

Kohlenwasserstoffe sicher als Kältemittel einsetzen - Entwicklung einer Strategie zum vermehrten Einsatz von Kohlen- wasserstoff-Kältemitteln als Beitrag zum deutschen Klimaschutzziel unter Berücksichtigung des Energieziels 2050

CLIMATE CHANGE 30/2014

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 03KSE046

Kohlenwasserstoffe sicher als Kältemittel einsetzen - Entwicklung einer Strategie zum vermehrten Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln als Beitrag zum deutschen Klimaschutzziel unter Berücksichtigung des Energieziels 2050

von

Jonathan Heubes, Irene Papst, Holger König, Jürgen Usinger
(HEAT)


Barbara Gschrey, Thomas Kimmel, Winfried Schwarz
(Öko-Recherche)

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

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:

HEAT GmbH, Seilerbahnweg 14
61462 Königstein
Öko-Recherche GmbH, Münchener Str. 23
60329 Frankfurt/ Main

Abschlussdatum:

2014

Redaktion:

Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Katja Becken

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kohlenwasserstoffe-sicher-als-kaeltemittel>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Dezember 2014

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 03KSE046 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis	8
Zusammenfassung	11
Executive Summary.....	18
1 Verbreitete Kältemittel und die Eignung von Kohlenwasserstoffen als Alternative	22
1.1 Übersicht.....	22
1.2 Chemische und thermodynamische Eigenschaften von Kohlenwasserstoffen	23
2 Auswahl der für die Strategie zu betrachtenden Anwendungen in der Klima- und Kältetechnik	27
3 Emissionsberechnung: Möglicher Beitrag von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel zum deutschen Klimaschutzziel	29
3.1 Modell für die Berechnung der technisch möglichen Reduktion von direkten und indirekten Emissionen	29
3.2 Ergebnisse der Emissionsberechnung für die ausgewählten Anwendungen	34
3.2.1 Ergebnisse Haushaltswärmepumpen	35
3.2.2 Ergebnisse Flüssigkeitskühlsätze im Leistungsbereich bis 1 MW	38
3.2.3 Ergebnisse Raumklimageräte	41
3.2.4 Ergebnisse Transportkälte-Lkw	46
4 Normen, Standards und Richtlinien zum Einsatz von Kohlenwasserstoffen	55
4.1 Überblick über Normen und zugehörige Richtlinien	56
4.2 Kriterien für Relevanz	56
4.3 Bewertung relevanter Normen und Standards in Hinblick auf den Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln	62
4.4 Derzeit gültige Regelungen für die Verwendung von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln	66
4.4.1 Vorgaben für Hersteller/ Lieferanten.....	66
4.4.2 Vorgaben für den Betrieb von Anlagen	68
4.4.3 Füllmengen für Anlagen mit brennbaren Kältemitteln	72
5 Analyse des Produkthaftungsgesetzes (ProdHaftG)	76
5.1 Überblick über bestehende Regelungen.....	76
5.2 Relevanz für die Verbreitung von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in den ausgewählten Anwendungen	78

6	Strategie zum vermehrten Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel in Deutschland	80
6.1	Methodik zur Entwicklung der Strategie und Maßnahmenauswahl	80
6.1.1	Übersicht der verschiedenen Maßnahmen	80
6.1.2	Entwicklung eines Ablaufschemas zur Bewertung verschiedener Maßnahmen und Maßnahmenbündel	82
6.2	Kurzbeschreibung einzelner Maßnahmen und Quantifizierung der Umsetzungskosten	85
6.3	Zusammenfassende Darstellung der Umsetzungskosten	106
6.4	Entwicklung der Strategie, Maßnahmen und Instrumente	108
6.4.1	Maßnahmenbündel für die vier Hauptanwendungen	110
6.4.2	Bewertung der Maßnahmenbündel	116
7	Quellenverzeichnis	119
	Anhang	122
I.	Weiterführende Informationen zu den Anwendungsbereichen	122
I.1	Haushaltskälte	122
I.2	Gewerbekälte	122
I.3	Transportkälte	124
I.4	Flüssigkeitskühlsätze	125
I.5	Raumklimageräte	126
I.6	Heiz-Wärmepumpen	127
I.7	Industrielle Kälte	127
II.	Annahmen für die Emissionsberechnungen	129
II.1	Annahmen für Haushaltswärmepumpen	138
II.2	Annahmen für Flüssigkeitskühlsätze im Leistungsbereich bis 1 MW	143
II.3	Annahmen für Raumklimageräte	146
II.4	Annahmen für Transportkälte-Lkw	153
III.	Mögliche Auswirkungen zusätzlicher Elemente der neuen F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014)	156
IV.	Relevanz der Maßnahmen für die Hauptanwendungen	159

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Direkte und indirekte Emissionen summiert über die vier betrachteten Anwendungen (Wärmepumpen, Raumklimageräte, Flüssigkeitskühlsätze und Transportkälte-Lkw) in den Jahren 2000, 2030 und 2050. Es sind jeweils die kalkulierten direkten und indirekten Emissionen für das Referenz (RS)- und das Kohlenwasserstoff (KWS)-Szenario dargestellt. Bei Wärmepumpen wird nur der maximale Ausbau der Kapazität berücksichtigt.	12
Abbildung 2:	Grenzkostenkurve im Jahr 2030 für die Hauptanwendungen inklusive der Umsetzungskosten (rechts), die sich durch die Maßnahmenbündel ergeben. Die Größe der Kreise symbolisiert die Höhe der im ersten Jahr anfallenden Umsetzungskosten. In den Folgejahren ergeben sich geringere Umsetzungskosten.	16
Abbildung 3:	Modell zur Berechnung der Kältemittlemissionen im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario, der indirekten Emissionen durch die Bereitstellung der Antriebsenergie und der Vermeidungskosten.	33
Abbildung 4:	Technisch mögliche Marktdurchdringungsraten in Deutschland für 1. Haushaltswärmepumpen, 2. Flüssigkeitskühlsätze (Fl.Kühls) im Leistungsbereich 80 und 400 kW, 3. Raumklimageräte, aufgeteilt in mobile Klimageräte (Mobile Kl.Ger.), Einfach-Split-Klimageräte (Einf.-Split Kl.Ger.), Multi-Split-Klimaanlagen (Multi-split Kl.Anl.) und VRF-Klimaanlagen (VRF Kl.Anl.) sowie 4. Kühl-Aggregate für Lkw und Anhänger (Lkw KühlAggr.). Es sind Werte für 2015, 2020 und 2030 angegeben. Die Werte für die Jahre von 2030 bis 2050 sind identisch mit denen von 2030 und deshalb nicht dargestellt.	35
Abbildung 5:	Projizierte konservative Bestandsentwicklung für Haushaltswärmepumpen in Deutschland bis 2050. Wärmepumpen, die die Luftwärme als Energiequelle nutzen, werden im Bestand besonders stark zunehmen.....	36
Abbildung 6:	Projizierte Entwicklungen der installierten Wärmeleistung für Haushaltswärmepumpen in Deutschland bis 2050 in zwei Szenarien: 1. maximales Szenario, angelehnt an das Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen (UBA 2010) mit einer installierten Wärmeleistung von ca. 55 GW und 2. konservatives Szenario, angelehnt an die BWP Branchenstudie (2011) und den EHPA Outlook (2012).	36
Abbildung 7:	Direkte Emissionen aus Wärmepumpen in Deutschland bei konservativen (a) und maximalen (b) Wachstum des Wärmepumpenbestandes, jeweils im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. In beiden Referenzszenarien (a und b) steigen die direkten Emissionen	

	bis zum Jahr 2050 stetig an: auf über 600 kt CO ₂ -Äquivalente (konservativ; a) bzw. auf 1.500 kt CO ₂ -Äquivalente (max; b)	37
Abbildung 8:	Projizierter Stromverbrauch (a) und indirekte Emissionen (b) von Wärmepumpen in Deutschland jeweils im konservativen und maximalen Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario. Die indirekten Emissionen steigen in allen Szenarien zunächst stark an. Durch die geplante Erzeugung von Strom aus regenerativen Quellen und einem bis 2050 schrittweise auf Null sinkendem Emissionsfaktor des elektrischen Stroms sinken die indirekten Emissionen ab 2020 bzw. 2030 wieder und erreichen im Jahr 2050 den Wert Null.	38
Abbildung 9:	Projizierte Bestandsentwicklung für Flüssigkeitskühlsätze in Deutschland in Leistungsklassen von 80 und 400 kW.	39
Abbildung 10:	a) Direkte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen in Deutschland im Leistungsbereich 80 kW im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. b) Direkte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen im Leistungsbereich 400 kW im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario.	39
Abbildung 11:	a) und b) Stromverbrauch und indirekte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen in Deutschland im Leistungsbereich von 80 kW im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. c) und d) Stromverbrauch und indirekte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen im Leistungsbereich von 400 kW im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario.	41
Abbildung 12:	Projizierte Bestandsentwicklung für Raumklimageräte in Deutschland (Mobile-, Einfach-Split-, Multi-Split- und VRF-Geräte.	42
Abbildung 13:	Direkte Emissionen von Raumklimageräten in Deutschland im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. a) Mobile Raumklimageräte b) Einfach-Split-Geräte c) Multi-Split-Geräte d) VRF-Geräte (alternativ Flüssigkeitskühlsätze im Kohlenwasserstoff-Szenario). Die Werte bis 2012 sind empirische Daten.	43
Abbildung 14:	a) Stromverbräuche und indirekte Emissionen von Raumklima-Geräten in Deutschland im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. a) Mobile Raumklimageräte b) Einfach-Split-Geräte c) Multi-Split-Geräte d) VRF-Geräte (alternativ Flüssigkeitskühlsätze im Kohlenwasserstoff-Szenario). Die Werte bis 2012 sind empirische Daten. Da sich Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario nur geringfügig unterscheiden sind die Verläufe teilweise nicht erkennbar.....	46
Abbildung 15:	Projizierte Bestandsentwicklung von Transportkälte-Lkw und Anhängern (mit Kühlaufbau) in Deutschland bis 2050.	46

Abbildung 16:	a) Direkte Emissionen durch das Kältemittel in Transportkälte-Lkw im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. b) Treibstoffverbrauch und c) indirekte Emissionen durch den Treibstoffverbrauch Transportkälte-Lkw im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario.	47
Abbildung 17:	Direkte und indirekte Emissionen summiert über die vier betrachteten Anwendungen (Wärmepumpen, Raumklimageräte, Flüssigkeitskühlsätze und Transportkälte-Lkw) in den Jahren 2000, 2030 und 2050. Es sind jeweils die kalkulierten direkten und indirekten Emissionen für das Referenz- (RS) und das Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario dargestellt. Bei Wärmepumpen wird nur der maximale Ausbau der Kapazität berücksichtigt.	48
Abbildung 18:	Einsparpotenziale direkter Kältemittlemissionen der betrachteten Anwendungen im Jahr 2050 durch den Einsatz von Kohlenwasserstoffen. Für Wärmepumpen ist nur das maximale Szenario dargestellt.	51
Abbildung 19:	Elektrische Energieverbräuche dreier Anwendungen, die mit Netzstrom betrieben werden: Wärmepumpen, Raumklimageräte und Flüssigkeitskühlsätze in den Jahren 2000, 2030 und 2050, jeweils im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. Bei Wärmepumpen wird zwischen maximaler (max. Projektion) und konservativer (kons.) Zunahme des Bestandes bzw. der Heizkapazität unterschieden. Bei Raumklimageräten und Flüssigkeitskühlsätzen wird zwischen den einzelnen Unteranwendungen unterschieden. Im Referenz-Szenario kommen VRF-Anlagen zum Einsatz und im Kohlenwasserstoff-Szenario sind es alternativ (AT) Flüssigkeitskühlsätze.	52
Abbildung 20:	Vermeidungskosten der direkten und indirekten Emissionen für die Anwendungen in Euro pro CO ₂ -Äquivalent. a) Vermeidungskosten für Anwendungen, die mit Netzstrom betrieben werden, wobei Kältemittlemissionen und indirekte Emissionen bei einem CO ₂ -Emissionsfaktor der Energieerzeugung von 577 g/kWh el. (Wert von 2007) betrachtet werden. b) Vermeidungskosten für Anwendungen die mit Netzstrom betrieben werden, unter Berücksichtigung der Kältemittlemissionen. c) Vermeidungskosten für Lkw-Kühlaggregate, die mit Diesel betrieben werden bei einem CO ₂ -Emissionsfaktor von 670 g/kWh elektrischer Antriebsenergie.	54
Abbildung 21:	Ablaufschema zur Bewertung unterschiedlicher Maßnahmen und Maßnahmenbündel hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Effekts sowie des Aufwands	83
Abbildung 22:	Grenzkostenkurve im Jahr 2030 für die Hauptanwendungen inklusive der Umsetzungskosten (rechts), die sich durch die Maßnahmenbündel ergeben. Die Größe der Kreise	

