrats Kältetechnik⁸⁷: Die überwiegende Anzahl der Leckagen trat an mechanischen Verbindungsstellen auf. „Die Ursache dafür, dass Bördelverbindungen am häufigsten undicht waren, dürfte in erster Linie daran liegen, dass die Bördel nicht ordnungsgemäß hergestellt wurden und dass in zu vielen Fällen keine genügend empfindliche Lecksuche durchgeführt wurde“.⁸⁶

Auch neuere Studien⁹¹ stellen nach wie vor ähnliche Verteilungen der Leckageorte fest (Abbildung 76). Gemäß den Aufzeichnungen von zwei verschiedenen Firmen waren die häufigsten sechs Leckageorte bei beiden Firmen gleich, nämlich an Dichtungen und mechanischen Verbindungen.

Bei Verbundanlagen traten die meisten Kältemittelleckagen am Verdichterverbund auf (Abbildung 77).⁹¹ Abbildung 78 zeigt die genauen Orte der Leckagen am Verdichterverbund.⁹¹

⁸⁸ ETSU, 1997, Good practice Guide 178, Cutting the cost of refrigerant leakage, ETSU – Energy Technology Support Unit, Harwell.

⁸⁹ Huchet, A.; Hermon, C.; Morio, Y.: Containment of Refrigeration Installations - Results of Studies. IIR 22. Int. Congr. of Refr., Peking, China, 21. – 26. August 2007.

⁹⁰ Bostock, D. 2007: *Designing to minimise the risk of refrigerant leakage*, IOR Annual Conference, Institute of Refrigeration, Surrey (UK).

⁹¹ Cowan, D.; Gartshore, J.; Chaer, I.; Francis, C.; Maidment, G. 2010: *REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project*. Institute of Refrigeration, Surrey (UK) Online: http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/IOR_ReducingRefrigerantEmissions.pdf.

⁹² Colbourne, D.: Hydrocarbon Refrigerant Safety Short Course. 6th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference, Glasgow, 2004.

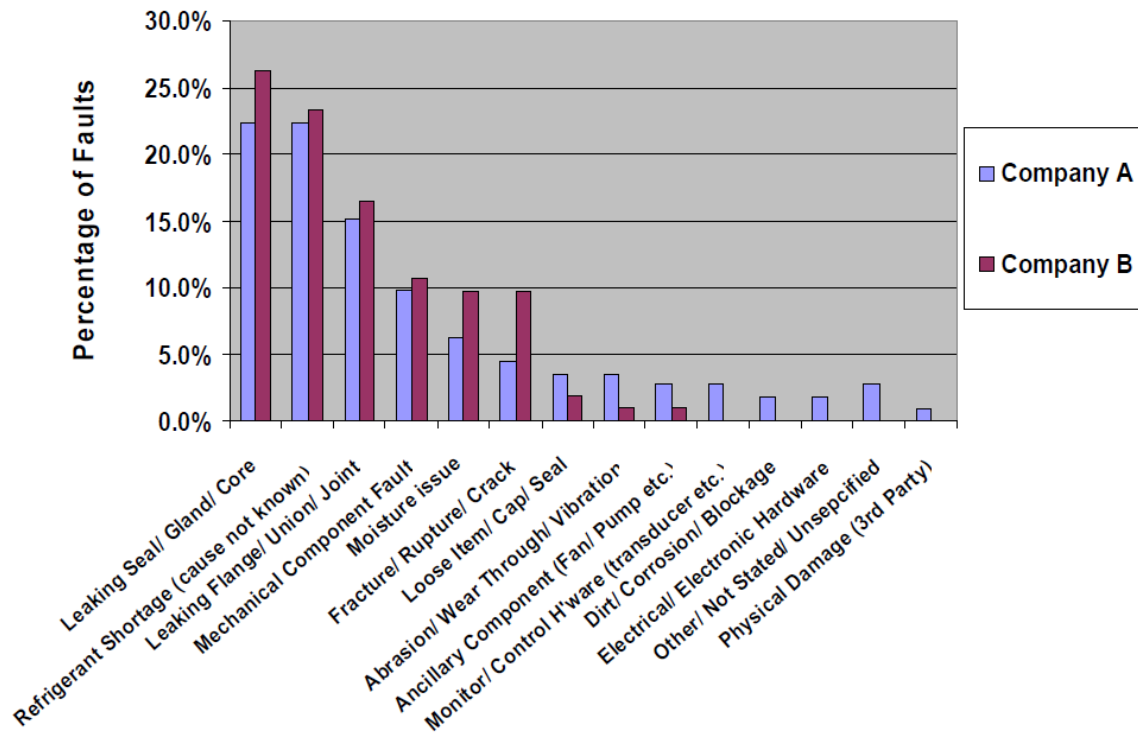


Abbildung 76: Vergleich der von zwei Servicefirmen protokollierten Kältemittelleckagen (Cowan et al. 2010).

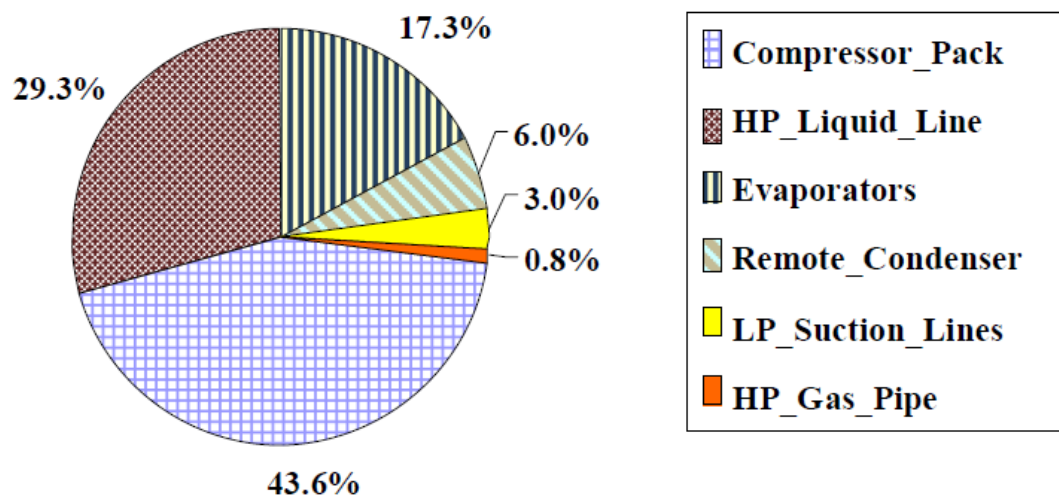


Abbildung 77: Kältemittelleckageorte an Verbundanlagen (Cowan et al. 2010).

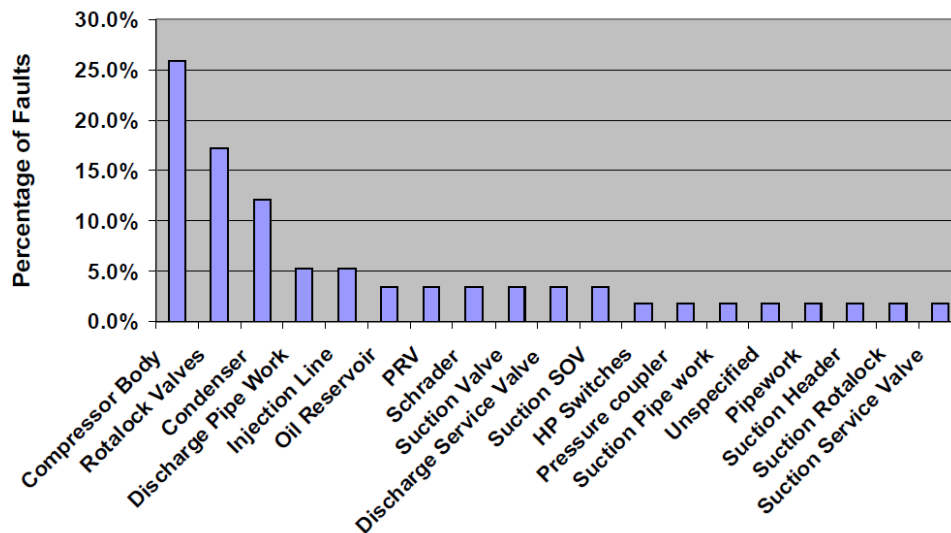


Abbildung 78: Kältemittelleckageorte am Verdichterverbund (Cowan et al. 2010).

Insgesamt kann in vielen Ländern durch die in den vergangenen Jahren eingeführten gesetzlichen Bestimmungen, Kältemittelsteuern und freiwilligen Verpflichtungen der Industrie ein abnehmender Trend bei Kältemittelleckagen festgestellt werden (Abbildung 79).⁹³

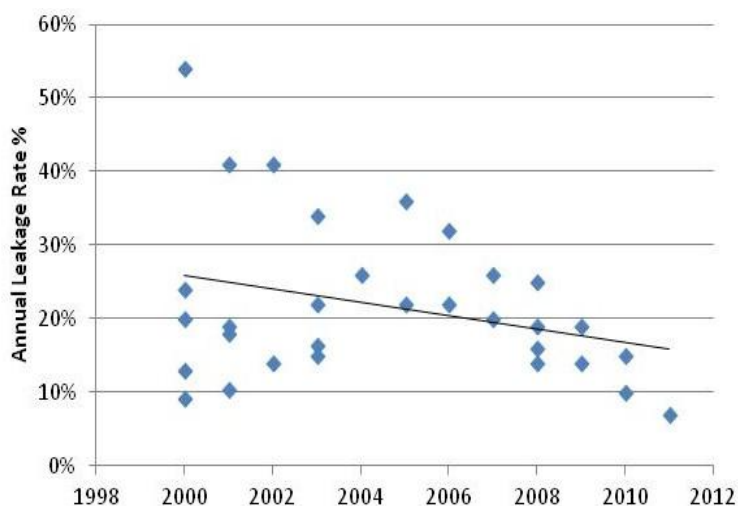


Abbildung 79: Veröffentlichte Kältemittelleckageraten von diversen Studien aus verschiedenen Ländern (IIR 2014).

9.1 Katalog technischer Möglichkeiten zur Verbesserung der Anlagendichtheit

Leckagen können in Kälte- und Klimaanlage aus den verschiedensten Gründen entstehen. Die Häufigkeit derartiger Störungen lässt sich jedoch mit einer entsprechenden Konstruktion der Anlage, mit fachgerechter Ausführung der Montagearbeit und Sorgfalt bei der Installation stark reduzieren. Hierauf geht auch die Norm EN 378 Teil 2, Abschnitt 6.2 Konstruktion und Herstellung, ausführlich ein. In diesem Zusammenhang sind u.a. folgende Punkte von Bedeutung:

⁹³ IIR: Containment of Refrigerants within Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Systems. 24th Informatory Note on Refrigeration Technologies, 2014

- Reduzierung der Kältemittelfüllmenge durch Einsatz entsprechender Komponenten mit geringem Kältemittelvolumen.
- Verwendung von qualitativ hochwertigen Komponenten mit entsprechenden Zulassungen für die zu erwartenden Temperaturen und Drücke.
- Ausschließliche Verwendung geeigneter Löt- und Schweißverfahren. Diese sind auf Grund der höheren Dichtheit jeglicher Art von Schraubverbindungen (z.B. Flansch oder Bördel) vorzuziehen. Ausführung von Lötverbindungen mit Kupfer- anstelle von Silberlot.
- Die Verrohrung der Anlage sollte so ausgelegt sein, dass keine Kräfte und Spannungen in den Leitungen entstehen können: Hierzu zählen auch geeignete Halterungen für lange Leitungsabschnitte.
- Reduzierung der Anzahl an Fügstellen durch geschickte Wahl der Rohrleitungsführung und entsprechende Nutzung von Rohrbiegewerkzeugen anstelle von Lötfittings.
- Zur Vermeidung von Schwingungsbrüchen der Rohrleitungen zum und vom Verdichter:
 - Die Montage von Schwingungsdämpfern in den Verbindungsleitungen zum und vom Verdichter sowie bei der Verdichteraufhängung, oder
 - Verwendung von kurzen und steifen Verbindungsleitungen aus (Edel-) Stahl zwischen Verdichter und anschließenden Komponenten.
- Die Installation von austauschbaren Komponenten wie Filtertrocknern sollte so erfolgen, dass das Demontieren und Austauschen mit möglichst geringen Kältemittelverlusten möglich ist.
- Davon abgesehen sind Absperrventile an entsprechenden Stellen vorteilhaft, um Kältemittelverluste bei der Wartung zu vermeiden. Die Absperrventile müssen so ausgeführt sein, dass sie nicht selber eine Leckagequelle darstellen.
- Einbau eines Absperrhahns vor allen Serviceventilen, da die Kappen der Serviceventile häufig im Laufe der Zeit undicht werden.
- Verzicht auf unnötige Absperr-, Rückschlag- und Schraderventile.
- Verwendung von Edelstahl-Schraderventilen.
- Analyse der Resonanzfrequenzen des Verdichters und konsequente Änderung der Befestigung und der Rohrleitungen zur Vermeidung von Resonanzfrequenzen im Drehzahlbereich des Verdichters. Evtl. Verwendung von (Edel-)Stahlrohren auf der Heißgasseite.
- Bei offenen Verdichtern (Anlagen mit großer Kälteleistung) Einbau einer festen Verbindung zwischen Motor und Verdichter zur Vermeidung von Ausrichtfehlern und daraus resultierenden Schwingungen.
- Reduzierung des Sammlervolumens bzw. gänzlicher Verzicht auf einen Kältemittelsammler.
- Schutz der Kältemittelleitungen vor Beschädigung.
- Sicherheitsventile von der Hochdruck in die Niederdruckseite abblasen lassen und erst im zweiten Schritt in die Umgebung.

- Zusätzliche Abdichtung aller Schraubverbindungen durch Loctite oder ähnlichen Kältemittelkompatiblen Dichtstoff.
- Verwendung von Kupfer- anstelle von Gummidichtungen.
- Abtauung mit warmem, flüssigem Kältemittel anstelle von Heißgas, um die thermische Belastung der Bauteile niedrig zu halten.

10 Dichtheitsprüfung vor der Inbetriebnahme

Jedes Bauteil und jede Kälteanlage muss vor der Inbetriebnahme auf Dichtheit geprüft werden. Für Kälteanlagen gibt die Norm EN 378 erste Hinweise. In VDMA-Einheitsblatt 24 243, Teil 2, „Prüftechnologie“ sind unterschiedliche Verfahren zur Dichtheitsprüfung von Kälteanlagen bzw. Komponenten für Kälteanlagen aufgeführt. Insbesondere bei Umbauten in Bestandssupermärkten oder bei laufenden Produktionsanlagen kann nicht immer die für eine sorgfältige Dichtheitsprüfung erforderliche Zeit, z. B. Abwarten eines Druckabfalls bei Druckprüfung bzw. eines Druckanstiegs bei der Evakuierung der Kälteanlage, aufgebracht werden, weshalb hier kleine Undichtigkeiten leicht übersehen werden.

10.1 EN 378

EN 378 gibt spezifische Prüfverfahren für Bauteile und die Kälteanlage vor (siehe EN 378, Teil 2, Abschnitt 6.3.4). Welches Verfahren angewendet werden sollte, ist abhängig vom jeweiligen Bauteil und dem verwendeten Kältemittel. Zu beachten ist, dass eine Dichtheitsprüfung erst dann absolviert werden sollte, wenn das Bauteil einer Druckfestigkeitsprüfung unterzogen wurde oder mit Hilfe einer Typprüfung getestet wurde. Laut der Norm sind alle Bauteile den folgenden Prüfungen zu unterziehen:

- a) Prüfung der Druckfestigkeit;
- b) Dichtheitsprüfung;
- c) Funktionsprüfung.

Je nach Festlegung des Herstellers der Anlage kann es nötig sein, einige oder alle Prüfungen durchzuführen.

Teil 2 der Norm macht zudem genaue Angaben zu Dichtheitsprüfungen und deren Durchführung. Die Norm gibt vor, dass Dichtheitsprüfungen an der Anlage vor Verlassen des Werks durchgeführt werden müssen, wenn es sich um eine werksseitig montierte Anlage handelt. Wird die Anlage vor Ort zusammengebaut oder befüllt, muss diese Prüfung jedoch am Aufstellungsort stattfinden. Eine stufenweise Prüfung (teilweise im Werk und am Aufstellungsort) ist auch möglich.

Je nach Herstellerbedingungen können zum Beispiel die folgenden Methoden angewendet werden:

- Druckbeaufschlagung mit Inertgas,
- Nachweis von radioaktivem Gas.

Um eine Emission gefährlicher Substanzen zu vermeiden, kann die Druckprüfung mit Inertgas, z. B. Stickstoff, Helium oder Kohlendioxid, durchgeführt werden. Azetylen-Sauerstoff oder Kohlenwasserstoffe dürfen aus Sicherheitsgründen nicht verwendet werden. Luft und Gasgemische sind zu vermeiden, da bestimmte Gemische gefährlich sein können.

Eine sehr grobe Dichtheitsprüfung durch das Vakuumverfahren ist auch zulässig. Hierbei müssen jedoch die Vorgaben des Herstellers beachtet werden, um die Funktionsfähigkeit der Anlage sicherzustellen.

In jedem Fall muss der Anlagenbauer ein Prüfverfahren wählen, das dem in der Norm ausgeführten zumindest gleichwertig ist oder zu entsprechenden Ergebnissen führt.

Die Norm gibt diesbezüglich vor, dass Verbindungen bei zugelassenem Maximaldruck mit einem Detektor oder durch eine Blasenprüfung (Auftragen einer schäumenden Flüssigkeit – Seifenblasentest; siehe Vorgaben in EN 1779) überprüft werden müssen. Niedrigere Prüfdrücke sind zulässig, sofern eine gleichwertige Nachweisempfindlichkeit gegeben ist.

Der Anlagenbauer ist dafür verantwortlich nachzuweisen, dass das verwendete Verfahren diesen Anforderungen entspricht (siehe EN 1779:1999 für eine Anleitung zu dieser Prüfung).

Auch ist zu beachten, dass der verwendete Detektor in regelmäßigen Abständen und nach den Anweisungen des Herstellers kalibriert werden muss.

Die Norm gibt auch vor, dass jedes festgestellte Leck instandgesetzt werden muss. Anschließend muss eine erneute Dichtheitsprüfung stattfinden.

10.2 VDMA-Einheitsblatt 24 243

In VDMA-Einheitsblatt 24 243, Teil 2, Prüftechnologie sind unterschiedliche Verfahren zur Dichtheitsprüfung von Kälteanlagen bzw. Komponenten für Kälteanlagen aufgeführt. Die Tabellen 36 und 37 geben die entsprechenden Verfahren für die Grob- bzw. Feinlecksuche vor der Inbetriebnahme der Kälteanlage wieder. Die Bemerkungen entstammen der Informationsschrift des ILK zum VDMA-Einheitsblatt.⁹⁴

Der Nachweis von fluoreszierenden Additiven ist erst nach Inbetriebnahme der entsprechenden Anlage möglich, da hierzu fluoreszierendes Kältemaschinenöl austreten können muss, welches jedoch erst im Betrieb der Anlage an die eventuellen Leckageorte gelangen kann.

⁹⁴ ILK: Informationsschrift zum VDMA-Einheitsblatt 24 243 "Kältemaschinen und -anlagen Dichtheit von Kälteanlagen und Wärmepumpen Lecksuche / Dichtheitsprüfung". März 2006.

Tabelle 39: Messverfahren zur Groblecksuche an Kälteanlagen vor Inbetriebnahme (in Anlehnung an VDMA 24 243).

Messverfahren	Prüfmedium	Vor- (V) Endprüfung (E)	Bemerkung
Druckabfallprüfung (Druckstandsprobe)	Stickstoff	V	Nur global alle Lecks nachweisbar, Fehler durch Temperaturänderungen möglich, Nachweisempfindlichkeit 100 – 250 kg R134a/a
Druckanstiegsprüfung (Vakuumdruckanstieg)	Luft, welche aus der Umgebung durch die Leckage(n) in die Anlage gelangt	V	Nur global alle Lecks, Druckdifferenz sehr klein → Verstopfungen von kleinen Lecks möglich
Seifenblasentest (Blasennachweis - Auftragen von Flüssigkeit)	Stickstoff, Kältemittel	V	Nachweisempfindlichkeit 250 – 1000 g R134a/a
Eintauchtest (Blasennachweis - Blasentest unter Prüfflüssigkeit)	Stickstoff	V bzw. E bei Kompo- nenten	Kleine Armaturen 4 g R134a/a größere Prüflinge (Verdichter) 250 – 2500 g R134a/a
Schnüffelpprüfung mit kalibriertem Lecksuchgerät	Kältemittel Kältemittel-Stickstoffgemisch Formiergas (5% Wasserstoff + 95% Stickstoff)	V + E	Nachweisempfindlichkeit mit Kältemittel ab 0,2 g R134a/a mit Formiergas 1 g R134a/a

Tabelle 40: Messverfahren zur Feinlecksuche an Kälteanlagen vor Inbetriebnahme (in Anlehnung an VDMA 24 243).

Messverfahren	Prüfmedium	Vor- (V) Endprüfung (E)	Bemerkung
Eintauchtest (Blasennachweis - Blasentest unter Prüfflüssigkeit)	Stickstoff	V bzw. E bei Kompo- nenten	Für Feinlecksuche nur an kleinen Armaturen 4 g R134a/a
Schnüffelpprüfung mit kalibriertem Lecksuchgerät	Kältemittel Kältemittel-Stickstoffgemisch Formiergas (5% Wasserstoff + 95% Stickstoff)	V + E	Nachweisempfindlichkeit mit Kältemittel ab 0,2 g R134a/a mit Formiergas 1 g R134a/a
Schnüffelpprüfung mit Heliumgasdetektor	Helium Helium-Stickstoffgemisch	V + E	Nachweisempfindlichkeit ab 0,02 g R134a/a Komponenten in der Vakuumkammer (industriell) 0,1 g R134a/a
Schnüffelpprüfung mit selektiven Gasdetektoren	Helium, HFKW und Gemische	V + E	Nachweisempfindlichkeit mit Kältemittel ab 0,3 g R134a/a

11 Leckageerkennungssysteme

Leckageerkennungssysteme lassen sich einteilen in äußere Leckerkennungssysteme (Odorierung, Fluoreszenz-Additiv-Verfahren und elektronische Gassensoren) und innere Leckageerkennungsverfahren basierend auf einer elektronischen Auswertung der sich durch Kältemittelverluste ergebenden abweichenden Betriebsbedingungen (siehe „Checkliste zur Überprüfung der Anlagen vor Ort“ im Anhang).

11.1 Verfahren mit Additiven

In erster Linie wird hier bei HFKW-Kälteanlagen bisher mit Fluoreszenzadditiven gearbeitet. Denkbar wäre jedoch auch die Zugabe eines entsprechenden Geruchsstoffes. Erfahrungsgemäß sind Ammoniakkälteanlagen besonders dicht, da das Kältemittel Ammoniak bereits in niedrigen Konzentrationen einen sehr stechenden Geruch hat und somit bereits kleinste Kältemittelleckagen den Betreiber veranlassen, den Service zu rufen. Ein eventuell einzusetzender Geruchsstoff müsste allerdings sowohl mit dem jeweiligen Kältemittel, mit dem Kältemaschinenöl sowie allen Werkstoffen der Kälteanlage verträglich sein.

Eine entsprechende Untersuchung für die Odorierung von Kohlendioxid als Kältemittel hat das ILK im Rahmen eines Forschungsvorhabens für den Forschungsrat Kältetechnik e.V. durchgeführt.⁹⁵ Bereits 1993 war eine entsprechende Untersuchung an Kälteanlagen mit HFKW und Kohlenwasserstoffen als Kältemittel durchgeführt worden.⁹⁵ Es wären vermutlich Konzentrationen ähnlich der Odorierung von Erdgas notwendig.⁹⁶ Ungeklärt ist, in wie weit das Odoriermittel sich als nichtkondensierbares Gas im Lauf der Zeit im Verflüssiger anreichern würde bzw. ins Öl diffundieren würde.⁹⁶ Als Odoriermittel kommen u.a. die beiden aus der Erdgasodorierung bekannten Stoffe Tetrahydrothiopen (THT) und Trimethylamin (TMA)⁹⁶ sowie Stoffe auf Pyrazin-Basis (Stickstoffverbindung)⁹⁷ in Frage. Puhl⁹⁷ gibt an, das Pyrazin in Verbindung mit CO₂ als Kältemittel nicht ins Kältemaschinenöl diffundierte.

Sämtliche bisher verwendeten Fluoreszenzfarbstoffe (z.B. Rhodamine, Cumarine, Berberin, Chinin, fluoreszierende Proteine, Quadraine usw.) sind nur in Flüssigkeiten löslich. Für die Kälteanlage heißt dies, dass sie evtl. kurz nach dem Einfüllen in eine Kälteanlage mit flüssigem Kältemittel aus einer entsprechenden Leckagestelle austreten könnten. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass der fluoreszierende Farbstoff sich im Kältemaschinenöl ansammelt und nur über Leckagestellen nach außen tritt, über die auch Kältemaschinenöl nach außen gelangen kann.⁹⁶ Das Fluoreszenz-Additiv-Verfahren ist deshalb den Grobverfahren zuzuordnen (VDMA Einheitsblatt 24 243).

⁹⁵ Birndt, R. 1999, a.a.O., S. 51

⁹⁶ Klier, J.; Braumöller, J.: Einsatz von CO₂-Kältemittel-Additiven für die Leckageerkennung. FKT 166/10, Frankfurt, August 2012

⁹⁷ Puhl, C., Fuchs Mineralölwerke: Telefonat am 1.10.2013.

11.2 Verfahren mit elektronischen Gassensoren

Je nach Aufstellungsort der Kälteanlage können ein gesamter Maschinenraum bzw. Aufstellungsraum oder aber ausgewählte Teile einer Kälteanlage (Einhausung und Absaugung von Luft über einen speziellen Absaugschlauch) mit Hilfe von Gassensoren überwacht werden. Eventuell können über eine Rohrleitung mit Löchern an relevanten Stellen auch mehrere potentielle Leckageorte mit einem Gassensor erfasst werden. Dies ist ein gängiges Verfahren in der chemischen Industrie. Unabhängig von der gewählten Methode muss sichergestellt sein, dass im Bereich der Messungen kein nennenswerter Luftaustausch stattfindet, der eine Erfassung von kleinen Leckagemengen verhindern würde. Die Norm EN 378 fordert für Maschinenräume mit Personenaufenthaltsbereich einen viermaligen Luftaustausch je Stunde. Bei zwangsbelüfteten Maschinenräumen wäre auch eine Platzierung des Gassensors im Abluftkanal denkbar.

Gasmessfühler mit Halbleitersensoren detektieren F-Gas-Kältemittel in Konzentrationen von ca. 5 bis 1.000 bzw. 2.000 ppm, wobei die Ansprechschwelle meist bei 1% des Maximalwertes liegt. Dies entspricht, je nach Kältemittel, zwischen 0,03 bzw. 0,06 (R410A) und 0,04 bzw. 0,08 (R404A oder R134a) g pro m³ Luft als Ansprechschwelle. Hiermit lassen sich laut Hersteller, entsprechend angepasste Luftbewegung vorausgesetzt, Lecks in der Größenordnung ab ca. 2 g/Jahr detektieren.⁹⁸ Ein Hersteller gibt sogar 0,3 g/Jahr als maximale Empfindlichkeit an.⁹⁹ Entsprechende mobile Fühler können auch zur Eingrenzung der Leckagestelle verwendet werden. Hierzu ist ggf. eine vorherige Lüftung des Aufstellortes erforderlich. Der elektronische Fühler sollte unbedingt vor jedem Einsatz mit einem Referenzleck getestet werden.

Als praktikable Messverfahren kommen laut ILK¹⁰⁰ derzeit folgende Prinzipien in Frage:

Flammenionisationsdetektor (FID) – hohe Anschaffungs- und Betriebskosten (Wasserstoffverbrauch) sowie Entstehung giftiger Rauchgase. Nachweisgrenze bei 1 ppm

Beheizte Halbleitergassensoren – begrenzte Lebensdauer (ca. 5 Jahre), jährliche Kalibrierung erforderlich, hohe Querempfindlichkeit gegenüber brennbaren Gasen, Nachweisgrenze bei 50 – 100 ppm

Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FTIR) – sehr hohe Anschaffungskosten (ca. 50 T€), Einsatz an Kälteanlagen in USA und Dänemark, Messstrecken von 10 bis einigen 100 m, Nachweisgrenze 20 ppb

Photoakustische Infrarotabsorption – Nachweisgrenze ab 1 ppm, ein Hersteller sogar 0,01 ppm

Laseroptische Verfahren – hohe Anschaffungskosten, Laserstrahl muss auf das entsprechende Kältemittel angepasst werden, Kalibrierung alle 2 Jahre, derzeitige Nachweisgrenze bei R134a 50 ppb

⁹⁸ ITE Tools. http://www.ite-tools.com/uploads/de/ITE_Elektronische_Mess_und_Kontrollinstrumente.pdf. Abgerufen am 5.10.2013.