	symbolisiert die Höhe der im ersten Jahr anfallenden Umsetzungskosten. In den Folgejahren ergeben sich geringere Umsetzungskosten.	118
Abbildung 23:	Schematische Darstellung der verschiedenen Marktdurchdringungsraten, wobei sich die Marktdurchdringungsraten auf Kohlenwasserstoff-Technologie beziehen.....	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wichtige Barrieren für den Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in Deutschland für die vier Hauptanwendungen	14
Tabelle 2:	Klimaeffekt durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmenbündel, dargestellt durch das Emissionsreduktionspotenzial (direkte und indirekte Emissionen) für die Jahre 2030 und 2050.....	15
Tabelle 3:	Überblick über die Eigenschaften verschiedener Kohlenwasserstoff (KW)-Kältemittel. KW-Kältemittel zählen gemäß der ISO 817/EN 378 zu den A3-Kältemitteln.....	25
Tabelle 4:	Übersicht über die verschiedenen Kohlenwasserstoff (KW) Alternativen der einzelnen Systeme und ihre mögliche Marktdurchdringung	28
Tabelle 5:	Direkte Emissionen fluorierter Treibhausgase (Kilotonnen CO ₂ -Äquivalente) im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario in den vier Hauptanwendungen für die Jahre 2000, 2025 und 2050.....	50
Tabelle 6:	Indirekte Emissionen für den Betrieb von Kälte- und Klimaanlageanwendungen durch Strom- und Diesel-Verbrauch (Kilotonnen CO ₂ -Äquivalente) im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario Szenario in den vier Hauptanwendungen für die Jahre 2000, 2025 und 2050.....	50
Tabelle 7:	Kältemittelvermeidungskosten (linke Spalte) und Gesamtvermeidungskosten (rechte Spalte) für die vier Hauptanwendungen.....	54
Tabelle 8:	Übersicht über vorhandene Normen und Richtlinien.....	57
Tabelle 9:	Übersicht über vorhandene Richtlinien und relevante harmonisierte Standards	61
Tabelle 10:	Relevante Normen für den Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel	62
Tabelle 11:	Veränderungsvorschläge in Normen, die ein Hemmnis für den Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln darstellen	64
Tabelle 12:	Empfohlene Füllmengen (kg) für Kohlenwasserstoff-Kältemittel gemäß Standards DIN EN 378, EN/IEC 60335-2-24, -89 und -40 (nach Colbourne, 2010).....	73
Tabelle 13:	Angegebene Füllmengen für Raumklimaanlagen nach Raumgröße, Berechnung nach DIN EN 378 (nach Schwarz <i>et al.</i> 2011, Annex S. 193 ff.).....	74
Tabelle 14:	Übersicht verschiedener Maßnahmen zur Förderung von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in Deutschland.....	81
Tabelle 15:	Kosten (€) für die Erstellung und Verbreitung von Informationsbroschüren	97

Tabelle 16:	Laufende Kosten einer Wanderausstellung pro Jahr	99
Tabelle 17:	Aufschlüsselung der Kosten für einen zweitägigen Workshop	100
Tabelle 18:	Kostenpunkte zur Schaffung einer fachlichen Anlaufstelle/Ansprechpartner inklusive der Gesamtkosten der Maßnahme	101
Tabelle 19:	Umsetzungskosten (€, gerundet) vorgeschlagener Maßnahmen in den vier Hauptanwendungen (Aufschlüsselung der Kosten, s. Kapitel 6.2). Bei den Umsetzungskosten handelt es sich teils um einmalig zu leistende Kosten und teilweise um jährliche Umsetzungskosten.	107
Tabelle 20:	Wichtigste Barriere für den Einsatz von Kohlenwasserstoff- Kältemitteln in Deutschland für die vier Hauptanwendungen	108
Tabelle 21:	Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Raumklimageräte, zum Abbau der größten Barriere, die durch Standards, Normen und Produkthaftungsfragen gegeben ist.....	111
Tabelle 22:	Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Raumklimageräte zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz.....	111
Tabelle 23:	Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Wärmepumpen, zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz.....	112
Tabelle 24:	Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Kühl- Lkw, zum Abbau der größten Barriere, die durch Standards, Normen und Produkthaftungsfragen gegeben ist	113
Tabelle 25:	Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Flüssigkeitskühlsätze, zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz.....	114
Tabelle 26:	Klimaeffekt durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmenbündel, dargestellt durch das jährliche Emissionsreduktionspotenzial (direkte und indirekte Emissionen) für die Jahre 2030 und 2050.....	116
Tabelle 29:	Übersicht über Kosten und Kältemittlemissionen verschiedener Referenzgeräte- und anwendungen sowie deren Kohlenwasserstoff-Alternativen (Daten Öko-Recherche, 2013)	128
Tabelle 30:	Technisch mögliche, erwartete und potenzielle Marktdurchdringungsraten im Jahr 2030 für die vier Hauptanwendungen. Durch die Umsetzung der Maßnahmenbündel erhöhen sich die erwarteten Marktdurchdringungsraten und führen zu den potenziellen Marktdurchdringungsraten.	132
Tabelle 31:	Technische und Kostendaten für die generischen Wärmepumpen	138

Tabelle 32:	Jahresarbeitszahlen von Luft-Wasser und Sole (Erdreich)- Wasser-Wärmepumpen	140
Tabelle 33:	Preise für HFKW-Wärmepumpen	141
Tabelle 34:	Technische- und Kostendaten für Flüssigkeitskühlsätze mit einer mittleren Kälteleistung von 80 kW	144
Tabelle 35:	Technische und Kostendaten für Flüssigkeitskühlsätze mit einer mittleren Kälteleistung von 400 kW	145
Tabelle 36:	Technische Daten und Kostendaten für mobile Klimageräte	147
Tabelle 37:	Technische Daten und Kostendaten für Einfach-Split-Geräte	148
Tabelle 38:	Technische und Kostendaten für Multi-Split-Geräte	149
Tabelle 39:	Technische Daten und Kostendaten für VRF-Geräte und alternativen Flüssigkeitskühlsätzen	151
Tabelle 40:	Technische Daten und Kostendaten für Kühlaufbauten bei Lkw	154
Tabelle 41:	Abschätzung der Auswirkungen von zusätzlichen Elementen der neuen F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) auf das Referenzszenario und das Kohlenwasserstoff-Szenario	156
Tabelle 42:	Bewertung der Relevanz verschiedener Maßnahmen für die Hauptanwendungen. + signalisiert hohe, und - niedrige Relevanz. Ein leeres Feld bedeutet keine Relevanz.	159

Zusammenfassung

Der Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel anstelle von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW) in der Klima- und Kältetechnik kann einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Kohlenwasserstoff-Kältemittel weisen im Vergleich zu den konventionell verwendeten HFKW zahlreiche positive Eigenschaften auf, u.a. das niedrige Treibhauspotenzial (global warming potential, GWP). Des Weiteren zeichnen sich Kohlenwasserstoff-Geräte und -Anlagen häufig durch eine verbesserte Energieeffizienz aus. Durch den Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel können direkte (Kältemittel-) Emissionen und indirekte Emissionen, die bei der Erzeugung der Antriebsenergie entstehen, vermieden werden. Ein Nachteil ist allerdings die Brennbarkeit von Kohlenwasserstoffen. Dies erfordert je nach System und Installationsort zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen.

In der vorliegenden Studie wird eine Strategie vorgeschlagen, mit der in Deutschland ein breiterer Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel erreicht werden könnte. Vier Hauptanwendungen wurden hierfür aus den vielfältigen Anwendungen in der Klima- und Kältetechnik ausgewählt. Sogenannte „Schwellentechnologien“ wurden bevorzugt ausgewählt, d. h. Technologien die grundsätzlich mit keinem zusätzlichen bzw. nur relativ geringem zusätzlichem Forschungs- und Entwicklungsbedarf marktfähig sind, sich bisher jedoch noch nicht etablieren konnten. Die vier ausgewählten Hauptanwendungen sind Raumklimageräte, Haushaltswärmepumpen (zum Heizen), Kühl-Lkw und Flüssigkeitskühlsätze (bis 1 MW). Kriterien für die Auswahl der Hauptanwendungen waren ihre Bedeutung in Bezug auf die Kältemittlemissionen in Deutschland, die technisch mögliche Marktdurchdringung der Kohlenwasserstoff-Technik im Jahr 2030, ihre Marktentwicklung und die daraus resultierende Einschätzung zukünftiger Chancen für Kohlenwasserstoff-Technologien.

Für die vier Hauptanwendungen zeigt diese Studie Emissionsszenarien bis zum Jahr 2050 und den daraus berechneten, möglichen Beitrag von Kohlenwasserstoffen (KW) als Kältemittel zum deutschen Klimaschutzziel. In den Szenarien sind sowohl direkte als auch indirekte Emissionen berücksichtigt. Es sind zwei Szenarien dargestellt, das Referenzszenario (RS) und das Kohlenwasserstoff-Szenario (KWS). Ersteres entspricht einer zukünftigen Entwicklung, in der keine über die bereits gültige Gesetzeslage (Verordnung (EG) Nr. 842/2006) hinausgehenden Bemühungen unternommen werden, um Kältemittlemissionen zu reduzieren. Im KWS kommen zunehmend auch mit KW befüllte Geräte zum Einsatz und zwar entsprechend der technisch möglichen Marktdurchdringungsrate. Die technisch mögliche Marktdurchdringungsrate der KW-Technologie berücksichtigt keine Vorbehalte von Seiten der Käufer von Anlagen gegenüber brennbaren Kältemitteln oder ähnliche Barrieren. Die Projektionen beruhen zum einen auf historischen Daten, also den jährlich für das Umweltbundesamt aktualisierten Daten für die Emissionsberichterstattung in Deutschland, und zum anderen auf Interviews mit Experten zur wahrscheinlichen Marktentwicklung der vier Anwendungen, Branchenprognosen von Verbänden und Literaturangaben. Den Wärmepumpen kommt im Rahmen der Energiewende in Deutschland entsprechend dem „Energieziel 2050“ eine besondere Bedeutung zu. Für Wärmepumpen enthält die Studie daher ein weiteres Szenario, dem eine maximale Entwicklung des Bestandes zugrunde liegt. Mit einem solchen Bestand wäre es theoretisch möglich, den gesamten Heizbedarf in Deutschland im Jahr 2050 zu decken.

Nach den Ergebnissen dieser Emissionsberechnungen werden die direkten Emissionen bis zum Jahr 2030 deutlich niedriger sein als die durch den Stromverbrauch und den Einsatz von Treibstoff erzeugten indirekten Emissionen (s. Abbildung 1). Dies gilt unabhängig vom

betrachteten Szenario. Für das Jahr 2050 zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Dies liegt daran, dass durch die zukünftig regenerative und daher emissionsfreie Erzeugung von Strom lediglich die Emissionen aus der Verbrennung von Diesel in der Transportkälte verbleiben. Im Jahr 2050 sind die direkten Emissionen im Referenz-Szenario daher größer als die indirekten Emissionen im RS und KWS. Das Einsparpotenzial bei den direkten Emissionen ist grundsätzlich höher als das bei den indirekten Emissionen, ungeachtet des betrachteten Zeitpunktes. Das größte Einsparpotenzial für direkte Emissionen wurde - bei Betrachtung aller Anwendungen - für das Jahr 2050 kalkuliert (3.590 kt CO₂-Äq.). Für die indirekten Emissionen wurde das größte Einsparpotenzial für das Jahr 2034 kalkuliert (600 kt CO₂-Äq.). Von den vier Hauptanwendungen weisen Raumklimageräte im Jahr 2050 das größte Einsparpotenzial direkter Emissionen auf (1.760 kt CO₂-Äq.), gefolgt von Haushaltswärmepumpen (1.200 kt CO₂-Äq.), Flüssigkeitskühlsätzen (350 kt CO₂-Äq.) und Kühl-Lkw (280 kt CO₂-Äq.). Die ermittelten Vermeidungskosten für diese Emissionseinsparungen sind für Raumklimageräte, mit Ausnahme der VRF- (variable refrigerant flow) Geräte (59 €/Tonne CO₂-Äq.), sowie für Kühl-Lkw negativ. Positiv sind sie für Haushaltswärmepumpen (20 €/Tonne CO₂-Äq.). Da sich für die Mehrzahl der Anwendungen negative Gesamtvermeidungskosten ergeben, sind die KW-Anwendungen auch aus ökonomischer Sicht zu bevorzugen.

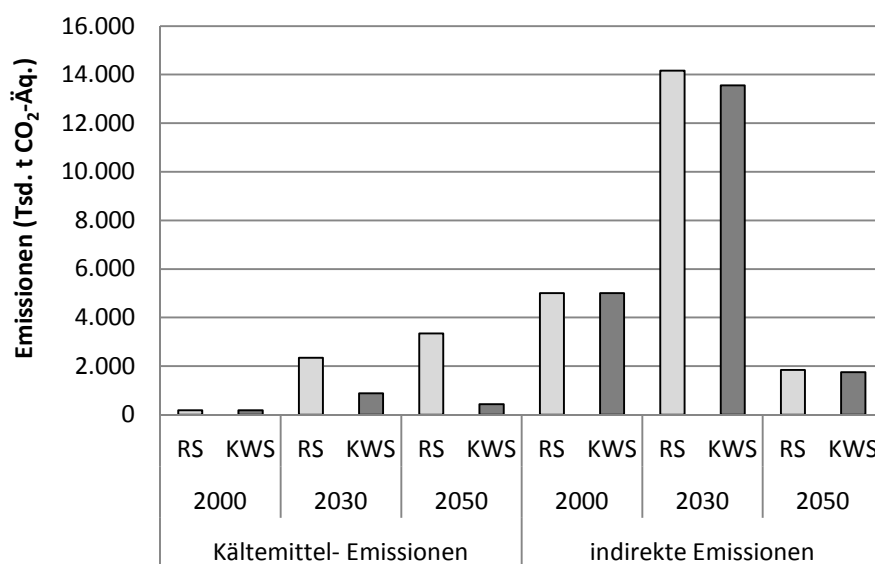


Abbildung 1: Direkte und indirekte Emissionen summiert über die vier betrachteten Anwendungen (Wärmepumpen, Raumklimageräte, Flüssigkeitskühlsätze und Transportkälte-Lkw) in den Jahren 2000, 2030 und 2050. Es sind jeweils die kalkulierten direkten und indirekten Emissionen für das Referenz (RS)- und das Kohlenwasserstoff (KWS)-Szenario dargestellt. Bei Wärmepumpen wird nur der maximale Ausbau der Kapazität berücksichtigt.

Eine weitere Fragestellung der Studie war, ob heute gültige technische Normen oder Standards oder Rechtsvorschriften wie das Produkthaftungsgesetz Hindernisse für die Verbreitung von brennbaren Kältemitteln in den Hauptanwendungen darstellen. Grundsätzlich sind Anlagen mit KW so zu planen und zu bauen, dass sie dem anerkannten Stand der Technik entsprechen. Es ist hervorzuheben, dass Unternehmen, welche KW-Anlagen in den Verkehr bringen bzw. diese betreiben, sich nicht zwingend nach den derzeit gültigen technischen Normen und Standards richten müssen, da diese nicht zwangsläufig den Stand der Technik wiedergeben. Normen und Standards von

Normungsorganisationen wie dem Deutschen Institut für Normung sind im Gegensatz zu Rechtsnormen nicht rechtsverbindlich. Dennoch stellen im Wesentlichen technische Normen und Standards den national und international anerkannten Stand der Technik dar und sind im Fall von Unfällen, die mit KW-Kältemitteln auftreten könnten, und deren rechtlicher Beurteilung die Basis für die Haftungsklä rung. Produkthaftungsfragen sind eng mit dem Stand der Technik und damit mit technischen Standards und Normen verknüpft.

Eine Vielzahl von technischen Normen beschäftigt sich mit den unterschiedlichsten Aspekten der Kälte- und Klimaanlage nungen. Größtenteils sind diese Normen unabhängig von dem verwendeten Kältemittel gültig. Teilweise sind allerdings besondere Sicherheitsanforderungen an brennbare Kältemittel wie KW formuliert. Um technische Normen und Standards, die ein Hindernis für den vermehrten Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln darstellen, zu identifizieren, wurden solche mit Relevanz in der Klima- und Kältetechnik hinsichtlich folgender Aspekte analysiert: Relevanz für die Hauptanwendungen, besondere Vorgaben für KW-Kältemittel bzw. allgemein brennbare Kältemittel, und besondere Vorgaben im Bezug auf das Entstehen von explosiven Atmosphären. Die Analyse ergab, dass die Vorgaben mancher Normen ein Hemmnis für den Einsatz von KW-Kältemitteln in den Hauptanwendungen darstellen. Hierbei handelt es sich konkret um folgende Normen: DIN EN 378, ISO 5149, DIN 14276 und DIN EN 60335-2-40. Es sind v. a. zwei wesentliche Hemmnisse zu nennen, erstens die Berechnungsgrundlage der maximalen Füllmenge, die zu konservativen Füllmengenempfehlungen führt, und zweitens die Bewertung der Leckagemenge und des damit assoziierten Risikos. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass im Falle eines Unfalls, bzw. einer Störung an einer Klima- oder Kälteanlage, die gesamte Kältemittelfüllmenge austritt, eine Annahme die auf keiner wissenschaftlichen Grundlage beruht. Insbesondere für die Anwendungen Raumklimageräte und Transport-Lkw stellt die derzeitige Normenlage ein Hindernis dar. Während für Raumklimageräte in erster Linie die beiden genannten Aspekte ein Hemmnis darstellen und hierbei insbesondere die Empfehlungen der DIN EN 378, wird bei Transport-Lkw das Fehlen eines eigenen Produktstandards als ausschlaggebendes Hemmnis bewertet. So wird derzeit auch bei Transport-Lkw in der Praxis die DIN EN 378 zur Beurteilung des Standes der Technik herangezogen, was wegen der ursprünglichen Konzeption dieser Norm für stationäre Klima- und Kälteanlagen zu Problemen führt. Die vorliegende Studie enthält konkrete Veränderungsvorschläge zu kritischen Normen und Standards, mit einem Schwerpunkt auf der DIN EN 378.

Grundsätzlich kann ein Schaden eines KW-Gerätes oder einer KW-Anlage produkthaftungs- und strafrechtliche Konsequenzen haben. Eine Haftung nach Produkthaftungsrecht muss allerdings nicht zwangsläufig eine strafrechtliche Haftung nach sich ziehen. Zur Beurteilung von Produkthaftungsfragen und der Haftungsklä rung im Falle von Unfällen wird der Stand der Technik herangezogen, und damit in erster Linie die derzeit gültigen Normen und Standards. Für das Strafrecht ist über den vorhandenen Fehler, der zum Unfall geführt hat, hinaus das persönliche Verschulden maßgeblich. Das persönliche Verschulden ist für die Produkthaftung irrelevant. Daher spricht man im Rahmen der Produkthaftung von einer verschuldensunabhängigen Gefährdungshaftung. Folgende Fehler können zu einer verschuldensunabhängigen Gefährdungshaftung führen: Fabrikations-, Instruk tions- und Konstruktionsfehler. Die wichtigste Fehlerart im Zusammenhang mit dem Einsatz von KW-Kältemitteln ist der Konstruktionsfehler. Dieser besteht, wenn das Produkt fehlerhaft konzipiert wurde. Auf Basis einer durchgeführten Literaturrecherche kommt diese Studie zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von KW-Kältemitteln dem Stand der Technik entspricht und damit der Einsatz nicht per se als Konstruktionsfehler klassifiziert werden kann. Dies

gilt, obwohl weniger brennbare, alternative Kältemittel zur Verfügung stehen. Dieses Ergebnis stützt sich im Wesentlichen auf ein Gutachten, das im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energie erarbeitet wurde. Da im Falle eines Rechtsstreits nicht gewährleistet werden kann, dass dieses Ergebnis auf den deutschen Rechtsraum übertragbar ist, ist eine Empfehlung dieser Studie, eine juristisch geprüfte Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes in Deutschland zu erarbeiten.

Aufbauend auf den zuvor dargestellten Analysen war es Ziel der Studie, eine Strategie für den vermehrten Einsatz von KW-Kältemitteln in Deutschland in den ausgewählten Hauptanwendungen vorzuschlagen. Ein hierzu entwickeltes Ablaufschema für die Identifikation und Auswahl geeigneter Maßnahmen und Maßnahmenbündel ist detailliert in Kapitel 6.1.2 erläutert. Es wurden zunächst 20 mögliche Maßnahmen mit unterschiedlicher Zielsetzung zusammengestellt und ausformuliert: fiskalische, regulierende, informationsfördernde und bildungsfördernde Maßnahmen sowie Verpflichtungserklärungen und Maßnahmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung. Dieser Bericht gibt für sämtliche Maßnahmen geschätzte Umsetzungskosten an. In einem zweiten Schritt wurden für jede der Hauptanwendung die größten Barrieren für einen vermehrten Einsatz von KW-Kältemitteln identifiziert (s. Tabelle 1). Die Einschätzungen dazu ergaben sich durch eine detaillierte Literaturrecherche sowie Interviews mit Fachexperten.

Tabelle 1: Wichtige Barrieren für den Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in Deutschland für die vier Hauptanwendungen

Zentrale Barriere	Investitions-kosten	Sektor-qualifizierung (Qualifizierung des Handwerks) *	Technische Normen und Standards, Produkthaftungs-fragen	Wahrnehmung und Akzeptanz	Produkt-verfügbarkeit
Raumklimageräte			x		
Haushaltswärmepumpen				x	
Transportkühlung Lkw			x		
Flüssigkeitskühlsätze	x			x	

* Es ist bekannt, dass die suboptimale Qualifizierung des Handwerks im Umgang mit natürlichen Kältemitteln eine Barriere in Deutschland darstellt, es fehlt allerdings an belastbaren Daten.

Die größte Barriere für Raumklimageräte und Kühl-Lkw stellen die derzeitige Normenlage und nicht hinreichend geklärte Produkthaftungsfragen dar. Für Haushaltswärmepumpen hingegen ist die mangelnde Wahrnehmung und Akzeptanz für den Einsatz von KW-Kältemitteln das wichtigste Hemmnis, während bei Flüssigkeitskühlsätzen hohe Investitionskosten ausschlaggebend sind. In Deutschland werden bereits Maßnahmen zur Förderung von KW-Kältemitteln im Bereich Flüssigkeitskühlsätze umgesetzt, deshalb fokussiert sich die Studie auf die zweitwichtigste Barriere, nämlich mangelnde Wahrnehmung und Akzeptanz für den Einsatz von KW-Kältemitteln. Von den 20 zusammengestellten Maßnahmen wurden diejenigen ausgewählt, die zur Reduktion der jeweils größten Barriere beitragen. Dabei wurden weitere Kriterien wie Wirkungszeitpunkt der Maßnahmen, Umsetzungsunsicherheit, zu erwartender Klimaeffekt und Umsetzungskosten berücksichtigt. Für jede der vier Hauptanwendungen konnte ein aus drei bis fünf Maßnahmen bestehendes optimales Maßnahmenbündel identifiziert werden.

Tabelle 2 zeigt die tatsächlich erreichbare Emissionsreduktion in den Jahren 2030 und 2050 für die Hauptanwendungen, wenn die vorgeschlagenen Maßnahmenbündel umgesetzt werden.

Tabelle 2: Klimateffekt durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmenbündel, dargestellt durch das Emissionsreduktionspotenzial (direkte und indirekte Emissionen) für die Jahre 2030 und 2050

	Geräte und Anlagen	Emissionsreduktions- potenzial im Jahr 2030 (tausend t CO ₂ -Äq.)	Emissionsreduktions- potenzial im Jahr 2050 (tausend t CO ₂ -Äq.)
Raumklimageräte	mobile, steckerfertige Systeme	78,6	72,8
	Einfach-Split-Geräte	292,3	385,1
	Multi-Split- Geräte	90,9	111,6
	VRF-Geräte	340,2	616,5
	Summe Raumklimageräte	802,0	1186,0
Wärmepumpen	Heiz-Wärmepumpen	490,2	1211,4
Transportkälte	Kühl-Lkw	209,6	229,4
Flüssigkeitskühlsätze	Flüssigkeitskühlsätze (klein)	81,0	38,6
	Flüssigkeitskühlsätze (groß)	189,4	194,4
	Summe über alle Anwendungen	1772,2	2859,7

Demnach könnten im Jahr 2030 ca. 1.800 kt CO₂-Äq. eingespart werden. Der größte Anteil entfällt dabei auf die Anwendungen Raumklimageräte (v. a. VRF-Geräte) und Wärmepumpen. Große Emissionsreduktionen sind außerdem in den Anwendungen Einfach-Split-Geräte, Kühl-Lkw und große Flüssigkeitskühlsätze möglich. Hier liegt das Reduktionspotenzial im Jahr 2030 für jeden Gerätetyp in der Größenordnung von 200 bis 300 kt CO₂-Äq.

Abbildung 2 zeigt neben dem bereits dargestellten zu erwartenden Klimateffekt (Tabelle 2) auch die Gesamtvermeidungskosten und die Umsetzungskosten der Maßnahmenbündel. Die höchsten jährlichen Umsetzungskosten ergeben sich bei dem Maßnahmenbündel für Wärmepumpen (ca. 2 Mio. €/a), gefolgt von den Maßnahmenbündeln zu Kühl-Lkw (212.000 €/a), Raumklimageräten (145.000 €/a) und Flüssigkeitskühlsätzen (107.000 €/a). Die genannten Kosten gelten insbesondere für das erste Jahr. In den Folgejahren ist mit teils deutlich geringeren Umsetzungskosten zu rechnen. Die höchsten Kosten, sowohl Vermeidungs- als auch Umsetzungskosten, ergeben sich, ohne Betrachtung der VRF-Geräte, bei der Anwendung Wärmepumpe. Hier ist allerdings auch der größte Effekt im Sinne einer Emissionsreduktion zu erwarten. Wesentlich geringere Vermeidungs- und Umsetzungskosten finden sich, mit Ausnahme der VRF-Geräte, bei den restlichen Anwendungen.

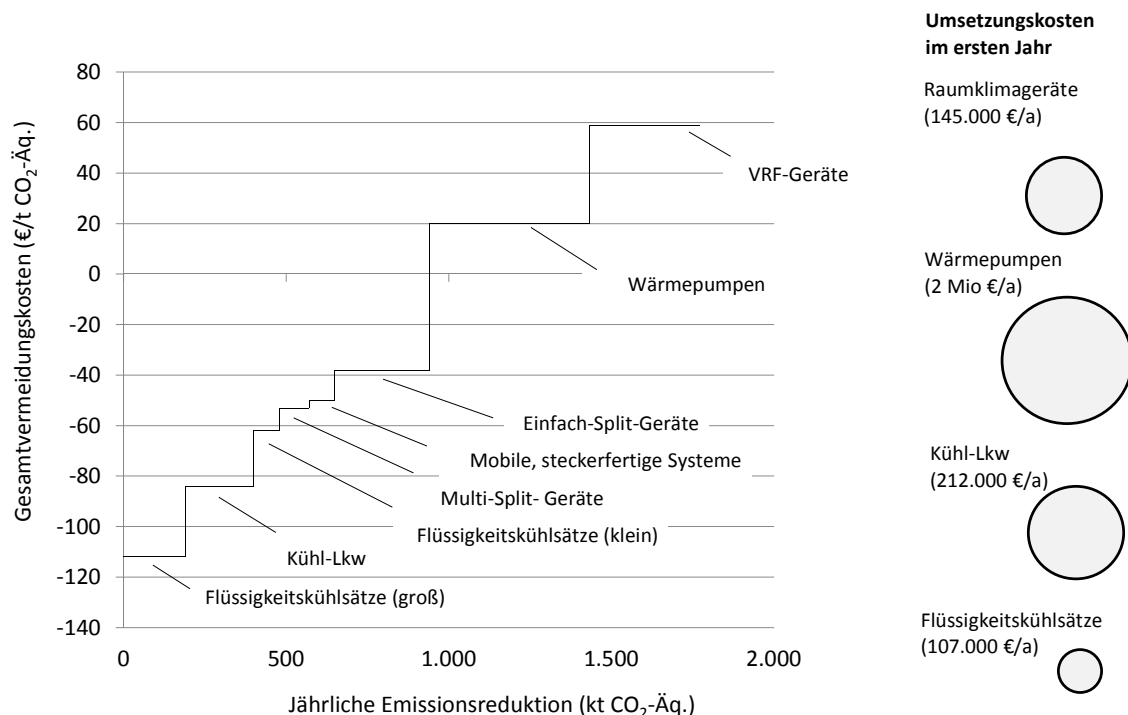


Abbildung 2: Grenzkostenkurve im Jahr 2030 für die Hauptanwendungen inklusive der Umsetzungskosten (rechts), die sich durch die Maßnahmenbündel ergeben. Die Größe der Kreise symbolisiert die Höhe der im ersten Jahr anfallenden Umsetzungskosten. In den Folgejahren ergeben sich geringere Umsetzungskosten.