⁹⁹ LOKTOOL von Vulkan Lokring, http://www.vulkan-lokring.com/fileadmin/lokring/Kataloge/Kaelteklima_Bereich/VULKAN_Lokring_1_MGLD3000_DE.pdf. Abgerufen am 5.10.2013

¹⁰⁰ ILK: Automatische Dichtheitskontrolle basierend auf den Forderungen der F-Gase-Verordnung. FKT 118/05, Frankfurt, Mai 2007.

Bei dem derzeitigen Stand der Technik ist die Leckageerkennung durch entsprechende Gassensoren nur mit erhöhtem Aufwand und höheren Kosten möglich. Messsensoren müssten für die heutigen Dichtheitsanforderungen eine Empfindlichkeit von deutlich unter 0,1 ppm aufweisen.¹⁰⁰

11.3 Innere Leckageerkennungssysteme

Bereits mit der Diskussion zum Ozonabbau in der Stratosphäre durch FCKW wurden seit Anfang der 1990er Jahre Versuche unternommen, die sich durch Kältemittelverluste ergebenden abweichenden Betriebsbedingungen mittels entsprechend intelligenter Auswertesysteme zu zuverlässigen Leckageerkennungssystemen auszubauen.

Infolge von Kältemittelverlust reduziert sich die Kältemittelfüllung einer Anlage. Diese Erscheinung wird u.a. sichtbar durch:

- a) Zu niedriger Flüssigkeitsstand im Sammler: Hierbei handelt es sich um einen der zuverlässigsten Hinweise auf Kältemittelverluste. Wenn das betreffende System einen Sammler mit Füllstandssensor enthält und der normale Flüssigkeitsstand bekannt ist, kann eine Kontrolle des Füllstandes auf einen Kältemittelverlust hindeuten. Die Kältemittelfüllmenge im Sammler kann sich aber auch auf Grund geänderter Temperaturen des Verflüssigers und/oder Verdampfers in diesen Bauteilen ändern, was ebenfalls zu einer Änderung des Kältemittelfüllstandes im Sammler führen kann. So variiert die Kältemittelfüllmenge von Trockenexpansionsverdampfern je nach Belastung zwischen 20 und 80% für Kühllasten von 100 bis 0%.¹⁰¹
- b) Eine absinkende Unterkühlung des Kältemittels nach dem Verflüssiger durch eine Abnahme der Kondensatmenge im Verflüssiger. Sowohl Tassou und Grace¹⁰² als auch Choi et al.¹⁰³ beschreiben eine Abnahme der Unterkühlung des Kältemittels nach dem Verflüssiger (siehe Abbildung 80). Im System von Tassou und Grace betrug die Reduzierung der Unterkühlung ungefähr 1 K für einen Kältemittelverlust von 10%, wohingegen die Abnahme bei Choi et al. fast 3 K für die ersten 5% Kältemittelverlust betrug. In beiden Untersuchungen war die Zunahme der Unterkühlung bei einer Überfüllung des Systems ausgeprägter als die Abnahme der Unterkühlung bei Kältemittelverlusten.

¹⁰¹ Breidenbach, K.: Der Kälteanlagenbauer, Band 2, C.F. Müller Verlag 4. Aufl. (2004) S.219.

¹⁰² Tassou, S.A.; Grace, I.N.: Fault diagnosis and refrigerant leak detection in vapour compression refrigeration systems. Int. J. Refr. 28 (2005), S. 680 – 688.

¹⁰³ Choi, H.; Cho, H.; Choi, J.M.: Refrigerant amount detection algorithm for a ground source heat pump unit. Renewable Energy 42 (2012), S. 111 – 117.

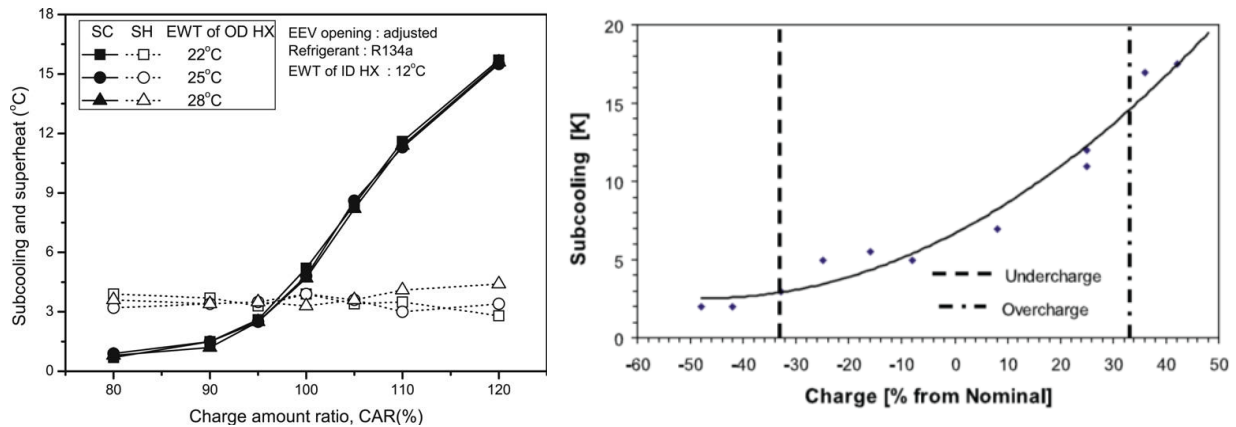


Abbildung 80: Einfluss der Kältemittelfüllmenge auf die Überhitzung (rechts (Tassou und Grace 2005)) und auf die Unterkühlung und Unterhitzung (links (Choi et al. 2012)).

- c) Eine zunehmende Überhitzung des Kältemittels am Austritt des Verdampfers durch abnehmende Kältemittelmenge im Verdampfer wird von Tassou und Grace¹⁰² als eine gute Möglichkeit der Leckageerkennung angeführt (Abbildung 81). Choi et al.¹⁰³ hingegen konnten nahezu keinen Einfluss der Kältemittelleckage auf die Überhitzung feststellen (Abbildung 80 links; Kurve für ‚superheat‘).

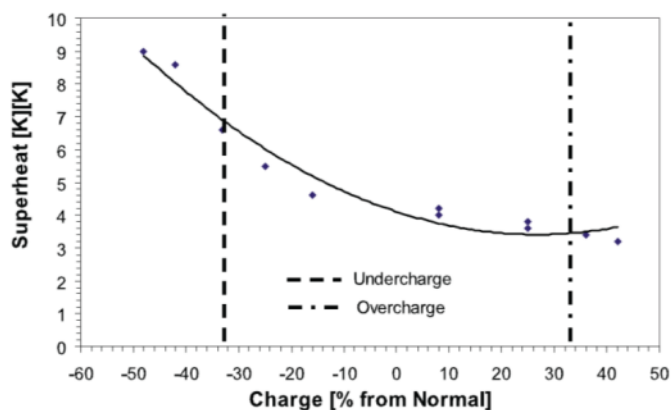


Abbildung 81: Abhängigkeit der Kältemittelüberhitzung am Austritt des Verdampfers von der Kältemittelfüllmenge (Tassou und Grace 2005).

- d) Zu niedrige Verdampfungstemperatur(en) bzw. Verdampfungsdruck und reduzierte Verflüssigungstemperatur bzw. Verflüssigungsdruck auf Grund des reduzierten Kältemittelmassenstroms (Grace et al.)¹⁰⁴ (Abbildung 82). Allerdings besteht auch in diesem Fall die Möglichkeit, dass die Flüssigkeitsleitung nicht frei ist oder dass das Expansionsventil nicht einwandfrei funktioniert, weil z.B. beim thermostatischen Expansionsventil die Fühlerfüllung abhandengekommen ist. Als Folge wird die geforderte Verdampfungstemperatur unterschritten und zu kühlende Nahrungsmittel können gefrieren oder Klimaanlage können vereisen.

¹⁰⁴ Grace, I.N.; Datta, D.; Tassou, S.A.: Sensitivity of refrigeration system performance to charge levels and parameters for on-line leak detection. Applied Thermal Engineering 25 (2005), S. 557 - 566

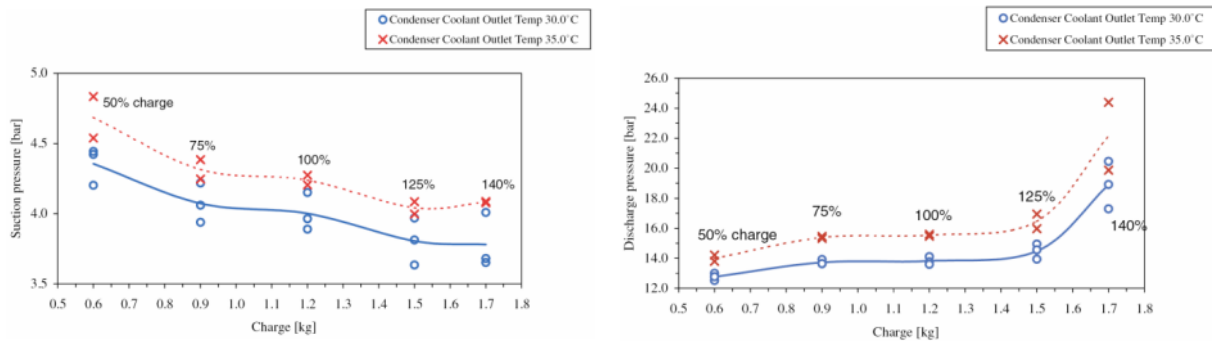


Abbildung 82: Einfluss der Kältemittelfüllmenge auf den Verdampfungs- (links) und Verflüssigungsdruck (rechts) (Grace et al. 2005).

- e) Hohe Einschaltfrequenzen des Verdichters: Im Allgemeinen gelten mehr als 12 Schaltvorgänge pro Stunde als überhöht. Zu häufiges Einschalten kann jedoch auch durch schlechtes Funktionieren oder falsches Einstellen der Regeleinrichtung bewirkt werden.
- f) Ein durch die Leckage verringerter Kältemittelmassenstrom kann zum Überhitzen des hermetischen oder halbhermetischen Verdichters führen. Der verringerte Kältemittelmassenstrom kann allerdings auch durch Fremdkörper im Leitungssystem mit entsprechender Verblockung des Strömungsquerschnitts verursacht werden.
- g) Die Leistungsaufnahme des Verdichters sinkt erst bei Kältemittelleckagen von mehr als 25%. Bei weiterem Kältemittelverlust sinkt die Leistungsaufnahme des Verdichters um ca. 7 – 8% bei 50% Kältemittelverlust.¹⁰⁴ Die erhöhte Einschaltfrequenz (siehe Punkt g) und verlängerte Laufzeit führen jedoch insgesamt zu einer steigenden Energieaufnahme (kWh).
- h) Ungenügende Kälteleistung durch zu geringe Menge an flüssigem Kältemittel im Verdampfer. Das kann dazu führen, dass der Verdichter ständig eingeschaltet bleibt. Die Kältemittelfüllung reicht in diesem Fall nicht aus, um die berechnete Kühlleistung sicherzustellen. Gleichzeitig steigt die Überhitzung des Kältemittels am Austritt des Verdampfers, siehe Abbildung 80. Die Auswirkung der Kältemittelfüllmenge auf die Kälteleistung einer Anlage ist allerdings nicht sehr groß. So fällt die Kälteleistung bei 10% Kältemittelverlust nur mit ca. 2 – 3% und bei 20% Kältemittelverlust ca. 5%.^{103,105} Erst bei Kältemittelverlusten von über 25% zeigen sich merkbare Auswirkungen auf die Kälteleistung, siehe Abbildung 83.¹⁰⁴

¹⁰⁵ Navarro-Esbrí, J.; Torella, E.; Cabello, R.: A vapour compression chiller fault detection technique based on adaptive algorithms. Application to on-line refrigerant leakage detection. Int. J. Refr. 29 (2006) S. 716 – 723.

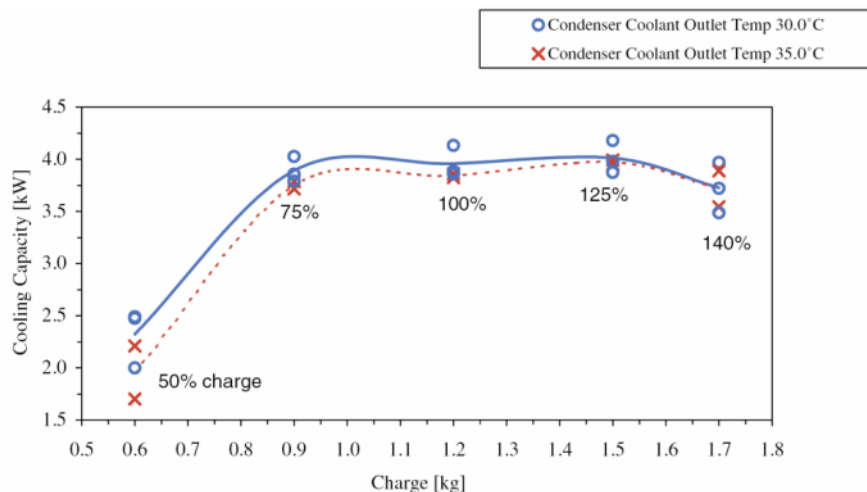


Abbildung 83: Abhängigkeit der Kälteleistung von der Kältemittelfüllmenge (Grace et al. 2005).

- i) Da sich, wie unter h) und i) beschrieben, sowohl die Kälteleistung als auch die Verdichterantriebsleistung ändern, hat ein Kältemittelverlust auch Einfluss auf die Kälteleistungszahl. Diese nimmt bei Kältemittelverlust ab. Choi et al.¹⁰³ berichten von ca. 10% verringerter Kälteleistungszahl bei einer Kältemittelleckage von 10% und ca. 20% reduzierter Kälteleistungszahl bei einer Kältemittelleckage von 20%. Dieses Verhalten ist nach Bailey und Kreider¹⁰⁶ bei Teillast der Kälteanlage ausgeprägter als bei Nennlast. Tassou und Grace¹⁰² und Navarro-Esbrí et al.¹⁰⁵ berichten jeweils für ein System ohne Sammler deutlich kleinere Einflüsse einer Kältemittelleckage auf die Kälteleistungszahl in der Größenordnung von wenigen Prozent bei 10% Kältemittelverlust. Tassou und Grace¹⁰² zufolge lassen sich Kältemittelleckagen erst ab ca. 30% Füllmengenverlust zuverlässig über die Abnahme der Kälteleistungszahl detektieren. Abbildung 84 zeigt diesen Zusammenhang grafisch.¹⁰⁴ Die mit zunehmendem Kältemittelverlust sinkende Kälteleistungszahl führt deshalb bei Kältemittelverlusten oberhalb von 25% zu einem erhöhten Energieverbrauch der betreffenden Kälteanlage, siehe auch Abbildung 74.

Wie die oben angeführten Punkte zeigen, sind die Symptome nicht immer eindeutig. Außerdem wurden viele der Untersuchungen an Kälteanlagen mit nur einem Verdampfer und einem Verflüssiger durchgeführt, d.h. die Ergebnisse sind nicht unbedingt auf Verbundanlagen oder Anlagen mit saisonaler Wärmerückgewinnung übertragbar. Auch gibt es Hinweise darauf, dass die Kältemittelleckage der am schwierigsten zu detektierende Fehler einer Kälteanlage ist.¹⁰⁷ Dennoch gibt es entsprechende Versuche, aus den genannten abweichenden Betriebsparametern auf Kältemittelverluste zu schließen.

¹⁰⁶ Bailey, M.B.; Kreider, J.F.: Creating an automated chiller fault detection and diagnostics tool using a data fault library. ISA Transactions 42 (2003), S. 485 – 495.

¹⁰⁷ Han, H.; Gu, B.; Kang, J.; Li, Z.R.: Study on hybrid SVM model for chiller FDD applications. Applied Thermal Engineering 31 (2011) S. 582 – 592.

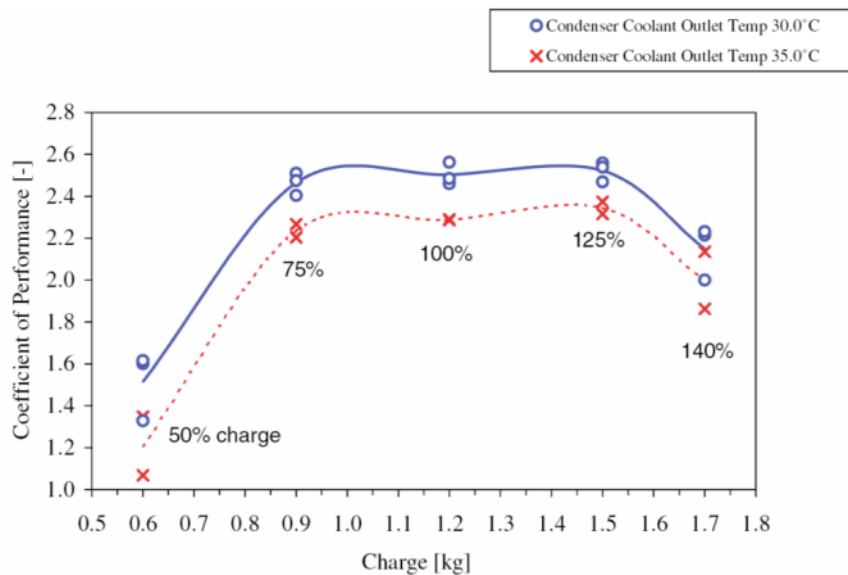


Abbildung 84: Abhängigkeit der Kälteleistungszahl von der Kältemittelfüllmenge (Grace et al. 2005).

Kim und Braun¹⁰⁸ beschreiben ein Verfahren, welches allein durch die Auswertung von vier gemessenen Temperaturen (Verdampfungstemperatur, Überhitzung des Kältemittels am Verdampferaustritt, Verflüssigungstemperatur und Unterkühlung des Kältemittels am Austritt des Verflüssigers) Leckagen von 10% und mehr an Systemen ohne Kältemittelsammler zuverlässig melden kann. Auch Grace et al.¹⁰⁹ schlagen die Verwendung der Überhitzung und Unterkühlung, jedoch nur zusammen mit dem Verflüssigungsdruck, vor. Zhao et al.¹¹⁰ geben an, bereits mit der Verflüssigungstemperatur und der Unterkühlung Kältemittelleckagen mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% vorausszusagen.

Heutzutage wird insbesondere durch geeignete mathematische Methoden¹¹¹ versucht, die große Menge an möglichen Informationen zu einer zuverlässigen Fehlerdiagnose zu verwenden. So werden z.B. mit Hilfe der Support Vector Data Description SVDD Kältemittelleckagen von 10% mit einer Wahrscheinlichkeit von 65% vorausgesagt, 20%

¹⁰⁸ Kim, W.; Braun, J.E.: Performance evaluation of a virtual refrigerant charge sensor. *Int. J. Refr.* 36 (2013), S. 1130 – 1141.

¹⁰⁹ Grace, I.N.; Datta, D.; Tassou, S.A.: Sensitivity of refrigeration system performance to charge levels and parameters for on-line leak detection. *Applied Thermal Engineering* 25 (2005), S. 557 – 566.

¹¹⁰ Zhao, Y.; Wang S.; Xiao, F.: Pattern recognition-based chillers fault detection method using Support Vector Data Description (SVDD). *Applied Energy* 112 (2013a), S. 1041 – 1048.

¹¹¹ Bailey, M.B.; Kreider, J.F.: Creating an automated chiller fault detection and diagnostics tool using a data fault library. *ISA Transactions* 42 (2003), S. 485 – 495; Han, H.; Gu, B.; Wang, T. Li, Z.R.: Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning. *Int. J. Refr.* 34 (2011a) S. 586 – 599; Han, H.; Gu, B.; Kang, J.; Li, Z.R.: Study on hybrid SVM model for chiller FDD applications. *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) S. 582 – 592; Ren, N.; Liang, J.; Gu, B.; Han, H.: Fault diagnosis strategy for incompletely described samples and its application to refrigeration system. *Mechanical Systems and Signal Processing* 22 (2008) S. 436 – 450; Zhao, Y.; Wang S.; Xiao, F.: Pattern recognition-based chillers fault detection method using Support Vector Data Description (SVDD). *Applied Energy* 112 (2013a), S. 1041 – 1048.

Leckage mit 81% und 30% Leckage mit einer Wahrscheinlichkeit von 97%¹¹² – allerdings sind für dieses System auch 16 Sensoren notwendig. Unter Einbeziehung aller an einer Verbundkälteanlage installierten Sensoren konnte ein von Assawamartbunlue und Brandemuehl¹¹³ entwickelter Algorithmus bereits Kältemittelleckagen von 1% entsprechend 5,3 kg an einer Supermarktkälteanlage in neun von zehn Fällen richtig detektieren.

Daneben sind Verfahren denkbar und werden z. T. auch angewandt, die den Kältemittelfüllstand im Sammler überwachen; entweder generell während des Betriebs unter definierten Betriebsbedingungen oder nach dem Rückpumpen des Kältemittels bei definierten Bedingungen in der Anlage.¹¹⁴

Mit Ausnahme des von Assawamartbunlue und Brandemuehl¹¹³ vorgestellten Verfahrens, verfügen alle anderen inneren Leckageerkennungssysteme mit ihrer jeweiligen Erkennung ab ca. 10% Leckage nicht über eine genügende Empfindlichkeit, um bereits kleinere Leckagen zuverlässig zu detektieren. Zu diesem Schluss kam auch das ILK.¹¹⁴

Herkömmliche Dichtheitskontrollsysteme mit Füllstandsüberwachung am Kältemittelsammler melden eine Leckage erst, nachdem umfangreichere Kältemittelmengen ausgetreten sind. Kleinere Verluste, die sich nach längeren Überwachungszeiträumen bemerkbar machen, bleiben häufig unentdeckt.

Ein Hersteller von Gewerbekälteanlagen hat deshalb ein System für die frühzeitige indirekte Erkennung von Leckagen an Kälteanlagen entwickelt. Das System erfasst durch zusätzliche Sensoren am Verflüssiger und Kältemittelsammler sowie eine intelligente Regelungstechnik selbst kleinste Kältemittelverluste an großen Anlagen mit einer Genauigkeit von fünf Prozent und signalisiert diese dem Betreiber.¹¹⁵

Eine französische Firma bietet ein System an, welches durch die elektronische Auswertung der Anlagenparameter wie Hochdruck, Kältemitteltemperatur und Kältemittelfüllstand im Sammler, Austrittstemperatur Verflüssiger sowie Umgebungstemperatur über entsprechende Algorithmen Kältemittelleckagen detektiert und entsprechende Warnmeldungen ausgibt.¹¹⁶ Die Firma ist sich der Funktionsfähigkeit des Systems so sicher, dass sie Betreibern eine „Versicherung“ auf die enthaltene Kältemittelmenge anbietet.

Ein Hersteller von Klimaanlageanlagen bietet für seine VRV-Anlagen auch bei Installationen mit mehreren Innengeräten eine automatische Befüllung der Anlage und eine automatische Dichtheitsprüfung während des Betriebs an. Auch bei diesem System werden

¹¹² Zhao, Y.; Xiao, F.; Wang, S.: An intelligent chiller fault detection and diagnosis methodology using Bayesian belief network. *Energy and Buildings* 57 (2013b), S. 278 – 288.

¹¹³ Assawamartbunlue, K.; Brandemuehl, M.J.: Refrigerant Leakage Detection and Diagnosis for a Distributed Refrigeration System. *HVAC&R Research* 12 (2006), S. 389 – 405.

¹¹⁴ ILK: Automatische Dichtheitskontrolle basierend auf den Forderungen der F-Gase-Verordnung. FKT 118/05, Frankfurt, Mai 2007

¹¹⁵ http://www.kka-online.info/.news/kka_Epta_Kleinste_Kaeltemittelverluste_erkennen_1213304.html, Download am 5.10.2013.

¹¹⁶ www.matelex.fr

umfangreiche Sensoren ausgewertet und mit einem vom Hersteller definierten Standardbetrieb (Daten aus der automatischen Befüllung) der Anlage verglichen. Dazu werden speziell für diese Funktion definierte Zieldruckniveaus für Hoch- und Niederdruckseite angefahren. Weichen die aktuellen Werte ab, z.B. zu niedrige Verdampfungstemperatur oder zu große Unterkühlung oder Überhitzung, gibt die Elektronik eine entsprechende Fehlermeldung aus.

12 Kurzanleitung zur Überprüfung der Anlagen vor Ort

Kältemittelleckagen lassen sich auf direktem und indirektem Weg vor Ort feststellen. Der direkte Weg führt über Konzentrationsmessungen in der Raumluft. Moderne elektronische Messfühler erlauben bei geringer Luftbewegung die Detektion von Lecks bis unterhalb 0,3 g/Jahr. Mobile Fühler können auch zur Eingrenzung der Leckagestelle verwendet werden. Hierzu ist ggf. eine vorherige Lüftung des Aufstellortes erforderlich. Der elektronische Fühler sollte unbedingt vor jedem Einsatz mit einem Referenzleck getestet werden. Zur genauen Lokalisation der Leckagestelle an in Betrieb befindlichen Kälteanlagen kann dann der Seifenblasentest (Lecksuchspray) verwendet werden. Sichtbarer Ölaustritt an Kälteanlagen mit ölgeschmierten Verdichtern kann ebenfalls ein guter Indikator für eine Leckagestelle sein. Allerdings besteht hier die Möglichkeit der Fehlindikation durch Ölreste früherer Leckagen.

Indirekt lassen sich Kältemittelleckagen auch über verändertes Betriebsverhalten der Anlage feststellen (siehe auch 11.3).

Entsprechende Effekte werden u.a. sichtbar durch:

- a) Blasen im Schauglas: Dieser Indikator ist nicht sehr zuverlässig, da Blasen auch auf Strömungsdruckverlust verursachende Fremdkörper in der Flüssigkeitsleitung oder einen teilweise zugesetzten Filtertrockner zurückzuführen sein können.
- b) Zu niedriger Flüssigkeitsstand im Sammler: Hierbei handelt es sich um einen der zuverlässigsten Hinweise auf Kältemittelverluste. Wenn das System einen Sammler mit Schauglas enthält und der normale Flüssigkeitsstand bekannt ist, kann eine Kontrolle des Füllstandes auf Kältemittelverlust hindeuten. Die Kältemittelfüllmenge im Sammler kann sich aber auch auf Grund geänderter Temperaturen des Verflüssigers und/oder Verdampfers ändern, was ebenfalls zu einer Änderung des Kältemittelfüllstandes im Sammler führen kann. So variiert die Kältemittelfüllmenge von Trockenexpansionsverdampfern je nach Belastung zwischen 20% und 80% für Kühllasten von 100% bis 0%.¹¹⁷
- c) Eine absinkende Unterkühlung des Kältemittels nach dem Verflüssiger durch eine Abnahme der Kondensatmenge im Verflüssiger. Die Reduzierung der Unterkühlung kann ungefähr 1-2 K für einen Kältemittelverlust von 10% betragen. Der Kältemittelverlust führt zu einer zunehmenden Überhitzung des Kältemittels am Austritt des Verdampfers (ca. 1 K höhere Überhitzung pro 10% Kältemittelverlust ab ca. 10% Verlust).
- d) Zu hohe Verdampfungstemperatur(en) bzw. Verdampfungsdruck (ca. 10% bei einem Kältemittelverlust von 50%) und Reduzierung von Verflüssigungstemperatur bzw. Verflüssigungsdruck (ca. 10% bei einem Kältemittelverlust von 50%) auf Grund des reduzierten Kältemittelmassenstroms. Allerdings kann bei geringer Wärmezufuhr zum Verdampfer (kleine Kühllast) eine sinkende Kältemittelfüllmenge auch eine reduzierte Verdampfungstemperatur und einen reduzierten Verdampfungsdruck zur Folge haben. Eine reduzierte Verdampfungstemperatur kann jedoch auch Folge einer Verstopfung der Flüssigkeitsleitung sein oder dass das Expansionsventil nicht einwandfrei funktioniert, weil z.B. beim thermostatischen Expansionsventil die Fühlerfüllung

¹¹⁷ Breidenbach, K.: Der Kälteanlagenbauer, Band 2, C.F. Müller Verlag 4. Aufl. (2004) S.219.

abhanden gekommen ist. Als Folge wird die geforderte Verdampfungstemperatur unterschritten, und zu kühlende Nahrungsmittel können gefrieren oder Klimaanlage vereisen.