Schließlich wurden von den vorgeschlagenen Maßnahmenbündeln der vier Hauptanwendungen fünf Maßnahmen ausgewählt, um einen detaillierten, strategischen Umsetzungsfahrplan zu erarbeiten:

- 1) die umweltfreundliche Beschaffung von Flüssigkeitskühlsätzen,
- 2) die Anpassung relevanter technischer Normen und Standards zum vermehrten Einsatz von KW-Kältemitteln, v. a. im Hinblick auf Raumklimageräte,
- 3) die Erarbeitung einer juristisch geprüften Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes, die sich auf alle Anwendungen positiv auswirkt,
- 4) die Schaffung einer fachlichen Anlaufstelle, die als unabhängige Kompetenz- und Beratungsstelle für KW-Kältemittel genutzt werden kann und einen Effekt auf drei der vier Hauptanwendungen hat, und
- 5) die Erarbeitung eines Handlungsleitfadens zum Einsatz von KW-Kältemitteln in Wärmepumpen und zum Einsatz bisher nicht für diese Kältemittel zertifizierter Komponenten.

Das Ziel der Maßnahme „umweltfreundliche Beschaffung“ ist es, den Einsatz von KW-Kältemitteln zur Deckung des Kühlbedarfs in Bundesbauten zu fördern. Mit der Anpassung relevanter technischer Normen und Standards durch aktive Gremienarbeit soll der in Normen und Standards definierte Stand der Technik aktualisiert werden, um KW-Kältemittel nicht unverhältnismäßig zu benachteiligen. Die juristisch geprüfte Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes dient der Klärung von Produkthaftungsfragen während mit der Schaffung einer fachlichen Anlaufstelle ein

objektives Beratungsangebot zu KW-Kältemitteln gewährleistet werden soll. Die Erstellung eines Handlungsleitfadens zum Einsatz von KW-Kältemitteln in Wärmepumpen soll vermitteln, dass es nach dem Stand der Technik problemlos möglich ist, Wärmepumpen mit mehr als 150 g KW-Kältemittel zu bauen, zu installieren, zu betreiben und zu warten. Zudem soll dargestellt werden, wie nicht zertifizierte Komponenten von End- und Teileherstellern zu prüfen und einzusetzen sind, um einen Konflikt mit dem Produkthaftungsgesetz zu vermeiden.

Executive Summary

Using hydrocarbon (HC) refrigerants in air conditioning and refrigeration instead of hydrofluorocarbons (HFCs) can contribute to protecting the climate. In comparison to conventionally used HFCs, hydrocarbon refrigerants have various advantages including a low global warming potential (GWP). Furthermore, hydrocarbon systems often reveal improved energy efficiency. As a result, both direct emissions (from refrigerant) and indirect emissions (due to the generation of operating power, e.g. electricity) can be reduced by using hydrocarbon refrigerants. A negative aspect of HCs is their flammability. This often requires additional safety measures, depending on the system type and installation site.

This study presents a strategic plan for a broader use of hydrocarbon refrigerants in Germany. Therefore four main applications were chosen from the various applications of the air conditioning and refrigeration sectors. In particular, technology was considered that is generally marketable with a low demand for research and development, but which has not been established yet. The four chosen main applications are room air conditioners, household heat pumps (for heating), refrigerated trucks and chillers (up to 1 MW). The following selection criteria were applied: The contribution of an application to the refrigerant emissions in Germany, its technically feasible penetration rate of the hydrocarbon technology in the year 2030, its market development and the resulting assessment of future chances for hydrocarbon technology.

This study shows emission scenarios up to the year 2050 for the four main applications and the resulting contribution hydrocarbon refrigerants could have to the German climate protection target. The scenarios cover both direct and indirect emissions. Two scenarios were created, the reference scenario (RS) and the hydrocarbon scenario (KWS). The first corresponds to a development without any action beyond the current legal framework (Regulation (EC) No 842/2006) to reduce refrigerant emissions. The KWS allows the further penetration of HC-based systems, following the technically feasible market penetration rate. This penetration rate of the hydrocarbon technology does not consider purchaser reservations against flammable refrigerants or similar barriers. The projections rely on two data sources: Historical data updated annually by the Federal Environment Agency (*Umweltbundesamt*) in order to report HFC emissions in Germany. Additionally, interviews with experts regarding potential market developments of the four applications, industry forecasts and literature were considered. Heat pumps are given a special focus in the framework for the energy transition in Germany (*Energieziel 2050*). This is why this study contains an additional scenario based on a maximum growth rate of the heat pump stock. According to this scenario, the entire heating requirements in Germany could be covered by heat pumps by 2050.

The results show that direct emissions are much lower than indirect emission, caused by the energy consumption and the use of fossil fuel, respectively (see figure 1). This finding is robust across different scenarios. In the year 2050, the situation is reversed as the future generation of electricity from renewable energy will not create emissions; the transport refrigeration sector, where fossil fuels are burnt, is an exception. Thus direct emissions exceed the indirect emissions by 2050, considering both the RS and the KWS. The emission reduction potential of direct emissions is generally higher compared to indirect emissions, independent of the scenario. The highest reduction potential of direct emissions was calculated for the year 2050, considering all focal appliances (3,590 kt CO₂-eq). For indirect emissions, the highest emission reduction potential was determined to be in the

year 2034 (600 kt CO₂-eq). From all examined appliances, room air conditioning reveals the highest reduction potential of direct emissions (1,760 kt CO₂-eq) by 2050, followed by household heat pumps (1,200 kt CO₂-eq), chillers (350 kt CO₂-eq) and transport refrigeration (280 kt CO₂-eq). Apart from variable refrigerant flow (VRF) systems with 59 €/tonne CO₂-eq, marginal abatement costs are negative for room air conditioners and transport refrigeration units. Abatement costs are positive for heat pumps (20 €/tonne CO₂-eq). Because abatement costs for the majority of appliances are negative, the hydrocarbon appliances should be given preference from an economic viewpoint as well.

Another objective of this study was to find out whether current standards or legislation, such as the product liability law, present a barrier to the continued spread of flammable refrigerants in the main applications. Generally, hydrocarbons systems must be planned and build to meet the current accepted state of the art. It is noteworthy that companies which place hydrocarbon systems on the market do not have to follow current standards as these may not necessarily reflect the state of the art. In contrast to legal norms, standards from standardisation organizations such as the *Deutsche Institut für Normung* are not legally binding. However, the nationally and internationally accepted state of the art is to a large extent represented in technical standards, which therefore build the basis for juridical judgment in case of potential accidents with hydrocarbon refrigerants. The product liability law is closely related to the state of the art and thus to technical standards.

A variety of technical standards deals with the different aspects of refrigeration and air conditioning. These standards often apply regardless of the refrigerant type. To some extent however, they contain distinct safety regulations for flammable refrigerants, such as hydrocarbons. To identify standards that represent a barrier to a broader use of hydrocarbon refrigerants, standards which are related to refrigeration and air conditioning were analysed according to the following aspects: relevance to the main applications, particular specifications for hydrocarbon refrigerants or flammable refrigerants in general and particular specifications in view of creating explosive atmospheres. The result shows that there are specifications in some standards which represent a barrier for the use of hydrocarbon refrigerants in the focal applications. In particular the following standards are concerned: DIN EN 378, ISO 5149, DIN 14276 und DIN EN 60335-2-40. There are mainly two key barriers; firstly the given formula for the calculation of the maximum initial charge which leads to conservative charge recommendations, and secondly the evaluation of the leakage and the associated risk. Currently it is assumed that in case of an accident or malfunctioning of an air conditioner or refrigeration system, the entire refrigerant charge will escape. This assumption lacks a scientific basis. In particular for room air conditioning and transport refrigeration, the current standard landscape represents a barrier. While the two described key barriers are crucial for room air conditioning and in particular the specifications of DIN EN 378, it is mainly the lack of a distinct standard for transport refrigeration which represents a barrier. To date, the DIN EN 378 is considered when assessing the state of the art in transport refrigeration; this however causes problems as the standard was originally designed for stationary air conditioning and refrigeration systems. This study gives concrete suggestions for modifying critical standards, with a focus on DIN EN 378.

Generally, a damage of a hydrocarbon system may have consequences according to the product liability law and be followed by criminal proceedings. However, liabilities according to the product liability law are not necessarily followed by criminal proceedings. In order to evaluate questions concerning the product liability law and the liability

situation in case of an accident, the state of the art is considered, i.e. primarily the current relevant standards. For criminal justice, the personal fault is crucial beyond the existing failure according to the product liability law. Personal culpability is irrelevant in terms of the product liability law. This is why a failure according to the product liability law is also known as strict liability. The following faults may cause a strict liability: manufacturing fault, lack of information and design faults. The most important error type with regard to the use of hydrocarbon refrigerants are design faults. This fault exists when the product was faulty conceptualised. A literature research was conducted showing that the use of hydrocarbon refrigerants corresponds to the state of the art and cannot per se be classified as a design defect. This is the case even though refrigerants with a lower flammability exist. This result is mainly based on a survey that was commissioned by the *Schweizer Bundesamt für Energie*. As it cannot be ensured that this result holds true under German law in case of a law suit, this study recommends reviewing the interpretation of the product liability law in Germany with respect to hydrocarbon refrigerants.

Based on the previous analysis, the study aimed at suggesting a strategy for a wider use of hydrocarbon refrigerants in the main applications in Germany. A flow chart was developed for this purpose, which is explained in detail in chapter 6.1.2. Initially, 20 potential measures with different objectives were compiled and formulated: fiscal measures, regulating measures, measures to promote information and education, as well as declarations of commitment and measures to promote research and development. This report gives implementation costs for all different measures. In a second step, the main barriers for a wider use of hydrocarbon refrigerants were identified for each of the main applications (see table 1). The assessment is based on a literature research and expert interviews.

The main barriers for room air conditioning and transport refrigeration are the current standard landscape and not sufficiently clarified questions regarding product liability. In contrast, a lack of awareness and acceptance for the use of hydrocarbon refrigerants is the most relevant constraint for household heat pumps, while high investment costs represent the most important constraint for chillers. As measures to promote the use of hydrocarbon refrigerants in chillers are already implemented in Germany, the study focused on the second most important barrier which is a lack of awareness and acceptance for the use of hydrocarbon refrigerants. From the 20 compiled measures, those were selected that contribute to reducing the most important barrier each. Thereby further criteria such as the point in time when a measure becomes effective, implementation uncertainty, expected climate impact and implementation costs were considered. For each of the main applications, the optimal measures were identified (3-5 measures). Table 2 shows the possible emission reductions for the years 2030 and 2050 in the main applications, if the suggested measures are implemented. Accordingly, ca. 1,800 kt CO₂-eq could be saved annually, with the highest contributions from room air conditioning (in particular VRF systems) and heat pumps. Considerable emission savings are also possible in the following applications: single-split air conditioners, transport refrigeration and big chillers. The emission reduction potential is in the magnitude of 200 to 300 kt CO₂-eq by 2030 for each of these appliance types.

Figure 2 shows the marginal abatement costs and the implementation costs of the chosen measures for each application, besides the expected climate impact that was already given in table 2. Highest implementation costs are found for the heat pump measures (ca. 2 Mio. €/a), followed by the transport refrigeration measures (212,000 €/a), air conditioning (145,000 €/a) and chillers (107,000 €/a). The mentioned costs refer to the first year of

implementation. Partly, costs are expected to be reduced significantly in the following years, depending on the application. Not considering VRF-systems, the highest costs, regarding both abatement costs and implementation costs, occur in the heat pump application. However, for this application the highest effect is expected with regard to emission reductions. Much lower abatement costs are found for the remaining applications, again not considering VRF systems.

Finally, five measures were selected from the suggested number of measures in the main applications, to develop a detailed, strategic implementation roadmap:

- 1) Green Public Procurement of chillers
- 2) Adaptation of relevant technical standards to promote a wider use of hydrocarbon refrigerants, in particular regarding the application air conditioning
- 3) Reviewing the interpretation of the product liability law in Germany with respect to hydrocarbon refrigerants, which positively affects all applications
- 4) Establishing a professional contact point which will serve as an independent and objective consulting centre for hydrocarbon refrigerants. This will have an effect on three of the main applications
- 5) Developing and publishing guidelines for the use of hydrocarbons in heat pumps and for the use of components which are not certified for hydrocarbons yet.