- e) Hohe Einschaltfrequenzen des Verdichters: Im Allgemeinen gelten mehr als 12 Schaltvorgänge pro Stunde als überhöht. Zu häufiges Einschalten kann jedoch auch durch schlechtes Funktionieren oder falsches Einstellen der Regeleinrichtung bewirkt werden.
- f) Ein durch die Leckage verringerter Kältemittelmassenstrom kann zum Überhitzen des hermetischen oder halbhermetischen Verdichters führen. Der verringerte Kältemittelmassenstrom kann allerdings auch durch Fremdkörper im Leitungssystem mit entsprechender Verblockung des Strömungsquerschnitts verursacht werden kann.
- g) Die Leistungsaufnahme des Verdichters sinkt erst bei Kältemittelleckagen von mehr als 25%. Bei weiterem Kältemittelverlust sinkt die Leistungsaufnahme des Verdichters um ca. 7 – 8% bei 50% Kältemittelverlust.¹¹⁸
- h) Die zu geringe Menge an flüssigem Kältemittel im Verdampfer führt zu einer reduzierten Kälteleistung, die sich durch eine erhöhte Raum- und/oder Produkttemperatur bemerkbar macht. Das kann dazu führen, dass der Verdichter ständig eingeschaltet bleibt, was ebenfalls festgestellt werden kann. Die Kältemittelfüllung reicht in diesem Fall nicht aus, um die berechnete Kühlleistung sicherzustellen. Gleichzeitig steigt die Überhitzung des Kältemittels am Austritt des Verdampfers, siehe Abbildung 80. Die Auswirkung der Kältemittelfüllmenge auf die Kälteleistung einer Anlage ist allerdings nicht sehr groß. So fällt die Kälteleistung bei 10% Kältemittelverlust nur um ca. 2 – 3% und bei 20% Kältemittelverlust um ca. 5%.¹¹⁹ Erst bei Kältemittelverlusten von über 25% zeigen sich spürbare Auswirkungen auf die Kälteleistung und damit auf die Raum- und/oder Produkttemperatur.¹¹⁸

Die Symptome sind nicht immer eindeutig, und viele der Untersuchungen wurden an Kälteanlagen mit nur einem Verdampfer und einem Verflüssiger durchgeführt, d.h. die Ergebnisse sind nicht unbedingt auf Verbundanlagen oder Anlagen mit saisonaler Wärmerückgewinnung übertragbar.

Auch gibt es Hinweise, dass die Kältemittelleckage der am schwierigsten zu detektierende Fehler einer Kälteanlage ist.¹²⁰ Damit wird der Vorteil einer direkten Methode (Gassensor im Aufstellungsraum) für die Leckbestimmung deutlich. Allerdings haben derartige Gassensoren dort ihre Grenzen, wo Aufstellungsorte gut belüftet sind (z.B. im Freien oder in einem gut belüfteten Maschinenraum) oder die Kältemittelleckage sehr langsam über einen langen Zeitraum erfolgt.

¹¹⁸ Grace, I.N.; Datta, D.; Tassou, S.A.: Sensitivity of refrigeration system performance to charge levels and parameters for on-line leak detection. *Applied Thermal Engineering* 25 (2005), S. 557 – 566.

¹¹⁹ Choi, H.; Cho, H.; Choi, J.M.: Refrigerant amount detection algorithm for a ground source heat pump unit. *Renewable Energy* 42 (2012), S. 111 – 117; Navarro-Esbrí, J.; Torella, E.; Cabello, R.: A vapour compression chiller fault detection technique based on adaptive algorithms. Application to on-line refrigerant leakage detection. *Int. J. Refr.* 29 (2006) S. 716 – 723.

¹²⁰ Han, H.; Gu, B.; Kang, J.; Li, Z.R.: Study on hybrid SVM model for chiller FDD applications. *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) S. 582 – 592.

Eine Checkliste zur Überprüfung von stationären Kälteanlagen vor Ort ist im Anhang II beigefügt.

13 Literaturverzeichnis

- Arneemann, M. 2014, Ergebnisse einer energetischen und ökologischen Analyse der Kältetechnologien in Deutschland, Herausforderungen für Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik (Veranstaltung des DKV und des IZW), Darmstadt, 25.2.2014.
- Assawamartbunlue, K.; Brandemuehl, M.J.: Refrigerant Leakage Detection and Diagnosis for a Distributed Refrigeration System. HVAC&R Research 12 (2006), S. 389 – 405.
- Bailey, M.B.; Kreider, J.F.: Creating an automated chiller fault detection and diagnostics tool using a data fault library. ISA Transactions 42 (2003), S. 485 – 495.
- Birndt, R. 1999: *Dichtheit von Kälteanlagen* hergestellt im Rahmen des AiF-Vorhaben-Nr.: 11340 B für das Institut für Luft- und Kältetechnik GmbH, Dresden, September 1999.
- Bostock, D. 2007: *Designing to minimise the risk of refrigerant leakage*, IOR Annual Conference, Institute of Refrigeration, Surrey (UK).
- Breidenbach, K.: Der Kälteanlagenbauer, Band 2, C.F. Müller Verlag 4. Aufl. (2004) S.219.
- Bruyckere, D. 2010: Fachgespräch mit Dan de Bruyckere (STEK), Brüssel, 4.5.2010 und 18.1.2011.
- Center for Energy and Environmental Sciences an der University of Groningen (IVEM) 2008: Freezing HFC emissions, Reduction of HFC-emissions in commercial refrigeration in the Netherlands by the STEK- regulation - an actor study, IVEM, Groningen Online: <http://ivem.eldoc.ub.rug.nl/ivempubs/dvrapp/EES-2008/EES-2008-50T/?pFullItemRecord=ON>.
- Choi, H.; Cho, H.; Choi, J.M.: Refrigerant amount detection algorithm for a ground source heat pump unit. Renewable Energy 42 (2012), S. 111 – 117.
- Cowan, D.; Gartshore, J.; Chaer, I.; Francis, C.; Maidment, G. 2010: *REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project*. Institute of Refrigeration, Surrey (UK) Online: http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/IOR_ReducingRefrigerantEmissions.pdf.
- ETSU, 1997, Good practice Guide 178, Cutting the cost of refrigerant leakage, ETSU – Energy Technology Support Unit, Harwell
- European Partnership for Energy and the Environment (EPEE) 2010: *Eco-Efficiency Study of Supermarket Refrigeration*, EPEE, London.
- Forschungsrat Kältetechnik e.V. (FKT): Verbesserung der Dichtheit kältetechnischer Erzeugnisse. Studie des FKT, Januar 2003.
- Forschungsrat Kältetechnik e.V. (FKT): Dichtheit von Kälteanlagen. Bericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11340, Dezember 1999.
- Grace, I.N.; Datta, D.; Tassou, S.A.: Sensitivity of refrigeration system performance to charge levels and parameters for on-line leak detection. Applied Thermal Engineering 25 (2005), S. 557 – 566.

- Han, H.; Gu, B.; Wang, T. Li, Z.R.: Important sensors for chiller fault detection and diagnosis (FDD) from the perspective of feature selection and machine learning. Int. J. Refr. 34 (2011a) S. 586 – 599.
- Han, H.; Gu, B.; Kang, J.; Li, Z.R.: Study on hybrid SVM model for chiller FDD applications. Applied Thermal Engineering 31 (2011) S. 582 – 592.
- Huchet, A.; Hermon, C.; Morio, Y.: Containment of Refrigeration Installations - Results of Studies. IIR 22. Int. Congr. of Refr., Peking, China, 21. – 26. August 2007.
- IIR: Containment of Refrigerants within Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Systems. 24th Informatory Note on Refrigeration Technologies, 2014.
- ILK: Informationsschrift zum VDMA-Einheitsblatt 24 243 "Kältemaschinen und -anlagen Dichtheit von Kälteanlagen und Wärmepumpen Lecksuche / Dichtheitsprüfung". März 2006.
- ILK: Automatische Dichtheitskontrolle basierend auf den Forderungen der F-Gase-Verordnung. FKT 118/05, Frankfurt, Mai 2007.
- Institute of Refrigeration (IOR) 2009: *Real Zero Case Study 1*, Institute of Refrigeration, Surrey (UK) Online:
http://www.realzero.org.uk/web_images/documents/casestudy1RETAIL.pdf.
- Institute for European Environmental Policy (IEEP) 2005: *Is STEK as good as reported?*, IEEP, Brüssel.
- Kim, W.; Braun, J.E.: Performance evaluation of a virtual refrigerant charge sensor. Int. J. Refr. 36 (2013), S. 1130 – 1141.
- Klier, J.; Braumöller, J.: Einsatz von CO₂-Kältemittel-Additiven für die Leckageerkennung. FKT 166/10, Frankfurt, August 2012.
- Korn, D. 2013: Störfälle in Rohrsystemen von Kälteanlagen. VDE Verlag, Berlin.
- Metro AG 2013: *Klimabilanz 2013*, Metro AG, Düsseldorf Online:
http://www.metrogroup.de/internet/site/metrogroup/get/documents/metrogroup_international/corpsite/07_sustain/publications/carbon-footprint-environmental-indicators-2013-de.pdf
- Öko-Recherche 2004: *Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002 - Anpassung an die Anforderungen der internationalen Berichterstattung und Implementierung der Daten in das zentrale System Emissionen (ZSE)* hergestellt für das Umweltbundesamt, Frankfurt am Main, April 2004.
- Navarro-Esbrí, J.; Torella, E.; Cabello, R.: A vapour compression chiller fault detection technique based on adaptive algorithms. Application to on-line refrigerant leakage detection. Int. J. Refr. 29 (2006) S. 716 – 723.
- Pearson, A. B.: Chillers for building retrofit – low charge, leakproof, R134a. IOR 2005.
- Puhl, C., Fuchs Mineralölwerke: Telefonat am 1.10.2013.
- Ren, N.; Liang, J.; Gu, B.; Han, H.: Fault diagnosis strategy for incompletely described samples and its application to refrigeration system. Mechanical Systems and Signal Processing 22 (2008) S. 436 – 450.

Schwarz, W., Kimmel, T. und Gschrey, B. 2013: *Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen* hergestellt für das Umweltbundesamt, Frankfurt am Main, 2013 (nicht veröffentlicht).

Schwarz, W., Leisewitz, A., Gschrey, B., Herold, A., Gores, S., Papst, I., Usinger, J., Colbourne, D., Kauffeld, M., Pedersen, P.-H., Croiset, I. 2011: *Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Annexes to the Final Report*, prepared for the European Commission in the context of Service Contract No 070307/2009/548866/SER/C4, Frankfurt am Main, September 2011.

Tassou, S.A.; Grace, I.N.: Fault diagnosis and refrigerant leak detection in vapour compression refrigeration systems. *Int. J. Refr.* 28 (2005), S. 680 – 688.

Umweltbundesamt (UBA) 2008: *Vergleichende Bewertung der Klimarelevanz von Kälteanlagen und -geräten für den Supermarkt*. Rhiemeier J., Harnisch J., Ters C. Kauffeld M., Leisewitz A., Dessau-Roßlau, Dezember 2008.

VDMA 2009 (Autor: Guntram Preuß): Branchenbericht Deutscher Markt für Kältetechnik 2009: Bestand an Kältesystemen in Deutschland nach Einsatzgebieten, Marktvolumen für kältetechnische Anwendungen. Frankfurt am Main, 15.12.2009.

VDMA 2011 (Autor: Guntram Preuß): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland. Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten. Frankfurt am Main, 004.04.2011.

Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V. (VDKF) 2013: *Kälte-Klima Konjunktur-Umfrage 2013*, Bonn Online: <http://www.vdkf.de/index.php/129-kaelte-klima-konjunkturumfrage-2013-i>

Zaremski, W. und Hudetz, V. 2013: *Leakage and Energy Control System*, Vortrag auf der DKV Deutsche Kälte- und Klimatagung 2013, Hannover, 22. November 2013.

Zhao, Y.; Wang S.; Xiao, F.: Pattern recognition-based chillers fault detection method using Support Vector Data Description (SVDD). *Applied Energy* 112 (2013a), S. 1041 – 1048.

Zhao, Y.; Xiao, F.; Wang, S.: An intelligent chiller fault detection and diagnosis methodology using Bayesian belief network. *Energy and Buildings* 57 (2013b), S. 278 – 288.

14 Anhang

Anhang I – Checkliste zur Überprüfung von Anlagen vor Ort

Anhang II – Handbuch zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten

Anhang III – Fragebogen der Anlagenbegehungen

Anhang I – Checkliste zur Überprüfung von stationären Kälteanlagen vor Ort

Die folgenden Punkte sollten bei Inbetriebnahme bzw. nach größeren Umbauten vor Ort überprüft werden, da sie das Leckagerisiko reduzieren (s. auch Kapitel 10).

1. Rohrleitungen		
1.1 Sind ausschließlich geeignete Löt- und Schweißverfahren verwendet worden? Diese sind auf Grund der höheren Dichtheit jeglicher Art von Schraubverbindungen (z.B. Flansch oder Bördel) vorzuziehen.	☺	☹
1.2 Sind die Lötverbindungen mit Kupferlot ausgeführt (kuperfarbenes Lot)? - Anstelle von Silberlot (silberfarben).	☺	☹
1.3 Ist die Verrohrung der Anlage so ausgelegt, dass keine Kräfte und Spannungen in den Leitungen entstehen können?	☺	☹
1.4 Sind geeignete Halterungen für lange Leitungsabschnitte vorhanden? Lassen diese Längenänderungen der Kältemittelleitungen zu?	☺ ☺	☹ ☹
1.5 Ist die Anzahl an Fügestellen durch geschickte Wahl der Rohrleitungsführung und entsprechende Nutzung von Rohrbiegewerkzeugen anstelle von Löt fittings möglichst klein?	☺	☹
1.6 Sind Schwingungsdämpfer/ Kompensatoren (z.B. Wellschläuche) an Sauggas- und Druckgasleitung montiert? Werden diese quer bewegt, d.h. in radialer Richtung?	☺ ☺	☹ ☹
1.7 Sind Absperrventile an entsprechenden Stellen vorhanden, um Kältemittelverluste bei der Wartung zu vermeiden bzw. zu minimieren? Die Absperrventile müssen so ausgeführt sein, dass sie nicht selber eine Leckagequelle darstellen.	☺	☹
1.8 Ist vor allen Serviceventilen ein Absperrhahn eingebaut? Die Kappen der Serviceventile werden häufig im Laufe der Zeit undicht.	☺	☹
1.9 Ist auf unnötige Absperr-, Rückschlag- und Schraderventile verzichtet worden?	☺	☹
1.10 Wurden Edelstahl-Schraderventile verwendet?	☺	☹
1.11 Sind die Kältemittelleitungen vor Beschädigung geschützt verlegt? Z.B. keine über den Maschinenrahmen hervorstehenden Teile oder Rohre oder Rohrleitungen in Durchgangswegen.	☺	☹
1.12 Blasen die Sicherheitsventile von der Hochdruck- in die Niederdruckseite und damit erst im zweiten Schritt in die Umgebung ab?	☺	☹
1.13 Sind sämtliche Schraubverbindungen durch Loctite oder ähnlichen Kältemittelkompatiblen Dichtstoff zusätzlich abgedichtet? Ggf. den Kälteanlagenbauer befragen.	☺	☹