Green Public Procurement aims to promote the use of hydrocarbon refrigerants in Federal Buildings when covering the needs for cooling. An active participation in standard committees will allow an update of the currently defined state of the art, so that hydrocarbon refrigerants are not disproportionately disadvantaged. Reviewing the interpretation of the product liability law in Germany with respect to hydrocarbon refrigerants will clarify questions regarding the product liability, while the establishment of a professional contact point will allow a professional objective information service for hydrocarbon refrigerants. Developing and publishing guidelines for the use of hydrocarbons in heat pumps is intended to demonstrate the feasibility of constructing, installing, operating and servicing heat pumps using more than 150 g of hydrocarbon refrigerant according to the current state of the art. Furthermore it will be shown how uncertified components have to be inspected and used in order to avoid problems with the product liability law.

1 Verbreitete Kältemittel und die Eignung von Kohlenwasserstoffen als Alternative

1.1 Übersicht

Kältemittel sind Fluide, die zur Wärmeübertragung in der Klima- und Kältetechnik eingesetzt werden. Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) sind synthetische Verbindungen, die momentan vielfach als Kältemittel eingesetzt werden. Diese Substanzen tragen wegen ihres hohen Treibhauspotenzials (global warming potential, GWP) mit GWP₁₀₀-Werten¹ von 124 (HFKW-152a) bis 4470 (HFKW-143a) zur Erwärmung des Klimas bei. Mit der Verwendung alternativer Kältemittel mit niedrigem GWP kann die Klima- und Kältetechnik einen Beitrag dazu leisten, die globale Temperaturerhöhung zu bremsen.

Bei der Wahl alternativer Kältemittel müssen diverse Faktoren berücksichtigt werden. Die Ersatzstoffe sollten idealerweise folgende Eigenschaften besitzen (UBA 2010; UNEP 2010):

- Kein Ozonabbaupotenzial (ozone depleting potential, ODP)
- Geringes GWP
- Chemische Stabilität in einem möglichst breiten Temperaturbereich
- Kompatibilität mit anderen Materialien, die im System verwendet werden (Metalle, Elastomere, Öle)
- Keine oder geringe Toxizität
- Keine oder geringe Brennbarkeit
- Hohe volumetrische Kälteleistung
- Geringe Kosten
- Kommerzielle Verfügbarkeit
- Gefahrlose Handhabung

Es gibt leider keinen Ersatzstoff, der alle wünschenswerten Eigenschaften besitzt. Des Weiteren sind, je nach System und Ort der Installation, nicht alle Eigenschaften gleich bedeutend.

Eine wichtige Gruppe alternativer Kältemittel sind die sogenannten "natürlichen Kältemittel". Damit sind Substanzen gemeint, die auch natürlicherweise in größeren Mengen in der Umwelt vorkommen. Die wichtigsten natürlichen Kältemittel sind Ammoniak, CO₂ und die Gruppe der Kohlenwasserstoffe (KW). Der folgende Bericht konzentriert sich auf KW als Kältemittel. Ihre wichtigsten Eigenschaften zur Verwendung als Kältemittel werden vorgestellt, Vor- und Nachteile dargelegt und mögliche Einsatzgebiete diskutiert.

Kohlenwasserstoffe besitzen viele der oben genannten, positiven Eigenschaften und sind deshalb als Kältemittel überaus geeignet. Darüber hinaus weisen KW-Systeme aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften von KW häufig eine verbesserte Energieeffizienz auf

¹ IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

(Godrej, 2013; Haier, 2013; AHT, 2013). Der reduzierte Energieverbrauch spart nicht nur Kosten, sondern auch indirekte Emissionen. Ein Nachteil ist allerdings die Brennbarkeit von KW. Dies erfordert je nach System und Installationsort zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen.

1.2 Chemische und thermodynamische Eigenschaften von Kohlenwasserstoffen

KW bestehen lediglich aus den chemischen Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff. Ihre chemische Form ist C_nH_m , wobei n und m die Anzahl der C- bzw. H-Atome darstellt. KW werden den flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOCs) zugerechnet, d. h. sie haben einen hohen Dampfdruck und liegen schon bei relativ niedrigen Temperaturen als Gas vor. Diese organischen Verbindungen besitzen kein ODP und haben eine kurze atmosphärische Lebensdauer. Der GWP-Wert wird in der Literatur mit Werten kleiner sechs angegeben (IPCC, 2007) und ist damit niedrig.

VOCs, und damit KW, können in der Atmosphäre zur Bildung von troposphärischem Ozon und Smog führen, was wiederum schädlich für Menschen und Umwelt sein kann. Dieser Effekt wird in Bezug auf den Einsatz als Kältemittel allerdings als sehr gering eingeschätzt (Colbourne, 2008), KW sind ansonsten nicht toxisch.

Ein ähnlicher Dampfdruck im Vergleich zu HFCKW und HFKW kann grundsätzlich als Indikator für ein „gleichwertiges“ Ersatzkältemittel gesehen werden, was bei KW der Fall ist (Colbourne, 2008). Die volumetrische Kälteleistung von KW-Mischungen ist vergleichbar mit der von HFKW mit ähnlichem Dampfdruck. Vorteile von KW im Vergleich zu FCKW, HFCKW und HFKW sind niedrigere Kompressorauslasstemperaturen aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität und die relativ geringe Dichte und Viskosität von KW. Letzteres führt zu geringeren Reibungsverlusten im Kältekreislauf und zu geringeren Füllmengen der Systeme (Colbourne *et al.*, 2010). Zudem sind KW mit den meisten anderen Materialien und Ölen, die in Kältesystemen eingesetzt werden, kompatibel (Ausnahme: Silikone und silikatbasierte Öle). Dies erleichtert ihre Anwendung als Kältemittel in der Klima- und Kältetechnik.

Die wichtigsten KW-Kältemittel (Industriekälte ausgeschlossen) sind R600a (Isobutan), R290 (Propan) und R1270 (Propen). Auch Mischungen dieser KW kommen als Kältemittel zum Einsatz. In der Industrie werden weitere KW verwendet, beispielsweise R50 (Methan), R170 (Ethan), R601 (Pentan), R601a (Isopentan) und R1150 (Ethen) (Colbourne *et al.*, 2010).

R600a hat einen hohen Bekanntheitsgrad erlangt, seitdem dieses KW-Kältemittel in Europa standardmäßig in Haushaltskühlschränken und in kleineren, steckerfertigen kommerziellen Geräten verwendet wird (Kauffeld, 2012).

Eine Übersicht über die wichtigsten thermodynamischen Eigenschaften und Kennzahlen von KW-Kältemitteln sind in Tabelle 3 dargestellt.

Ein wichtiger Aspekt, der bei der Verwendung von KW als Kältemittel berücksichtigt werden muss, ist deren Brennbarkeit. KW haben gemäß ISO 817/EN 378 eine A3-Klassifizierung, d. h. sie sind brennbar², weisen allerdings eine geringe Toxizität³ auf. Aus

² Eine Abgrenzung von A3- zu A2- und A2L-Kältemitteln (KM) erfolgt über die untere Entflammbarkeitsgrenze (LFL), dem Brennwert (HoC) und der Brandgeschwindigkeit (sf). A2/A2L-KM haben eine LFL > 3,5 % und

sicherheitstechnischen Gründen existieren, je nach System und Ort des installierten Systems, restriktive Empfehlungen zu maximalen Füllmengen. Dies wird in entsprechenden Normen und Standards exakt definiert (siehe Kapitel 4).

A3-KM < 3,5 %. A2/A2L-KM weisen einen HoC-Wert < 19 MJ/kg, und A3-KM > 19 MJ/kg auf. Im Gegensatz zu A2- und A3-KM wird bei A2L-KM zusätzlich die Brandgeschwindigkeit mit $sf < 0.1$ m/s angegeben.

³ Im Fall von Propen wird auf die Herstellerangaben von Fa. Shell Chemicals verwiesen.

Tabelle 3: Überblick über die Eigenschaften verschiedener Kohlenwasserstoff (KW)-Kältemittel. KW-Kältemittel zählen gemäß der ISO 817/EN 378 zu den A3-Kältemitteln

Kältetechnische Bezeichnung	R170	R1150	R290	R1270	R600	R600a	R601	R601a
Chemische Bezeichnung	Ethan	Ethen Ethylen	Propan	Propen, Propylen	Butan	Iso-Butan 2-Methyl- propan	Pentan	Iso-Pentan 2- Methylbutan
EG-Nr.	200-814-8	200-815-3	200-827-9	204-062-1	203-448-7	200-857-2	203-692-4	201-142-8
CAS-Nr.	74-84-0	74-85-1	74-98-6	115-07-1	106-97-8	75-28-5	109-66-0	78-78-4
chemische Formel	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₅ H ₁₂
Molmasse (in g/mol)	30,7	28,1	44,1	42,1	58,1	58,1	72,2	72,2
Zustand bei 1013 mbar, 20 °C	gasförmig	gasförmig	gasförmig	gasförmig	gasförmig	gasförmig	flüssig	flüssig
Farbe und Aggregatzustand	farbloses Gas	farbloses Gas	farbloses Gas	farbloses Gas	farbloses Gas	farbloses Gas	farblose Flüssigkeit	farblose Flüssigkeit
Geruch	kein	süßlich, geringe Warnwirkg.	süßlich, geringe Warnwirkg.	süßlich, geringe Warnwirkg.	süßlich, geringe Warnwirkg.	süßlich, geringe Warnwirkg.	paraffinisch	paraffinisch
kritische Temp. (in °C)	32,2	9,2	96,7	92,4	152	134,7	196,6	187,3
kritischer Druck (in bar)	48,7	50,4	42,6	46,6	38	36,3	33,7	33,8
Sättigungstemperatur bei 1 bar (in °C)	-89	-104	-42	-48	-1	-12	36	28
Sättigungsdruck bei 20 °C (in bar)	38	überkrit.	8,3	10,2	2,1	3	0,56	0,76
Schmelzpunkt (in °C)	-183	-169	-188	-185	-138	-159	-129	-160
Dichteverhältnis mit Luft bei 1013 mbar, 20 °C (Luft = 1)	1,26	0,97	1,55	1,47	2,07	2,06	flüssig	flüssig
LFL (untere Ex.-grenze nach DIN EN 378-1 (in kg/m ³))	0,038	0,036	0,038	0,047	0,048	0,038	0,041	0,041
untere Ex.-grenze (in V%)	2,4	2,4	1,7	1,8	1,4	1,5	1,4	1,3
obere Ex.-grenze (in V%)	16	34	9,5	11	8,5	8,5	7,8	8,0
Zündtemperatur (in °C)	515	425	470	455	365	460	280	420
Flammpunkt (in °C)	-135	-136	-104	-108	-60	-83	-49	-57
Explosionsgruppe	IIA	IIB	IIA	IIA	IIA	IIA	IIA	IIA
Temperaturklasse	T1	T2	T1	T1	T2	T1	T3	T2

Mindestzündenergie (MJ)	0,25	0,082	0,25	>0,18	0,25	>0,18	0,28	0,21
Wassergefährdungsklasse (WGK)	keine	keine	keine	kein	keine	keine	WGK1 (schwach)	WGK2 (wassergef.)
Toxizität	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	gering	gering
AGW ¹⁾ (in mg/m ³)			1800		2400	2400	3000	3000
AGW ¹⁾ (in ml/m ³ bzw. ppm)			1000		1000	1000	1000	1000
MAK-Wert ²⁾ (in ppm)	10000	10000	1000	10000	800	800	600	600
Treibhauspotenzial	5,5**	3,7**	3,3*	1,8*	4,0**	3,3*	3,3*	3***
Sicherheitsklassifizierung	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3
Ozonabbaupotenzial	0	0	0	0	0	0	0	0

Wenn nicht anders angegeben, Werte aus der GESTIS Stoffdatenbank, abrufbar unter: [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates$fn=default.htm$3.0)

1) Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) nach TRGS 900 (vom Januar 2006) sind für Ethan, Ethen, Propen nicht ausgewiesen.

2) Zu Vergleichszwecken wurden die MAK-Werte ergänzend mit aufgenommen.

* Kauffeld, 2010.

** IPCC, 2007.

*** Hasse *et al.*, 2008.

2 Auswahl der für die Strategie zu betrachtenden Anwendungen in der Klima- und Kältetechnik

Im Folgenden werden anhand einer tabellarischen Übersicht der verschiedenen Anwendungsfelder der Klima- und Kältetechnik, Möglichkeiten und Grenzen für KW-Alternativen aufgezeigt.

Für die Entwicklung einer Strategie zum vermehrten Einsatz von KW als Kältemittel, werden vier dieser Anwendungen betrachtet, die im besonderen Maße hierfür geeignet sind. Sogenannte „Schwellentechnologien“ werden dabei bevorzugt betrachtet. Unter Schwellentechnologie ist eine Technologie zu verstehen, die grundsätzlich mit keinem zusätzlichen bzw. nur relativ geringem zusätzlichem Forschungs- und Entwicklungsbedarf marktfähig ist, sich bisher jedoch noch nicht etablieren konnte.

Ein wichtiger Faktor bei der Bestimmung, inwieweit eine alternative Technologie die konventionelle Technologie ersetzen kann, ist die Marktdurchdringungsrate. Marktdurchdringungsraten geben die Marktverfügbarkeit einer Alternativtechnologie prozentual in Bezug auf die insgesamt installierten Neuanlagen in einem bestimmten Marktsegment in einem bestimmten Jahr an. In Tabelle 4 ist die technisch mögliche Marktdurchdringung für das Jahr 2030 angegeben. Eine Definition und die Abgrenzung verschiedener Marktdurchdringungsraten sind im Anhang II zu finden.

In Tabelle 4 sind unter anderem die Marktdurchdringungsraten und die heutigen Kältemittelemissionen der Anwendungen in Deutschland zusammengefasst. Beide Parameter spielen eine bedeutende Rolle für die Auswahl der für die zu entwickelnde Strategie zu betrachtenden Anwendungen. Eine detaillierte Darstellung der verschiedenen Kälte- und Klimatisierungssektoren ist im Anhang I zu finden. Dort werden auch Investitions- und Betriebskosten sowie der Energieverbrauch der wichtigsten Anwendungen tabellarisch aufgeführt. Außerdem enthält Anhang I Angaben zu Marktentwicklungen und Einschätzungen für damit zusammenhängende Chancen für KW-Technologien. Davon ausgehend wurden folgende vier erfolgsversprechende Hauptanwendungen für einen weiteren Ausbau der Verwendung von KW ausgewählt: Raumklimageräte, Haushaltswärmepumpen, Kühl-Lkw, sowie Flüssigkeitskühlsätze bis 1 MW. Retrofit, also die Umrüstung von Anwendungen, wird dabei nicht diskutiert, da der Fokus des Projekts auf der Neuinstallation von Geräten bzw. Systemen liegt.

Im Kapitel 6 werden für diese ausgewählten Anwendungen detaillierte Maßnahmen erarbeitet, deren Umsetzung den Einsatz von KW-Kältemitteln in Deutschland fördern kann.

Tabelle 4: Übersicht über die verschiedenen Kohlenwasserstoff (KW) Alternativen der einzelnen Systeme und ihre mögliche Marktdurchdringung

Anwendungsfelder	Geräte und Anlagen	Kältemittel Referenz-Technologie	KW-Kältemittel Alternative Technologie	Gesamtkosten-differenz* pro Gerät/Anlage (Alternative minus Referenz) (€/a)	Energieverbrauchs-differenz pro Gerät/Anlage (Alternative minus Referenz) [kWh/a]	Technisch mögliche Marktdurchdringung (2030)** [%]	Kältemittel-Emissions-einsparungen pro Gerät /Anlage [t CO ₂ -Äq./a]	Momentane (2011) Kältemittel-Emissionen der Geräte/Anlagen [kt CO ₂ -Äq./a]
A) Haushaltskälte	Kühlschränke und -truhen	R600a	-	-	-	100	-	1,8
B) Gewerbekälte	Steckerfertige Systeme	R134a	R600a / R290	10	0	85	0,04	61,67
	Gewerbekälte-Zentralanlagen (Supermarktanlagen)	80% R404A, 20% R134a	KW + CO ₂ + CO ₂ -Kaskade*	1.900	-13.100	80	69,97	Zentrale kommerzielle Geräte gesamt: 1877,10
			KW + Sole + CO ₂ -Kaskade	2.100	-5.300	80	68,29	
	Gewerbekälte-Zentralanlagen (Diskonteranlagen)	50% R404A, 50% R134a	KW + CO ₂ Kälte-träger	100	-5.300	80	23,38	
			KW + Sole	600	-700	80	23,38	335,15
	Verflüssigungssätze	50% R404A, 50% R134a	R290 KW + Sole	80 40	-400 -100	40 60	0,70 0,70	
C) Transportkälte	Lkw	R404A, R410A	R1270	-200	-1.000	100	2,30	Kühlfahrzeuge gesamt: 243,82
D) Flüssigkeitskühlsätze	Kleiner Verdichter	R410A	R290	-200	-5.200	90	2,20	Flüssigkeitskühlsätze gesamt: 299,48
	Großer Verdichter	R134a	R290	-2.500	-24.000	70	8,65	
	Turboverdichter	R134a	R600a	700	0	<10	19,30	
E) Raumklimageräte	mobile, steckerfertige Systeme	R410A	R290	0	-30	100	0,12	Stationäre Klimatisierung gesamt: 326,41
	Einfach-Split-Geräte	R410A	R290	-10	-100	99	0,27	
	Multi-Split- Geräte	R410A	R290	0	-200	95	0,30	
	VRF-Geräte	R410A	R290 / R1270 + verdampf. Zweitkreislauf	100	0	90	3,70	
F) Wärmepumpen	Wärmepumpen (heizen)	R407C, R410A, R134a	R290	10	-500	80	0,21	65,73

* Die Kostenbetrachtung umfasst Investitions- und Betriebskosten. Sie werden über die Lebensdauer der Geräte betrachtet.

** Die Angaben wurden im Rahmen des Projektes erhoben, siehe Anhang Kapitel II.

*** In der ersten Stufe für die Normalkühlung werden KW als Kältemittel und CO₂ als Kälte-träger eingesetzt, in der zweiten Stufe für die Tiefkühlung wird CO₂ als Kältemittel direkt verdampfend verwendet.

3 Emissionsberechnung: Möglicher Beitrag von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel zum deutschen Klimaschutzziel

3.1 Modell für die Berechnung der technisch möglichen Reduktion von direkten und indirekten Emissionen

Die Berechnung der technisch möglichen Reduktion von direkten Kältemittlemissionen und indirekten Emissionen durch den Energieverbrauch erfolgte in mehreren Schritten (Abbildung 3). Zunächst wurden die Entwicklungen der Bestände der vier Anwendungen bzw. Untieranwendungen projiziert:

- 1) Haushaltswärmepumpen
- 2) Raumklimageräte
 - a. mobile Raumklimageräte
 - b. Einfach-Split-Geräte,
 - c. Multi-Split-Geräte
 - d. VRF-Geräte ⁴
- 3) Flüssigkeitskühlsätze
 - a. Geräte mit durchschnittlicher Kälteleistung 80 kW (bis 100 kW)
 - b. Geräte mit durchschnittlicher Kälteleistung 400 kW (100 kW bis 1 MW)
- 4) Transportkälte-Lkw

Die Projektion beruht zum einen auf historischen Daten, also dem Kältemittelmodell für die Emissionsberichterstattung⁵, das jährlich für das Umweltbundesamt (UBA) aktualisiert wird, und zum anderen auf Interviews mit Experten zur wahrscheinlichen Marktentwicklung der vier Anwendungen sowie Branchenprognosen von Verbänden und anderer Literatur. Im Fall der Wärmepumpen wurden aufgrund ihrer besonderen Bedeutung im Rahmen der Energiewende entsprechend dem Energieziel 2050 (UBA 2010) zusätzlich zur konservativen Projektion des Bestandes eine maximale Entwicklung des Bestandes kalkuliert, mit dem es theoretisch möglich ist, den gesamten Heizbedarf in Deutschland im Jahr 2050 zu decken.

In einem zweiten Schritt wurden für die vier Anwendungen und ihre Untieranwendungen jeweils zwei Szenarien entworfen. Das Referenzszenario (RS) entspricht einer konservativen Entwicklung, in der keine über die bereits gültige Gesetzeslage⁶

⁴ VRF-Geräte sind ein Sonderfall, weil sie direktverdampfende Systeme sind, die häufig große Kältemittelfüllmengen enthalten. Aus Sicherheitsgründen sind sie somit problematisch für den Einsatz von KW. An dieser Stelle wurden deshalb Flüssigkeitskühlsätze als Alternativtechnologie betrachtet. Flüssigkeitskühlsätze sind indirekte Systeme und enthalten deshalb geringere Kältemittel-Füllmengen.

⁵ Öko-Recherche 2012: Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen. Modelle zur Ermittlung der Inventardaten für die Emissionsberichterstattung fluorierte Treibhausgase (HFKW, FKW und SF₆) in ausgewählten Quellgruppen. Schwarz S., Kimmel T. und Gschrey B. Im Auftrag des deutschen Umweltbundesamt.

⁶ Verordnung (EG) Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase und Chemikalien-Klimaschutzverordnung.

hinausgehenden Bemühungen unternommen werden, um Kältemittlemissionen⁷ zu reduzieren. Das bedeutet, dass der Bestand bis 2050 komplett aus HFKW-Geräten besteht. Es ist davon auszugehen, dass auch im RS ein geringer Anteil an KW-Geräten installiert wird, der aufgrund des geringen Effektes jedoch vernachlässigt wird. Das zweite Szenario wird als Kohlenwasserstoff-Szenario bezeichnet (KWS). In diesem Szenario kommen nicht nur Geräte der Referenztechnologie (RefTech), sondern zunehmend auch mit KW befüllte Geräte der Alternativtechnologie (AT) zum Einsatz und zwar entsprechend der technisch möglichen Marktdurchdringungsrate. Die technisch mögliche Marktdurchdringungsrate der KW-Technologie berücksichtigt keine Vorbehalte von Seiten der Käufer von Anlagen gegenüber brennbaren Kältemitteln oder ähnliche Barrieren (s. Kapitel 6.4). Auch die technisch mögliche Marktdurchdringungsrate wurde in Experteninterviews besprochen und durch Literaturangaben ergänzt. Es wird dabei jeweils ein Wert für die Marktdurchdringungsrate für 2015, 2020 und 2030 ermittelt und die dazwischen liegenden Werte werden interpoliert. Für die Jahre ab 2030 liegt die Annahme zu Grunde, dass die teilweise noch zu leistende Forschungs- und Entwicklungsarbeit und die Umstellung der Produktionslinien bis zum Jahr 2030 abgeschlossen sein wird und deshalb die technisch mögliche Marktdurchdringung ab dem Jahr 2030 bis zum Jahr 2050 konstant bleibt. So ergibt sich ein Mischbestand an Geräten mit HFKW- und KW-Technologie, der erst dann ein reiner AT-Bestand wird, wenn bei Erreichen einer Marktdurchdringungsrate von 100 % auch alle RefTech-Geräte nach Ablauf ihrer Lebenszeit ausgetauscht sein werden. An späterer Stelle werden neben der technisch möglichen Marktdurchdringungsrate für die KW-Technologie auch die Marktdurchdringungsraten anderer Alternativen dargestellt. Im Anhang gibt es hierzu entsprechende Definitionen. Werden die Kältemittlemissionen des KWS von denen des RS abgezogen, ergeben sich die Mengen an CO₂-Äquivalenten, die vermieden werden können und zwar bezogen auf die gesamte Anwendung für ganz Deutschland.

Die indirekten Emissionen entstehen entweder bei der Stromerzeugung oder bei der Verbrennung von Diesel im Fall der Kühl-Lkw. Für alle Anwendungen und Unteranwendungen wurde ein technisches Datenblatt jeweils eines generischen Geräts mit HFKW-Technologie (RefTech) und eines KW-Geräts (AT) zusammengestellt. Das generische Gerät repräsentiert die verschiedenen Geräte der Anwendung und hat die mittlere Kälte- (bzw. Wärme-) Leistung, die mittlere Leistungszahl, die mittlere Laufzeit pro Jahr, den mittleren Kaufpreis und die mittlere Leckagerate etc. Wichtig ist hierbei, dass nur alternative Technologien (KW-Technologien) in die Berechnung einbezogen wurden, die eine mindestens gleichwertige Energieeffizienz aufweisen. Darauf wird im Anhang für die einzelnen Anwendungen eingegangen. Es wurde angenommen, dass die benötigte Antriebsenergie (elektrischer Strom und Diesel) für die Anlagen dem heutigen Stand der Technik entspricht.

Aus der installierten Elektroleistung (Leistungsaufnahme) in kW multipliziert mit der jährlichen Laufzeit (h/y) ergibt sich der Verbrauch an Strom eines Geräts pro Jahr.

⁷ Die Kältemittlemissionen setzen sich zusammen aus Befüllungsemissionen bei der Produktion und/ oder Installation, Bestandsemissionen sowie Entsorgungsemissionen. Im Gegensatz zur Berechnung des TEWI (Total Equivalent Warming Impact) werden an dieser Stelle auch die Befüllungsemissionen berücksichtigt.

Multipliziert mit der Bestandszahl ergibt sich der Gesamtverbrauch im jeweiligen Anwendungsbereich in Deutschland.

$$\text{Energieverbrauch}_{\text{Anw.}} = \text{Leistungsaufn.}_{\text{gen. Gerät}} \times \text{mittl. Laufzeit}_{\text{gen. Gerät}} \times \text{Bestand}_{\text{Anw.}}$$

Anw.: Anwendung

Leistungsaufn.: Leistungsaufnahme

gen.: generisches

Werden diese Mengen mit den Emissionsfaktoren der Stromerzeugung (s. Anhang II) multipliziert ergeben sich die indirekten Emissionen der Anwendung für Deutschland. Für Kühl-Lkw wurde zusätzlich der Dieselverbrauch für die Stromerzeugung berechnet. Die Emissionsfaktoren, also das Verhältnis von elektrischer Strommenge bzw. Dieselmenge zu Emissionen an CO₂, wurden an die Vorhaben der Bundesregierung im Rahmen der Energiewende angepasst. Da der Emissionsfaktor der Stromerzeugung bis 2050 sinkt, ist zum Vergleich auch der Energieverbrauch über die Zeit dargestellt.

$$\text{Em}_{\text{E Anw.}} = \text{E}_{\text{Anw.}} \times \text{Emissionsfaktor}_{\text{Energiebereit.}}$$

Em: Emissionen

E: Energieverbrauch

Energiebereit.: Energiebereitstellung

$$\text{Em}_{\text{KM gen. Gerät}} = \text{Füllmenge}_{\text{gen. Gerät}} \times \text{Leckagerate}_{\text{gen. Gerät}} \times \text{Lebensdauer}_{\text{gen. Gerät}}$$

KM: Kältemittel

Em: Emissionen

$$\text{Em}_{\text{ges}} = \text{Em}_{\text{E}} + \text{Em}_{\text{KM}}$$

ges = gesamt

Die Investitionskosten sowie die Betriebskosten wurden für Geräte alternativer Technologie und für Geräte der Referenztechnologie berechnet. Aus den jährlichen Betriebskosten und den annualisierten Investitionskosten ergeben sich die jährlichen Gesamtkosten.