1. Rohrleitungen		
1.14 Wurden Kupfer- anstelle von Gummidichtungen verwendet? Ggf. den Kälteanlagenbauer befragen.	☺	☹

2. Verdichter		
2.1 Wird Schwingungsbrüchen durch eines der beiden folgenden Verfahren vorgebeugt: i. Sind Schwingungsdämpfer in den Verbindungsleitungen zum und vom Verdichter sowie an der Verdichteraufhängung montiert? ODER ii. Sind die Verbindungsleitungen zwischen Verdichter und anschließenden Komponenten kurz und steif?	☺	☹
2.2 Ergeben sich im gesamten Drehzahlbereich des Verdichters keine Resonanzen? Evtl. sind Änderungen der Befestigung und der Rohrleitungen zur Vermeidung von Resonanzfrequenzen im Drehzahlbereich des Verdichters erforderlich.	☺	☹
2.3 Wurden (Edel-)Stahlrohre auf der Heißgasseite verwendet? Diese sind beständiger gegen Schwingungsbrüche als Kupferrohre.	☺	☹
2.4 Ist bei offenen Verdichtern (Anlagen mit großer Kälteleistung) eine feste Verbindung zwischen Motor und Verdichter zur Vermeidung von Ausrichtfehlern und daraus resultierenden Schwingungen eingebaut?	☺	☹

3. Komponenten		
3.1 Sind qualitativ hochwertige Komponenten mit entsprechenden Zulassungen für die zu erwartenden Temperaturen und Drücke verwendet worden? Typenschilder prüfen!	☺	☹
3.2 Ist die Installation von austauschbaren Komponenten wie Filtertrocknern so erfolgt, dass das Demontieren und Austauschen mit möglichst geringen Kältemittelverlusten möglich ist?	☺	☹
3.3 Sind Komponenten mit geringem Kältemittelvolumen eingebaut? z.B. Minichannel-Verflüssiger, Plattenwärmeübertrager, kleine Abscheider etc.	☺	☹
3.4 Ist das Sammlervolumen maximal reduziert? Bzw. wurde gänzlich auf einen Kältemittelsammler verzichtet? Der gänzliche Verzicht auf einen Sammler ist nicht immer möglich.	☺	☹

4. Allgemein		
4.1 Erfolgt die Abtauung mit warmem, flüssigem Kältemittel anstelle von Heißgas, um die thermische Belastung der Bauteile niedrig zu halten?	☺	☹
4.2 Wurde eine ordnungsgemäße Dichtheitsprüfung vor Inbetriebnahme durchgeführt? Insbesondere mit erhöhtem Anlagendruck.	☺	☹

5. Leckagekontrolle vor Ort		
5.1 Eine direkte Leckagekontrolle durch entsprechende Konzentrationsmessungen in der Raumluft wurde durchgeführt. Die Messung hat kein Kältemittel in der Raumluft festgestellt. Zur Beachtung: Derartige Gassensoren haben dort ihre Grenzen wo Aufstellungsorte gut belüftet sind (z.B. im Freien oder in einem gut belüfteten Maschinenraum) oder die Kältemittelleckage sehr langsam über einen langen Zeitraum erfolgt. Moderne elektronische Messfühler erlauben bei entsprechender geringer Luftbewegung die Detektion von Lecks herab zu 0,3 g/Jahr. Entsprechende mobile Fühler können auch zur Eingrenzung der Leckagestelle ermittelt werden. Hierzu ist ggf. eine vorherige Lüftung des Aufstellortes erforderlich. Der elektronische Fühler sollte unbedingt vor jedem Einsatz mit einem Referenzleck getestet werden. Zur genauen Lokalisation der Leckagestelle an in Betrieb befindlichen Kälteanlagen kann dann der Seifenlaugentest (Lecksuchspray) verwendet werden.	☺ ☺	☹ ☹
5.2 Bei Kältemittelleckagevermutung durch Ansprechen des Konzentrationsmessgeräts (s. 5.1): Seifenlaugentest wurde durchgeführt Leckage wurde an folgenden Orten festgestellt:	☺	☹
5.3 Indirekte Leckagekontrolle wurde durchgeführt. Siehe nachfolgende Punkte für Details.	☺	☹
5.3.1 Es wurden keine Blasen im Schauglas festgestellt. Dies kann allerdings auch auf Strömungsdruckverlust verursachende Fremdkörper in der Flüssigkeitsleitung oder einen teilweise zugesetzten Filtertrockner zurückzuführen sein.	☺	☹
5.3.2 Der Flüssigkeitsstand im Sammler ist im Rahmen der normalen Betriebszustände. Hierbei handelt es sich um einen der zuverlässigsten Hinweise auf Kältemittelverluste. Wenn das betreffende System einen Sammler mit Schauglas enthält und der normale Flüssigkeitsstand bekannt ist, kann eine Kontrolle des Füllstandes auf einen Kältemittelverlust hindeuten. Die Kältemittelfüllmenge im Sammler kann sich aber auch auf Grund geänderter Temperaturen des Verflüssigers und/oder Verdampfers in diesen Bauteilen ändern, was ebenfalls zu einer Änderung des Kältemittelfüllstandes im	☺	☹

5. Leckagekontrolle vor Ort		
Sammler führen kann. So variiert die Kältemittelfüllmenge von Trockenexpansionsverdampfern je nach Belastung zwischen 20 und 80% für Kühllasten von 100 bis 0%.		
5.3.3 Unterkühlung des Kältemittels nach dem Verflüssiger liegt im Rahmen der normalen Betriebswerte (zwischen 4 und 10 K). Auf historische Daten der betreffenden Kälteanlage zurückgreifen! Eine absinkende Unterkühlung des Kältemittels nach dem Verflüssiger kann durch eine Abnahme der Kondensatmenge im Verflüssiger hervorgerufen sein. Die Reduzierung der Unterkühlung kann ungefähr 1-2 K für einen Kältemittelverlust von 10% betragen.	☺	☹
5.3.4 Die Überhitzung des Kältemittels am Austritt des Verdampfers liegt im Rahmen der normalen Betriebswerte (zwischen 5 und 10 K). Auf historische Daten der betreffenden Kälteanlage zurückgreifen! Der Kältemittelverlust führt zu einer zunehmenden Überhitzung des Kältemittels am Austritt des Verdampfers (ca. 1 K höhere Überhitzung pro 10% Kältemittelverlust ab ca. 10% Verlust).	☺	☹
5.3.5 Die Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen bzw. Verdampfungs- und Verflüssigungsdrücke liegen im Rahmen der normalen Betriebswerte bzw. passen zu den aktuellen Umgebungstemperaturwerten und Kühllasten. Auf historische Daten der betreffenden Kälteanlage zurückgreifen! Zu hohe Verdampfungstemperatur(en) bzw. Verdampfungsdruck und Reduzierung von Verflüssigungstemperatur bzw. Verflüssigungsdruck können durch einen auf Grund von Kältemittelleckage reduzierten Kältemittelmassenstrom hervorgerufen sein. Die Verdampfungstemperatur(en) bzw. Verdampfungsdruck steigen um ca. 10% bei einem Kältemittelverlust von 50%; die Verflüssigungstemperatur bzw. Verflüssigungsdruck sinken um ca. 10% bei einem Kältemittelverlust von 50% auf Grund des reduzierten Kältemittelmassenstroms. Allerdings kann bei geringer Wärmezufuhr zum Verdampfer (kleine Kühllast) eine sinkende Kältemittelfüllmenge auch eine reduzierte Verdampfungstemperatur und einen reduzierten Verdampfungsdruck zur Folge haben. Eine reduzierte Verdampfungstemperatur kann jedoch auch Folge einer Verstopfung der Flüssigkeitsleitung sein oder dass das Expansionsventil nicht einwandfrei funktioniert, weil z.B. beim thermostatischen Expansionsventil die Fühlerfüllung abhandengekommen ist. Als Folge wird die geforderte Verdampfungstemperatur unterschritten und zu kühlende Nahrungsmittel können gefrieren oder Klimaanlage vereisen, was durch Augenschein ersichtlich ist.	☺	☹
5.3.6 Hat der Verdichter normale Einschaltfrequenzen (unter 12 pro Stunde)?	☺	☹

5. Leckagekontrolle vor Ort		
Im Allgemeinen gelten mehr als 12 Schaltvorgänge pro Stunde als überhöht. Zu häufiges Einschalten kann jedoch auch durch schlechtes Funktionieren oder falsches Einstellen der Regeleinrichtung bewirkt werden.		
5.3.7 Hat der Verdichter normale Betriebstemperaturen? Ein durch die Leckage verringerter Kältemittelmassenstrom kann zum Überhitzen des hermetischen oder halbhermetischen Verdichters führen. Der verringerte Kältemittelmassenstrom kann allerdings auch durch Fremdkörper im Leitungssystem mit entsprechender Verblockung des Strömungsquerschnitts verursacht werden kann.	☺	☹
5.3.8 Ist die Leistungsaufnahme des Verdichters im normalen Betriebsbereich? Auf historische Daten der betreffenden Kälteanlage zurückgreifen! Bei Kältemittelmangel sinkt die Leistungsaufnahme des Verdichters. Sie sinkt jedoch erst bei Kältemittelleckagen von mehr als 25%. Bei weiterem Kältemittelverlust sinkt die Leistungsaufnahme des Verdichters um ca. 7 – 8% bei 50% Kältemittelverlust.	☺	☹
5.3.9 Erbringt die Kälteanlage die geforderte Kälteleistung? Eine zu geringe Menge an flüssigem Kältemittel im Verdampfer führt zu einer reduzierten Kälteleistung, die sich durch eine erhöhte Raum- und/oder Produkttemperatur bemerkbar macht. Das kann dazu führen, dass der Verdichter ständig eingeschaltet bleibt, was ebenfalls festgestellt werden kann (s. 5.3.7). Die Kältemittelfüllung reicht in diesem Fall nicht aus, um die berechnete Kühlleistung sicherzustellen. Gleichzeitig steigt die Überhitzung des Kältemittels am Austritt des Verdampfers, siehe 5.3.4. Die Auswirkung der Kältemittelfüllmenge auf die Kälteleistung einer Anlage ist allerdings nicht sehr groß. So fällt die Kälteleistung bei 10% Kältemittelverlust nur mit ca. 2 – 3% und bei 20% Kältemittelverlust ca. 5%. Erst bei Kältemittelverlusten von über 25% zeigen sich merkbare Auswirkungen auf die Kälteleistung und damit auf die Raum- und/oder Produkttemperatur.	☺	☹

Anhang II – Handbuch zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten

Inhaltliche Auflistung für elektronische Erfassung zur Umsetzung der Aufzeichnungspflichten nach Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung und F-Gase-Verordnung (EG) 842/2006

CONEER GmbH

Abkürzungen

ChemKlimaschutzV	Chemikalien-Klimaschutzverordnung
EG 842/2006	Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
GWP	Treibhauspotenzial (Global Warming Potential)
Servicedienstleister	Personen, die gem. §5 der ChemKlimaschutzV die erforderlichen Voraussetzungen erfüllen, zertifiziertes Personal
Betreiber	natürliche oder juristische Person der Betreiber, die „tatsächliche Kontrolle über das technische Funktionieren“ der Kälteanlage hat. Dies beinhaltet gemäß einer Interpretation der Europäischen Kommission (Veröffentlichter Leitfaden zur F-Gase-Verordnung der Europäischen Kommission, 2012) zumindest die folgenden drei Elemente, die es dem Betreiber ermöglichen, alle Pflichten der F-Gase-Verordnung einzuhalten: Freier Zugang zur Anwendung; das beinhaltet die Möglichkeit die einzelnen Komponenten und deren Funktionstüchtigkeit zu überwachen sowie den Zugang Dritter zu gewährleisten. Aufsicht über den alltäglichen Betrieb der Anlage. Machtbefugnis (inklusive finanziell) über mögliche technische Veränderungen (z.B. Austausch von Komponenten, Installation von Leckageerkennungssystemen) und eine mögliche Anpassung der F-Gas-Mengen in der Anwendung zu entscheiden sowie Kontrollen (z.B. Dichtheitsprüfungen) oder Reparaturen anzuordnen.

Die Befüllung von Anlagen

Kälteanlagen unterliegen technischen Regeln und Anweisungen für die Befüllung mit Kältemitteln. Die Literatur bietet dazu Empfehlungen für die unterschiedlichen Anlagenvarianten, -nutzungen und -größen. Der Befüllungsvorgang, der sowohl bei der Inbetriebnahme einer neuen Anlage aber auch bei einer Nachfüllung (nach einer Leckage oder Havarie) oder einer Wiederinbetriebnahme einer Anlage erfolgt, kann an unterschiedlichen Stellen und in unterschiedlichen Phasen des Kältemittels erfolgen (DUPONT¹²¹). Bezogen auf die F-Gase wird der Kreisprozess¹²² theoretisch im Wesentlichen durch isobare Verdampfung und Verflüssigung sowie polytrope Verdichtung und isenthalpe Drosselung¹²³ beschrieben. Für die Befüllung sind die beiden isobaren Vorgänge von Bedeutung, da sie jeweils unterschiedliche Phasenlagen des Kältemittels bei der Befüllung möglich machen. Aus diesem Grund ist es nur mit sehr großem technischen Aufwand möglich, Kälteanlagen an einer eindeutigen Stelle im Kältekreislauf mit einem geeigneten Messinstrument – vergleichbar einer Wasseruhr – zu befüllen. Diese Messung ist sehr aufwendig, da im Kältekreislauf das Kältemittel sowohl gasförmig als auch flüssig vorliegt und die physikalischen Größen des Kältemittels aufgrund von Temperatur- und Druckschwankungen stark variieren. Im Labor werden Coriolis-Massenstromsensoren¹²⁴ oder eine Flügelradturbine¹²⁵ eingesetzt. Diese Methoden sind jedoch für den Servicemonteur praxisuntauglich und kostspielig und werden daher nicht eingesetzt.

Eine gängige Methode ist derzeit die Bestimmung der eingefüllten Kältemittelmasse mittels Waage. Dabei wird der Behälter, in dem das Kältemittel in flüssiger und gasförmiger Form an die Kälteanlage transportiert wird, vor und nach der Entnahme gewogen. Die eingefüllte Kältemittelmenge wird üblicherweise in Gramm [g] (bei kleinen Anlagen) bzw. in Kilogramm [kg] angegeben. Die eingefüllten Kältemittelmengen sind zur Bestimmung der Gesamtfüllmenge bzw. Leckage oder Nachfüllmengen notwendig.