Aus der Gesamtkostenbetrachtung (s. Tabelle 27) lassen sich wiederum die CO₂-Vermeidungskosten ableiten. Diese ergeben sich aus der Kostendifferenz der alternativen KW-Technologie und der Referenztechnologie sowie den Emissionsdifferenzen, wie aus den folgenden Formeln hervorgeht. Für eine detailliertere Betrachtung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten, siehe Anhang, Kapitel II.

$$\text{VK}_{\text{KM_EM}} = \frac{(\text{InvestK}_{\text{AT}} - \text{InvestK}_{\text{Ref}}) + (\text{BetriebK}_{\text{AT}} - \text{BetriebK}_{\text{Ref}})}{\text{Em}_{\text{KM Ref}} - \text{Em}_{\text{KM AT}}}$$

VK_KM_EM: Vermeidungskosten Kältemittlemissionen

Kohlenwasserstoffe sicher als Kältemittel einsetzen

K.: Kosten

AT: Alternativtechnologie

Ref: Referenztechnologie

$$VK_{\text{gesamt}} = \frac{(\text{Invest}K_{\text{AT}} - \text{Invest}K_{\text{Ref}}) + (\text{Betrieb}K_{\text{AT}} - \text{Betrieb}K_{\text{Ref}})}{Em_{\text{ges Ref}} - Em_{\text{ges AT}}}$$

VK.: Vermeidungskosten

Die Vermeidungskosten beziehen sich damit zum einen nur auf die Kältemittlemissionen und zum anderen auf die Kältemittel- und die indirekten Emissionen, also die Gesamtemissionen⁸.

⁸ Die Vermeidungskosten mit Bezug auf die indirekten Emissionen (energetische Vermeidungskosten oder indirekte Vermeidungskosten) berücksichtigen im Nenner lediglich die Emissionen aus der Energiebereitstellung (Em_E). Die indirekten Vermeidungskosten sind allerdings wenig aussagekräftig und werden deshalb im Rahmen der Studie nicht verwendet und dargestellt.

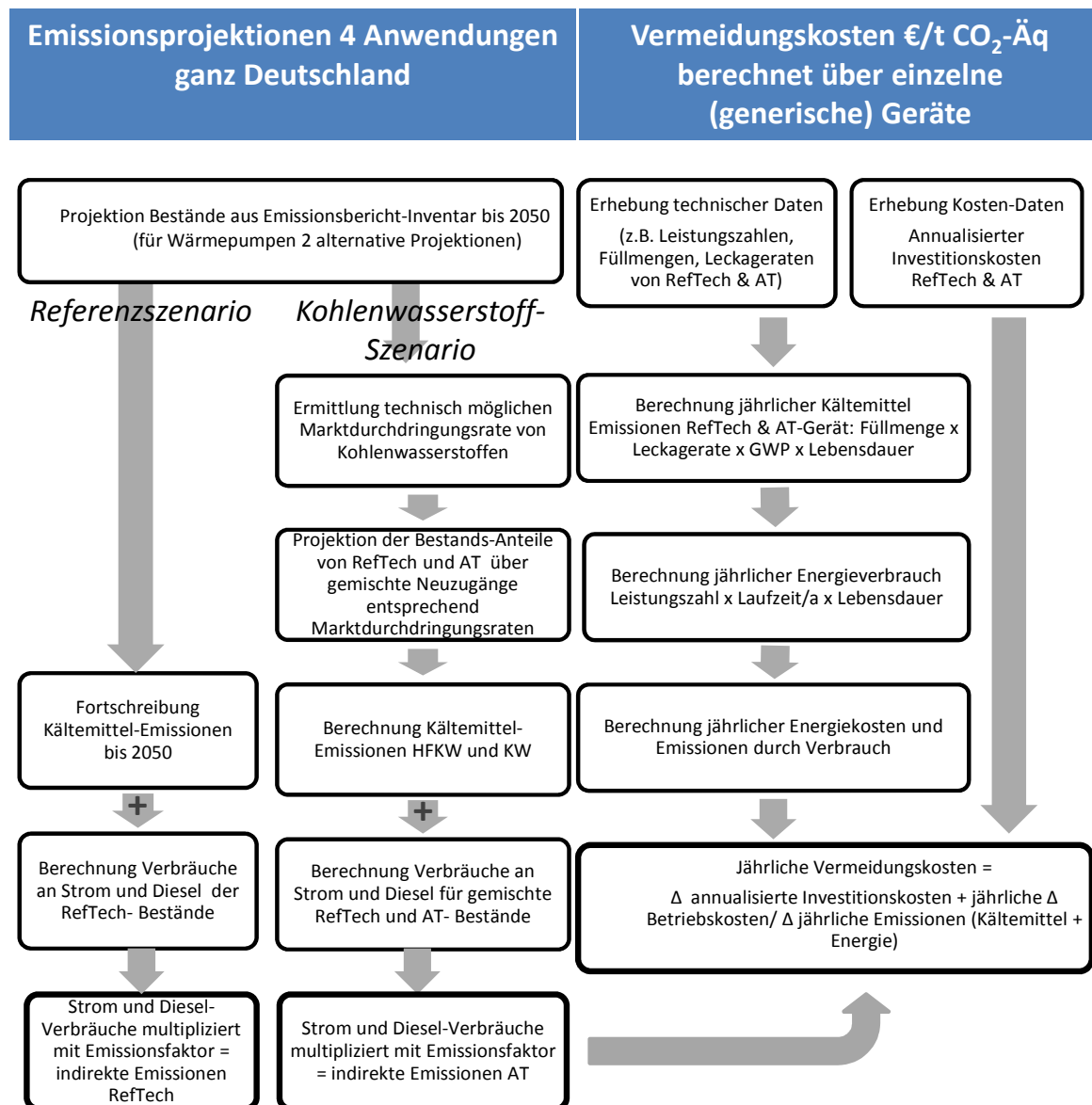


Abbildung 3: Modell zur Berechnung der Kältemittlemissionen im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario, der indirekten Emissionen durch die Bereitstellung der Antriebsenergie und der Vermeidungskosten.

Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise befindet sich im Anhang II.

3.2 Ergebnisse der Emissionsberechnung für die ausgewählten Anwendungen

Für die vier betrachteten Anwendungsfelder

- Haushaltswärmepumpen,
- Flüssigkeitskühlsätze im Leistungsbereich bis 1 MW,
- Raumklimageräte sowie
- Transportkälte-Lkw

wurden die

- direkten Kältemittlemissionen,
- indirekten, durch den Energieverbrauch verursachten Emissionen sowie
- Energieverbräuche

im Referenzszenario (RS) und im Kohlenwasserstoffszenario (KWS) berechnet.

Für diese Berechnungen stellen die technisch möglichen Marktdurchdringungsraten, die in Abbildung 4 dargestellt sind, eine grundlegende Größe dar. Vollständige Umstellungen auf KW als Arbeitsmittel von Kompressionskälteanlagen erscheinen bei mobilen Klimageräten und Lkw möglich. Bei Einfach-Split-Geräten ist davon auszugehen, dass es Bereiche bzw. Aufstellungsorte gibt, in denen besondere Sicherheitsvorkehrungen zu beachten sind, weshalb die maximale Marktdurchdringungsraten auf 99 % beschränkt bleibt. Die Alternative zu VRF-Geräten sind Flüssigkeitskühlsätze. Für Flüssigkeitskühlsätze als Ersatz für VRF, Multi-Split-Klimaanlagen und Flüssigkeitskühlsätze der Leistungsklasse mit einem mittleren Leistungsbereich um 80 kW liegen die maximalen technisch möglichen Marktdurchdringungsraten bei 90 %. Flüssigkeitskühlsätze der Leistungsklasse mit einem mittleren Leistungsbereich um 400 kW können nur zu etwa 70 % auf KW umgestellt werden. Allerdings ist Ammoniak für den oberen Leistungsbereich ab 800 kW sowieso die bessere Alternative. Eine technisch mögliche Marktdurchdringung von 80 % wird für Wärmepumpen angenommen. Detailliertere Begründungen für die Raten finden sich im Anhang II.

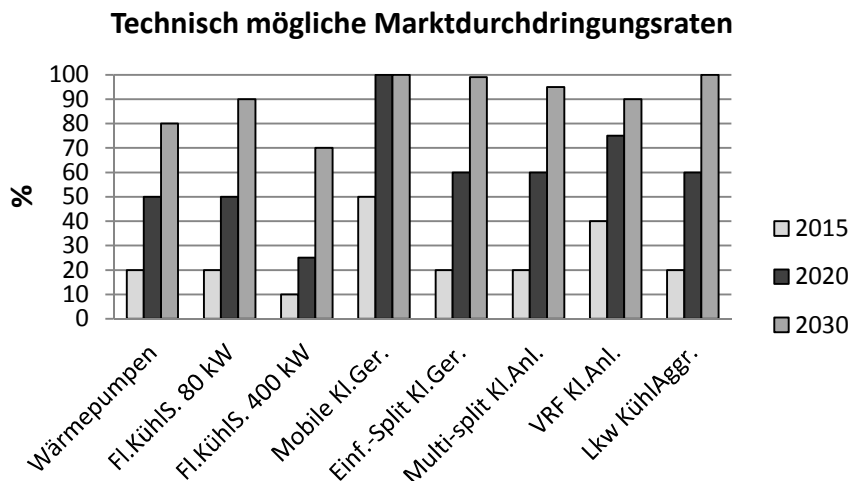


Abbildung 4: Technisch mögliche Marktdurchdringungsraten in Deutschland für 1. Haushaltswärmepumpen, 2. Flüssigkeitskühlsätze (Fl.Kühls) im Leistungsbereich 80 und 400 kW, 3. Raumklimageräte, aufgeteilt in mobile Klimageräte (Mobile Kl.Ger.), Einfach-Split-Klimageräte (Einf.-Split Kl.Ger.), Multi-Split-Klimaanlagen (Multi-split Kl.Anl.) und VRF-Klimaanlagen (VRF Kl.Anl.) sowie 4. Kühl-Aggregate für Lkw und Anhänger (Lkw KühlAggr.). Es sind Werte für 2015, 2020 und 2030 angegeben. Die Werte für die Jahre von 2030 bis 2050 sind identisch mit denen von 2030 und deshalb nicht dargestellt.

3.2.1 Ergebnisse Haushaltswärmepumpen

Für Haushaltswärmepumpen wurden zwei Szenarien für die zukünftige Entwicklung des Bestandes bzw. der Wärmeleistung erstellt. Die erste, als konservative Entwicklung bezeichnete, basiert auf einer BWP Branchenstudie (2011) und dem EHPA Outlook (2012). Sie kann auch als Mindestbestandsentwicklung betrachtet werden. Diese konservative Entwicklung des Wärmepumpenbestandes bis zum Jahr 2050, aufgeteilt in die drei Typen von nutzbarer Umweltenergie, ist in Abbildung 5 dargestellt. Der Bestand im Jahr 2050 würde danach etwa 2.260.000 Wärmepumpen betragen und einer installierten Wärmeleistung von 25 GW entsprechen (Abbildung 6).⁹ Das Energieziel 2050 (UBA 2010) sieht vor, dass der gesamte Heizbedarf in Deutschland im Jahr 2050 mit Wärmepumpen gedeckt werden soll. Dies ist in einem zweiten Szenario abgebildet: das maximale Szenario. Aus den 31 TWh/a an elektrischem Strom, der für die Deckung des gesamten Heizbedarfes in Deutschland im Jahr 2050 ausreichen soll (UBA 2010), ergibt sich eine installierte Wärmeleistung von ca. 54 GW (Abbildung 6).

⁹ Neuere Prognosen des BWP (2013) gehen im „konservativen Szenario“ von einem geringeren Wachstum aus, als in der BWP-Studie vom Jahr 2011. Im „maximalen Szenario“, dessen Ergebnisse in den folgenden Kapiteln betrachtet werden, ergeben sich allerdings keine Veränderungen.

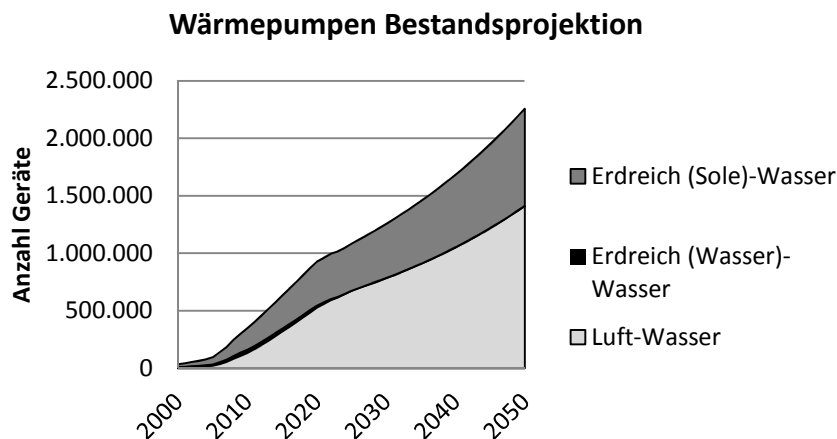


Abbildung 5: Projizierte konservative Bestandsentwicklung für Haushaltswärmepumpen in Deutschland bis 2050. Wärmepumpen, die die Luftwärme als Energiequelle nutzen, werden im Bestand besonders stark zunehmen.