Die Nachfüllmenge entspricht die Menge, die nach einer Leckage zur Erreichung der ursprünglichen Grundfüllmenge einer Anlage wieder eingefüllt werden muss. Mit der Art

¹²¹ DUPONT. (kein Datum). *Kältemittel Service Handbuch DUPont SUVA Kapitel 11*, Auszug Seite 36-38. (D. Pont, Herausgeber, & DU Pont) Abgerufen am 12. 03 2014 von Friosol:
http://www.friosol.ch/pdf/suva/011_befuellen_anlage_km.pdf

¹²² Gunt. (kein Datum). *Thermodynamik des Kältekreisprozesses*. (G. Hamburg, Herausgeber) Abgerufen am 12. 03 2014 von Gunt:
http://www.gunt.de/download/thermodynamics%20of%20refrigeration_german.pdf

¹²³ Isenthalp. (19. 02 2014). *Zustandsänderung "Isenthalp"*. Abgerufen am 12. 03 2014 von
<http://de.wikipedia.org/wiki/Isenthalp>

¹²⁴ Wikipedia. (14. 07 13). *Coriolis-Massendurchflussmesser*. Abgerufen am 12. 03 14 von Wikipedia:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Coriolis-Massendurchflussmesser>

¹²⁵ Wissenschaften, Hochschule für angewandte Wissenschaften. (31. 12 2006). *Diplomarbeit zur Kältemittelmassenstrommessung*. (P. D. Rinne, Herausgeber, & Institut für Fahrzeugbau Wolfsburg) Abgerufen am 12. 03 2014 von Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften:
http://www.ostfalia.de/cms/de/ifbw/Aninstitute/gesamt-energiemanagement/energiemanagement_sud-arbeiten.html

des Kältemitteltyps wird das Treibhauspotential (GWP) in kg CO₂eq (Masse der Nachfüllung x GWP = Treibhauspotential in kg CO₂eq) bestimmt. Die Höchstgrenzen für spezifische jährliche Kältemittelverluste können somit ermittelt werden.

Grundsätzliche Anforderung an die Aufzeichnungen

In Artikel 3 Absatz (6) der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 (Parlament, 2006) über bestimmte fluoriierte Treibhausgase werden die Anforderungen an die Aufzeichnungspflichten wie folgt beschrieben:

„Die Betreiber der in Absatz 1 genannten Anwendungen, die 3 kg fluoriierte Treibhausgase oder mehr enthalten, führen über Menge und Typ der verwendeten fluoriierten Treibhausgase, etwaige nachgefüllte Mengen und die bei Wartung, Instandhaltung und endgültiger Entsorgung rückgewonnenen Mengen Aufzeichnungen. Sie führen ferner Aufzeichnungen über andere relevante Informationen, u. a. zur Identifizierung des Unternehmens oder des technischen Personals, das die Wartung oder Instandhaltung vorgenommen hat; außerdem werden Aufzeichnungen über die Termine und Ergebnisse der Kontrollmaßnahmen gemäß den Absätzen 2, 3 und 4 sowie über einschlägige Informationen zur Identifizierung der in Absatz 2 Buchstaben b und c genannten einzelnen ortsfesten Ausrüstungen der Anlagen geführt. Diese Aufzeichnungen werden der zuständigen Behörde und der Kommission auf Verlangen zur Verfügung gestellt“.

In Ergänzung werden konkretere Anforderungen über die Dichtheitsprüfungen, Rücknahme und Rückgewinnung von Treibhausgasen sowie die Aufzeichnungspflichten in der ChemKlimaschutzV geregelt.

Zusammenfassend werden folgende Informationen zur Vorlage bei der eingefordert, die u.U. der jeweiligen Kontrollbehörde vorgelegt werden müssen:

- Anlageninformationen zur Bestimmung der Gesamtfüllmenge
- Typ des verwendeten Treibhausgases
- Nachgefüllte Treibhausgasmengen
- Entsorgte Treibhausgasmengen
- Rückgewonnene Treibhausgasmengen
- Identifizierung des Unternehmens für Wartung und Instandsetzung
- Termine der Kontrollmaßnahmen (wiederkehrende Dichtheitsprüfungen, Dichtheitsprüfungen nach Reparaturen eines Lecks, Prüfungen der Leckage-Erkennungssysteme)
- Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass die Aufzeichnungen alle Identifikationsmerkmale für eine Zuordnung der Anlage zu den tatsächlichen Aufzeichnungen beinhalten.

Eine Vorlagepflicht bei den Behörden oder der Kommission besteht nicht. Die Vorlage ist vom Betreiber nur auf Anforderung zu leisten.

Sowohl die F-Gase-Verordnung als auch die ChemKlimaschutzV lassen die Form der Datenvorlage offen. Es wird lediglich beschrieben, dass die Aufzeichnungen vorzulegen sind. Die Aufbewahrungsfrist beträgt 5 Jahre.

Muster der manuellen Aufzeichnungen

Die Aufzeichnung der oben beschriebenen Daten wird vom Betreiber in vielen Fällen zunächst durch handschriftliche „Logbücher“ auf Papier vorgenommen.¹²⁶ Das Logbuch liegt im Bereich des Anlagenstandortes aus.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft eine Logbuch-Vorlage zur Eingabe der Basisdaten. Der Servicemonteur (zertifiziertes Personal) füllt das Logbuch entsprechend aus. Für jeden Eintrag steht ein Feld zur Verfügung.

¹²⁶ Beispiele für Vorlagen von Logbüchern auf Papier:

<http://ganter-kaeltetechnik.de/wDeutsch/downloads/Unternehmen/Kaeltelogbuch.pdf?navanchor=>

http://www.domnick-hunter.de/pdf/Pruefbuch%20fuer%20Kaelteanlagen_Nr.031.pdf

<https://www.bruch-kaelte.de/wp-content/uploads/2013/11/Musterlogbuch.pdf>

<https://www.kaelte-log.de/downloads/kaeltekreisaktivierung.pdf>

LOGBUCH Kälteanlage

Aufzeichnung der Ereignisse an Kälteanlagen

Gemäß den Verordnungen und Normungen:
Verordnung (EG) Nr. 842/2006 und ChemOzonSchichtV sowie DIN EN 378

Betreiber der Anlage:

Gesellschaft: _____

Gesellschaft Strasse: _____

Gesellschaft PLZ / Ort: _____

Gesellschaft Telefon Nr.: _____

(Anlagenstandort), Filialnummer / PLZ, Ort: _____

(Filiale) Strasse / HsNr.: _____

Technische Daten:

Typ Verbundsatz / Kälteanlage¹: _____

Hersteller der Anlage: _____

Typ Verdichter: _____

Baujahr / Inbetriebnahme: _____

Hersteller Nr.: _____

Kältemitteltyp: _____

Kältemittelfüllmenge²: _____

Sorte des Kältemaschinenöls²: _____

Füllmenge Kältemaschinenöl²: _____

Logbuchdaten:

Logbuch angelegt am _____

Servicedienstleister der Anlage: _____

Das Logbuch Kälteanlage wird für jede Kälteanlage (jeden Kältemittelkreislauf) geführt und verbleibt in der Filiale. Weitere Exemplare können über die Gesellschaft, den Kälteanlagenbauer oder das Ingenieurbüro Itebag Telefon +49-931-3291165, per Fax +49-931-3291167 oder E-Mail: info@itebag.de bezogen werden.

¹ Für jeden Kältemittelkreislauf ist ein separates Logbuch zu führen

² Füllmenge bzw. Sorte zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme

Abbildung 1: Beispiel für eine Logbuch-Vorlage zur Eingabe der Basisdaten

Nachfolgendes Beispiel (Abbildung 2) zeigt die entsprechenden Eingabefelder zur Protokollierung von Instandsetzungs- und Servicetätigkeiten.

Datum: ____ . ____ . ____		Servicedienstleister: _____		Name Techniker: _____	
Protokoll Instandsetzungs/Servicetätigkeit					
Tätigkeit:	☐ Inspektion der Anlage ☐ Wartung (separates Wartungsprotokoll ist zusätzlich auszufüllen) ☐ Instandsetzung / Reparatur der Anlage (Stundennachweis mit Arbeitsbeschreibung ist auszufüllen) ☐ Dichtigkeitsprüfung				
Durchgeführte Arbeiten:	☐ Bauteil geändert ☐ Bauteil ausgetauscht ☐ Kältemaschinenöl entnommen / ausgetauscht / nachgefüllt ¹ ☐ Kältemittel entnommen / ausgetauscht / nachgefüllt ¹ ☐ _____				
Kältemittel / Kältemaschinenöl: Bei Austausch oder Nachfüllen von Kältemittel und / oder Kältemaschinenöl					
Typ: Kältemittel: _____ Kältemaschinenöl: _____					
Art des Kältemittels: ☐ neu					
☐ recycelt					
☐ wiederverwendet, Herkunft: _____ (ggf. Analyse beilegen)					
Mengen in der folgenden Mengenbilanz eintragen!					
Sonstige Bemerkungen: (z.B. Ergebnis der regelmäßigen Routinoprüfung, Stillstandzeiten)					

Abbildung 2: Beispiel für eine Logbuch-Vorlage: Eingabefelder zur Protokollierung von Instandsetzung/Servicetätigkeit

Wesentliche Nachteile der manuellen Aufzeichnung sind unter anderem die möglicherweise fehlende Vollständigkeit der Angaben, fehlende Möglichkeit der Auswertung bei Grenzwertüberschreitung und die wenig übersichtliche Vorlage bei den jeweiligen Aufsichtsbehörden. Die Nutzung elektronischer Systeme bietet sich an.

Elektronische Systeme

Für die Eingabe und das Monitoring von Kältemittelverlusten bieten sich aufgrund vielfältiger Vorteile elektronische Systeme (Wikipedia, Elektronische Systeme, 2006) an. Dabei sind insbesondere die Eingabe von Daten sowie die Ausgabe von Daten zwei wesentliche Bestandteile. Die Eingabe der Daten erfolgt durch einen Mitarbeiter eines Herstellers und fortlaufend über den Lebenszyklus der Anlage durch einen Servicemitarbeiter eines Wartungsdienstleisters. Die Ausgabe der Daten hingegen kann an unterschiedlichen Stellen mit unterschiedlichen Auswertungsanforderungen erfolgen.

Die nachfolgende Auflistung gibt Auswertungsanforderungen beispielhaft wieder. Die Liste stellt lediglich eine Auswahl dar:

1. Auswertung der Daten beim Betreiber der Anlage:
 Der Betreiber ist gemäß EG 842/2006 Art. 3 Abs.(6) dazu verpflichtet, anlagenrelevante Daten zu führen und der zuständigen Behörde zur Verfügung zu stellen.
 Im Sinne des EG 842/2006 Art. 3 Abs. (1) ist der Betreiber verpflichtet, Maßnahmen zur

Reduzierung von entweichendem Gas aus Lecks zu verhindern.

Der Betreiber muss gemäß EG 842/2006 Art. 3, Abs. (2) dafür Sorge tragen, die vorgeschriebenen Dichtheitsprüfungen durchzuführen.

2. Auswertung der Daten beim Wartungsdienstleister:

Bei routinemäßigen Wartungsdienstleistungen, aber auch bei auftretenden Störungen an Anlagen, die unter die Regelung EG 842/2006 fallen, ist die Anlagenhistorie für den Dienstleister im Moment der Dienstleistungserbringung sehr wichtig. Zusätzlich trägt der Dienstleister als Unterauftragnehmer die Pflicht, die Eintragungen gemäß EG 842/2006 vorzunehmen.

3. Auswertung der Daten zur Vorlage bei der zuständigen Behörde und der Kommission:

Der Betreiber von Anlagen hat die Pflicht, die Daten gemäß EG 842/2006 Art. 3, Abs. (6) bei der zuständigen Behörde und der Kommission auf Verlangen vorzulegen. Derzeit stellt die Verordnung keine Anforderung zur Vorlage konsolidierter Daten, sondern bezieht sich lediglich auf die Vorlage der Eintragungen. Für eine Beurteilung von Anlagen wäre die Konsolidierung auf Anlagenebene von Vorteil.

Neben den traditionellen Papierdokumenten stellen digitale Dokumente sowohl in Unternehmen als auch in der öffentlichen Verwaltung in zunehmendem Maße die Informationsgrundlage dar. Die sich daraus ergebende neue Herausforderung ist die langfristige Aufbewahrung (Archivierung) von Daten und deren Bereitstellung bei Bedarf. Die Aufzeichnungen müssen sicher und unveränderbar geführt werden. Aufbewahrungsfristen und insbesondere der Datenzugriff durch den Betreiber müssen gewährleistet sein.

Somit scheiden in der Begriffsdefinition die vom Betreiber beauftragte Dritte geführte lokale elektronische Datenlisten aus. Diese sind nicht unveränderbar, sondern auch nach der Eintragung veränderbar. Sie sind auf den unterschiedlichsten Datenformaten aufgebaut und daher nur eingeschränkt zu konsolidieren. In einer Studie von BIPRO¹²⁷ wird die Verwendung von „Excel-Dateien“ als eine Art der elektronischen Aufzeichnung beschrieben. Diese Art der Datenaufzeichnung erfüllt unseres Erachtens den zu erwartenden Standard nicht.

Datenerfassung	Datenspeicherung	Datenverarbeitung	Datenausgabe
vor Ort, anlagenindividuell zeitnah, durch Fachpersonal, kontrollierbar, vollständig, durchführbar	ordnungsgemäß, vollständig, unveränderbar, reproduzierbar, prüfbar	regelkonform, Änderungen müssen dokumentiert werden	nutzerorientiert, passwortgeschützt, sicher, reproduzierbar, eindeutig selektiv einfach

Schaubild 1: Anforderungen an eine elektronische Datenaufzeichnung

¹²⁷ BIPRO, G. (2010). System zur Erhebung, Übermittlung und Auswertung von Daten zur Ermittlung der spezifischen Kältemittelverluste und Gesamtkältemittlemissionen aus stationären Kälte- und Klimaanlageanlagen und Wärmepumpen im Sinne des Art. 3 der Verordnung (EG) Nr. 842/2006. *Forschungskennzahl 363 01 286 UBA-FB 001535*. (U. W. Dessau-Roßlau, Hrsg.) München.

Im Folgenden wird unter dem Begriff eines „elektronischen Systems“ eine internetgestützte Datenbankstruktur verstanden.

Mindestanforderungen an elektronische Erfassung

Nachfolgende Dateninhalte spiegeln die Mindestanforderung an elektronische Aufzeichnungssysteme wieder. Diese Daten sind die Voraussetzung für die lückenlose Aufzeichnung.

Sowohl die EG 842/2006 als auch die ChemKlimaschutzV definiert den „Betreiber“ als solchen nicht. Betreiber ist in einem ähnlichen Fall nach der Rechtsprechung des BGH derjenige, der, ohne notwendigerweise Eigentümer zu sein, die tatsächliche Herrschaft über die Anlage ausübt, ihre Arbeitsweise eigenverantwortlich bestimmt und sie auf eigene Rechnung nutzt, mithin das wirtschaftliche Risiko trägt¹²⁸ (Berlin, 2008).

In diesem Sinne wird im Folgenden der „Betreiber“ verstanden.

- a) Allgemeine Angaben
 - i. Anlagen-Basisdaten
 - 1. Name und Rechtsform des Betreibers der Anlage
 - 2. Betreiberadresse:
Straße, PLZ, Ort
 - 3. Anlagenstandort:
Straße, PLZ, Ort
 - 4. Anlagentyp und -nutzung
 - 5. Identifikationsnummer im elektronischen System
 - 6. Hersteller der Anlage
 - 7. Identifikationsnummer lt. Typenschild der Anlage
 - 8. Zusatzinformation über die eindeutige Zuordnung
 - 9. Baujahr und Inbetriebnahmedatum
 - b) Gesamtkältemittlemissionen
- i. Grundfüllmenge
 - 1. Treibhausgasbezeichnung (Kältemitteltyp)
 - 2. Gesamtfüllmenge in kg
- ii. Nachgefüllte Kältemittelmenge
 - 1. Eingefüllte Menge in kg
- iii. Rückgewonnene Menge
 - 1. Rückgewonnene Menge in kg
- c) Spezifische Kältemittelverluste

¹²⁸ Berlin, E. H. (29. 10 2008). *Betreiber einer KWK Anlage*. (N. Vrana, Herausgeber, & EW@erk Humboldt-Universität zu Berlin) Abgerufen am 12. 03 2014 von EW@erk: http://www.ewerk.hu-berlin.de/Wer_ist_Betreiber_einer_KWK-Anlage

- i. Nachgefüllte Mengen (außer Havarie)
 - 1. Datum der Einfüllung
 - 2. Eingefüllte Menge in kg
 - 3. Grund der Nachfüllung
 - 4. Angabe des Leckageortes
 - 5. Name des Technikers/Unternehmens
- ii. Nachgefüllte Menge aufgrund von Havarie
 - 1. Datum der Einfüllung
 - 2. Eingefüllte Menge in kg
 - 3. Angabe des Havarieortes
 - 4. Name des Technikers/Unternehmens
- d) Spezifische Kältemittelentnahmen
 - i. Entnommene Mengen
 - 1. Datum der Entnahme
 - 2. Entnommene Menge in kg
 - 3. Name des Technikers/Unternehmens
 - 4. Grund für die Entnahme
 - a) z.B. Außerbetriebnahme.

Auf Basis der oben genannten Daten entsteht eine lückenlose Dokumentation der Kältemittelbewegung. Zusätzlich zu diesen Daten sind alle Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten sowie die Dichtheitsprüfungen zu erfassen. Gemäß EG 842/2006 Art 3, Abs.2 gilt: „Nach der Reparatur eines Lecks werden die Anwendungen innerhalb eines Monats auf Dichtheit kontrolliert, um sicherzustellen, dass die Reparatur wirksam war“.

- e) Durchgeführte Tätigkeiten
 - i. Inspektion der Anlage
 - ii. Wartung der Anlage
 - iii. Instandsetzung der Anlage (Reparatur)
 - iv. Dichtheitsprüfung.

Für die jeweiligen Tätigkeiten sind folgende Daten erforderlich:

- 1. Datum der Maßnahme
- 2. Name des Technikers/Unternehmens.

Anforderung an die Eingabeprozesse

Die Eingabe von Daten sollte vor Ort durchgeführt werden. Insbesondere die sogenannten Bewegungsdaten werden am Anlagenstandort eingegeben. Ein mobiles Eingabegerät ist erforderlich. An die Eingabemaske werden folgende Anforderungen gestellt:

- Geringe Fehlerquote durch Dropdown Funktion bei Datenerfassung
- Datenerfassung und Auswertung via Internet/Mobiltelefon

Effiziente Schritte in der Datenerfassung

- Rückmeldung bei nicht plausiblen Eingabewert
- Auswertefunktionen für Historiendaten

Diese Funktionen erfüllen einige am Markt verfügbare Systeme bereits heute. Unterschiedlich sind die Datenwege. Für eine Datenübertragung per SMS stehen begrenzte Zeichen zur Verfügung, die Übertragung via Internetzugang benötigt eine Onlineverfügbarkeit vor Ort.

Anforderung an die Ausgabeprozesse

Für eine Ausgabe der Daten sind in Fortführung von Schaubild 1 mehrere Institutionen vorzusehen, die unterschiedliche Darstellungen der Daten erfordern. Wie in Schaubild 2 dargestellt, kann es sich um Servicedienstleister, den Betreiber oder eine Kontrollbehörde handeln.

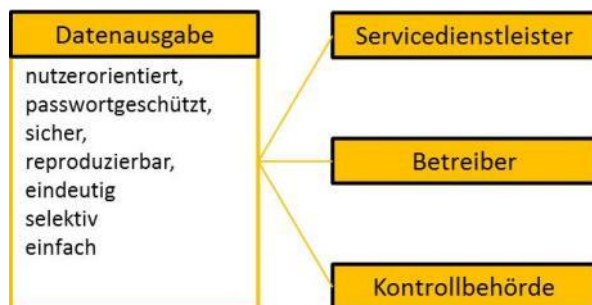


Schaubild 2: Datenausgabe

Neben Standardauswertungen, die für den Servicedienstleister auf Anlagenebene, für den Betreiber auf individuellem Anlagenbestand und die Kontrollbehörde konsolidiert erfolgen können, werden weitere Anforderungen an das System gestellt.

Diese betreffen insbesondere folgende Punkte:

- Datenexportfunktion
- Mehrbenutzerfähigkeit
- Flexibilität der Sprachen
- Anpassungsfähigkeit an spezifische Angaben (z.B. freie Betrachtungszeiträume)

- Nachverfolgbarkeit
- Erstellen von Protokollen.

Anforderung an die Datensicherheit

Die Datensicherheit stellt bei internetbasierten Datenbankmanagementsystemen eine Herausforderung dar. Grundlegende Anforderungen an ein Datenbanksystem sind unter anderem:

- Datenverschlüsselung (https-Verfahren)
- Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit der verarbeiteten Informationen
- Wirksame Umsetzung der Aussagen der Datenschutzerklärung
- Wirksamer Schutz der personenbezogenen Daten gemäß Bundesdatenschutzgesetz
- Wirksame Absicherung der von außen zugänglichen technischen Systeme gegen unbefugte Nutzung
- Der Nachweis für ein elektronisches System kann durch ein Datenschutzaudit sowie externe und interne Sicherheitsanalysen erbracht werden.
- Zugriffsrechte

Datenbanksystem

Allgemein wird unter einem Datenbanksystem die Kombination aus Datenbank und Datenbankmanagementsystem verstanden.

Die genaue Spezifikation einer Datenbankstruktur muss im Einzelfall projiziert werden.

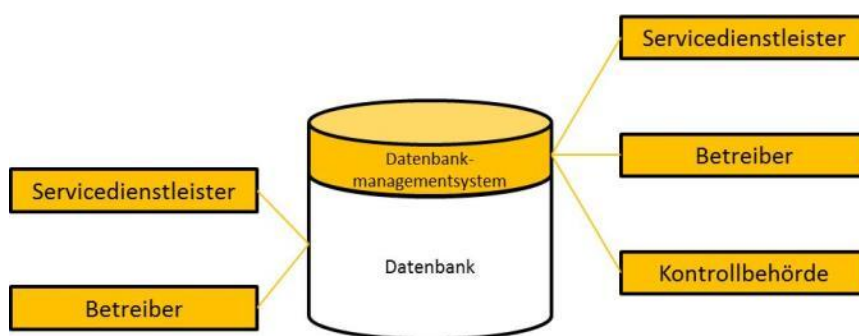


Schaubild 3: Datenbankstruktur auf Nutzerebene

Anhang III – Fragebogen der Anlagenbegehungen

Die Fragebögen aus den Anlagenbegehungen sind auf den folgenden Seiten komplett und druckreif abgebildet.

1	Datum der Anlagenbesichtigung				
2	Öko-Recherche / CONEER GmbH / MIKADO vertreten durch [Name]				
3	Kontrollbehörde vertreten durch [Name]				
	Dienststelle der Kontrollbehörde				
4	Anlagenbetreiber vertreten durch [Name]				
5	Name des Anlagenbetreibers				
6	PLZ [Betreiber]		Ort [Betreiber]		
7	PLZ / Ort / Straße / Gebäudebezeichnung der Anlage				
8	Anlagenstandort	Verdichter 	☐ hermetisch	☐ halbhermetisch	☐ offen
		Verflüssiger 	☐ luftgekühlt		☐ Flüssigkeitsgekühlt
		Kühlstelle (n) 	☐ luftgekühlt		☐ Flüssigkeitsgekühlt
		Regelung 	☐ elektr. Expansionsventil		☐ thermostatisches Expsv.
9	Anlagenstandort im Gebäude 	☐ Maschinenraum	☐ Büroraum	☐ Werkhalle / Fertigung	
		☐ Dachaufstellung	☐ Freifläche	☐ Sonstiges	
10	Zugänglichkeit der Anlage 	☐ gut zugänglich	☐ nicht gut zugänglich	☐ nicht erreichbar	
11	Zugänglichkeit des Kältemittel- Leitungsnetzes 	☐ gut zugänglich	☐ nicht gut zugänglich	☐ nicht erreichbar	
12	Anlagenart Kategorisierung	☐ Zentralanlage (z.B. Supermarkt) ☐ Verflüssigungssätze	☐ Multisplit-/VRF Anl. ☐ Flüssigkeitskühl- sätze (Chiller)	☐ Industriekälte	
13	Anlagennutzung	☐ eine Anlage / eine Kühlstelle			
		☐ eine Anlage / mehrere Kühlstellen			
		☐ mehrere Anlagen (Kältemittelkreisläufe) / mehrere Kühlstellen			
		☐ eine Anlage mit Kaskade			
14	Beschreibung der Anlage (Hinweis: wenn mehrere Kreisläufe vorhanden, dann bitte dazugehörige Projekt.-Nr. eintragen)	Anzahl Kreisläufe Gesamt: ____	Projekt-Nr.:		

15	Fertigungsverfahren der Anlage [Hauptkomponenten]	☐ Serienfertigung z.B.. Modul	☐ Einzelfertigung	
16	Kältemittelart / -bezeichnung ☐ schriftlich ☐ mündlich			
17	Angegebene nominale Füllmenge der Anlage: [Daten vom Typenschild / Anlagendokumentation] ☐ schriftlich ☐ mündlich	kg		
18	Datum der ersten Inbetriebnahme der Anlage [Typenschild oder Anlagendokumentation]			
19	Wie erfolgt die Aufzeichnung der Instandsetzung / Wartung	☐ elektronisch	☐ handschriftlich / manuell ☐ keine Aufzeichnungen	
20	Beschreibung der Aufzeichnung [Name des Systems / Hinweise auf manuelle Aufzeichnungen]			
21	Nachfüllmengen seit Inbetriebnahme und elektronischer Aufzeichnungen (ab 2009) [weitere Eintragungen auf Ergänzungsblatt]			
	Lfd Nr.	Datum	Füllmenge in kg	Grund
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
22	Wurden nach einer erfolgten Nachfüllung Dichtheitskontrollen vermerkt			
	☐ ja	☐ nein	☐ teilweise	
23	An welchen Orten / Bauteilen wurden Kältemittelverluste festgestellt? [Mehrfachnennung möglich]			
	☐ Anlagenbauteile	☐ Verbindungsstellen	☐ Leitungsführung	☐ Verflüssiger
	☐ Sammler	☐ Verdichter	☐ Lötverbindungen	☐ Ölausgleichssystem
	☐ Verdampfer	☐ Schaltgeräte	☐ Schraubverbindungen	☐ Sicherheitsventil
	☐ Inneneinheiten	☐ Magnetventile	☐ Schraderventil	☐ Trockner

	☐ Ausseneinheiten	☐ Expansionsorgane	☐ Schauglas	☐ Regelventile
	☐ Sonstiges			
24	Anlagenbauteile, die bei Besichtigung Anzeichen für Leckagen aufweisen 			
	☐ ja	☐ nein	☐ nicht erkennbar	
25	System zur Leckageerkennung vorhanden [Sensoren und Auswertegeräte] 			
	☐ ja, Sensoren und Auswertgeräte	☐ nein	☐ nicht erkennbar	
26	Gibt es Informationen zu diesen Geräten [Anzahl Alarmer / Aufzeichnungen]			
	☐ ja	☐ nein	☐ ja, Unterlagen hierzu beigelegt	
27	Sind in den Aufzeichnungen Havarien vermerkt [Verlust einer Kältemittelmenge von 90% oder mehr der Gesamtanlage oder absperrbaren Teilen der Anlage]			
	☐ ja	☐ nein	☐ nicht eindeutig erkennbar	
28	Informationen zum Serviceunternehmen: ☐ schriftlich ☐ mündlich			
	Name		PLZ /Ort	
	Ansprechpartner		Straße	
	Tel./Email-Adr.			
29	Besteht für die Anlage ein Wartungsvertrag (wiederkehrende Inspektion und Wartung durch Servicedienstleister)		☐ ja	☐ nein
	Liegen Rechnungen für Nachfüllmengen vor		☐ ja	☐ nein
30	Welche Informationen werden eingetragen 			
	Dokumentation Logbuch oder elektronisch			
	☐ Wartung	☐ Dichtheitsprüfung	☐ Undichtigkeiten	☐ Havarien
	☐ Instandsetzung	☐ Inspektion	☐ KM Austausch	☐ Anlagenerweiterung
	☐ Stilllegung	☐ Nachfüllung	☐ Umstellung/Wechsel KM von Kältemitteltyp _____ auf _____ seit: _____	
31	Sind die wiederkehrenden Wartungen/ Dichtheitsprüfungen an der Anlage / in den Aufzeichnungen erkennbar			
	☐ ja ____ DHP ____ pro Jahr 2012 Ergebnisse eingetragen: ☐ ja ☐ nein	☐ ja ____ Wartung ____ pro Jahr 2012	☐ teilweise erkennbar	
	☐ ja ____ DHP ____ pro Jahr 2013 Ergebnisse eingetragen: ☐ ja ☐ nein	☐ ja ____ Wartung ____ pro Jahr 2013	☐ nein, nicht erkennbar	
32	Wer führt die Aufzeichnungen		☐ Vor-Ort-Mitarbeiter des Betreibers	☐ Serviceunternehmen

		☐ Mitarbeiter in Zentralfunktion (nicht Vor-Ort)	☐ Sonstige Dritte
33	Wie erhält der Betreiber Einsicht in die Aufzeichnungen		
	☐ keine Einsicht möglich	☐ Internetzugriff	☐ eigene Auswertungen
	☐ Logbuch vor Ort	☐ Auswertungen eines Dienstleisters	☐ Sonstiges
34	Schriftliche Bestätigung zur Veröffentlichung der anlagenbezogenen Daten vom Anlagenbetreiber		
	Der anonymisierten Veröffentlichung der Daten der besichtigten und oben beschriebenen Anlage stimmen wir hiermit ausdrücklich zu:		
	Datum	Unterschrift Betreiber	
	Öko-Recherche / CONEER GmbH / MIKADO	Aufsichts- Kontrollbehörde	
35	Ergänzende Informationen [freie Eintragungen möglich]		