Installierte Wärmeleistung Wärmepumpen maximale Projektion und konservative Projektion

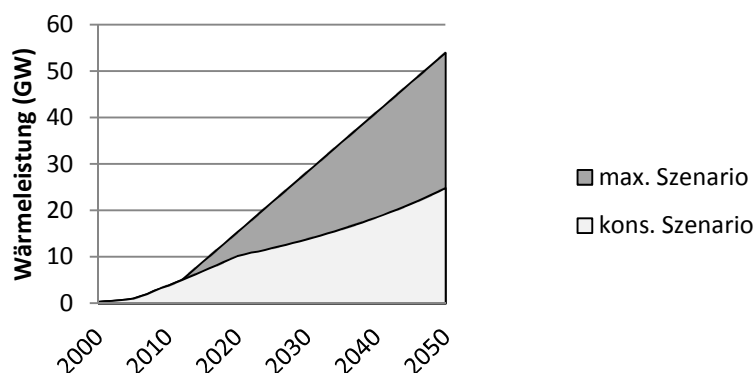


Abbildung 6: Projizierte Entwicklungen der installierten Wärmeleistung für Haushaltswärmepumpen in Deutschland bis 2050 in zwei Szenarien: 1. maximales Szenario, angelehnt an das Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen (UBA 2010) mit einer installierten Wärmeleistung von ca. 55 GW und 2. konservatives Szenario, angelehnt an die BWP Branchenstudie (2011) und den EHPA Outlook (2012).

Die direkten Emissionen betrugen im Jahr 2000 nur 4 kt CO₂-Äq. (Abbildung 7a und b). Im konservativen Szenario ohne Umstellung von HFKW auf KW werden sie im Jahr 2050 mehr als 600 kt (Abbildung 7a) und bei maximaler Zunahme der Wärmeleistung sogar über 1.500 kt CO₂-Äq. betragen (Abbildung 7b). Durch den Einsatz von Kohlenwasserstoffen (Propan) als Arbeitsmittel in Neuanlagen¹⁰ könnten 2050 die direkten Emissionen im konservativen

¹⁰ Der technisch mögliche Anteil der mit KW befüllten Wärmepumpen (Marktdurchdringungsrate) wurde mit 20 % im Jahr 2015, 50 % im Jahr 2020 und 80 % im Jahr 2050 veranschlagt.

Szenario auf ca. 130 kt und im maximalen Szenario auf etwa 300 kt CO₂-Äq. eingedämmt werden. Aufgrund der erstens sehr geringen Verbreitung von Wärmepumpen im Jahr 2000 und entsprechend geringen direkten Emissionen sowie zweitens begründet durch eine nicht vollständige Austauschbarkeit von HFKW durch KW (technisch mögliche Marktdurchdringung 80 %), ist es in dieser Anwendung nicht möglich, die direkten Emissionen gegenüber dem Jahr 2000 zu reduzieren. Aus heutiger Perspektive ist auch bei schnellstmöglicher Umstellung auf KW ein Anstieg der direkten Emissionen bis in die zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts zu erwarten. Bei konservativem Wachstum fallen die direkten Emissionen dann ab, bei maximalem Anwachsen des Wärmepumpenbestandes stagnieren sie. In beiden Fällen nehmen die direkten Emissionen ab 2045 wieder zu, da die Bestände konstant weiterwachsen und damit auch der Bestand der HFKW-Wärmepumpen wächst.

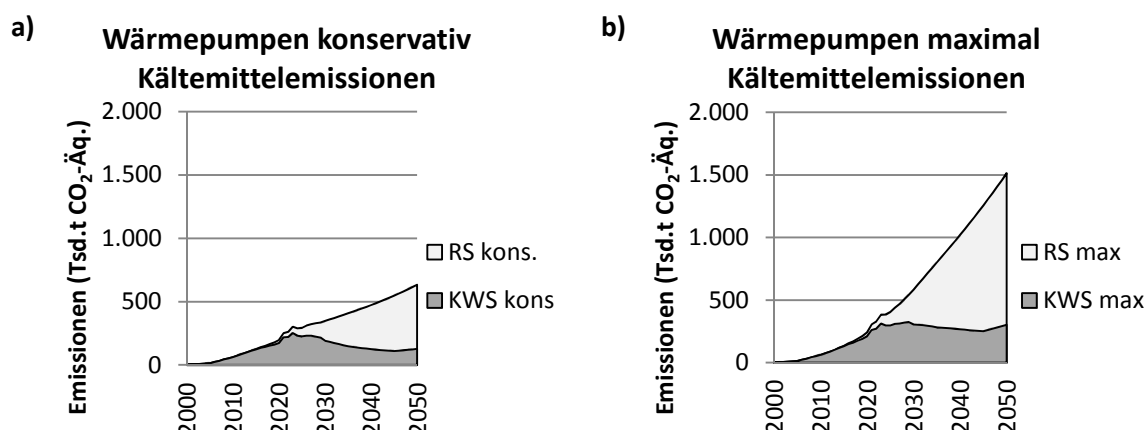


Abbildung 7: Direkte Emissionen aus Wärmepumpen in Deutschland bei konservativen (a) und maximalen (b) Wachstum des Wärmepumpenbestandes, jeweils im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. In beiden Referenzszenarien (a und b) steigen die direkten Emissionen bis zum Jahr 2050 stetig an: auf über 600 kt CO₂-Äquivalente (konservativ; a) bzw. auf 1.500 kt CO₂-Äquivalente (max; b)

In Abbildung 8a und b sind die Stromverbräuche und indirekten Emissionen von Wärmepumpen sowohl für eine konservative Zunahme als auch für eine maximale Zunahme von Wärmeleistung jeweils als Referenz- und KW-Szenario bis 2050 dargestellt. Die Stromverbräuche steigen jeweils mit dem Bestand massiv an und erreichen bei konservativem Wachstum des Bestandes im Referenz-Szenario im Jahr 2050 14 TWh und bei maximaler Zunahme über 31 TWh. Bei Umstellung von HFKW auf KW (KWS) wäre es im Fall des konservativen Szenarios möglich, die Verbräuche im Jahr 2050 auf etwas über 13 TWh und bei maximalem Wachstum auf 29 TWh zu reduzieren¹¹. Durch den Umstieg

¹¹ An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Vorgabe, dass im Jahr 2050 der Heizbedarf in Deutschland mit nur 31 TWh elektrischen Stroms zu decken sei (UBA 2010) auf maximalen Effizienzsteigerungen und Einsparungen beruht. Allerdings wird in dem Bericht Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Energien (ibid.) der Wechsel des Arbeitsmittels nicht als solche Möglichkeit zur Effizienzsteigerung genannt. Deshalb werden die durch einen Wechsel zu KW möglichen Einsparungen hier zusätzlich eingerechnet.

auf erneuerbare Energiequellen zur Stromerzeugung bis hin zu einer emissionsfreien Stromerzeugung im Jahr 2050 wäre es trotz einer Zunahme des Stromverbrauchs möglich, die indirekten Emissionen zu reduzieren und letztlich auf 0 zu senken. Der Zeitpunkt, zu dem dieser Wechsel von Zunahme zu Abnahme indirekter Emissionen stattfindet, ist bei konservativem Bestandswachstum das Jahr 2020 und bei maximalem Wachstum etwa zehn Jahre später, siehe Abbildung 8a. Bei Umstellung auf KW wird dieser Scheitelpunkt ein bzw. zwei Jahre früher erreicht.

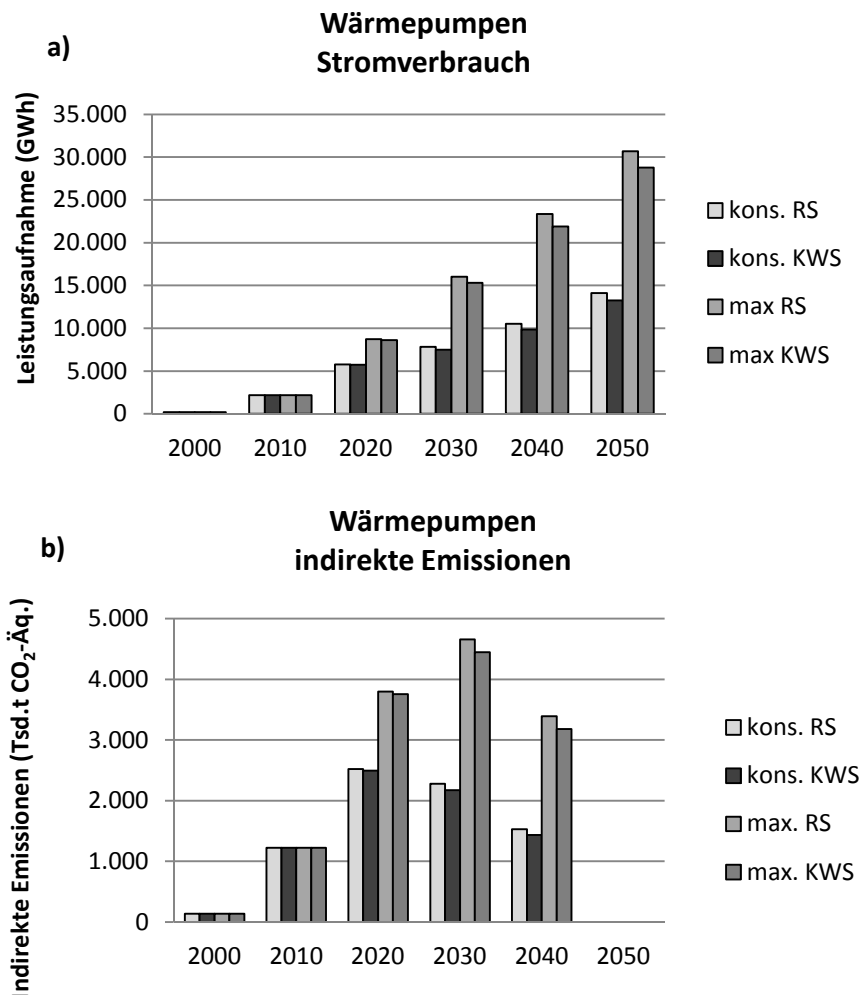


Abbildung 8: Projizierter Stromverbrauch (a) und indirekte Emissionen (b) von Wärmepumpen in Deutschland jeweils im konservativen und maximalen Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario. Die indirekten Emissionen steigen in allen Szenarien zunächst stark an. Durch die geplante Erzeugung von Strom aus regenerativen Quellen und einem bis 2050 schrittweise auf Null sinkendem Emissionsfaktor des elektrischen Stroms sinken die indirekten Emissionen ab 2020 bzw. 2030 wieder und erreichen im Jahr 2050 den Wert Null.

3.2.2 Ergebnisse Flüssigkeitskühlsätze im Leistungsbereich bis 1 MW

Die projizierte Entwicklung des Bestandes an Flüssigkeitskühlsätzen bis 2050, aufgeteilt in zwei Leistungsklassen mit mittleren Leistungsbereichen um 80 kW und um 400 kW Kälteleistung ist in Abbildung 9 dargestellt.

Bestandsprojektionen Flüssigkeitskühlsätze

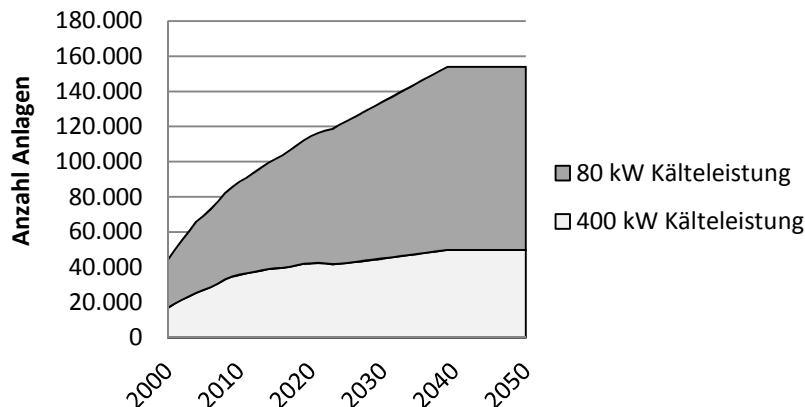


Abbildung 9: Projizierte Bestandsentwicklung für Flüssigkeitskühlsätze in Deutschland in Leistungsklassen von 80 und 400 kW.

Die direkten und indirekten Emissionen in der Anwendung Flüssigkeitskühlsätze bis 1 MW Leistung wurden für die zwei Leistungsklassen 80 kW und 400 kW getrennt berechnet. Die Referenz- und KW-Szenarien stellen sich in beiden Leistungsklassen ähnlich dar (Abbildung 10 und Abbildung 11). Die direkten Emissionen steigen in beiden Referenz-Szenarien bis auf geringe Fluktuationen bis zum Jahr 2040 konstant an und flachen dann entsprechend der Bestandsentwicklung ab. In der Leistungsklasse 80 kW erhöhen sie sich von 8 kt CO₂-Äq. im Jahr 2000 auf 86 kt CO₂-Äq. im Jahr 2050. Für die Leistungsklasse 400 kW ist ein Anstieg von 53 kt CO₂-Äquivalenten (2000) auf 389 kt CO₂-Äquivalente (2050) errechnet worden (Abbildung 10a und b).

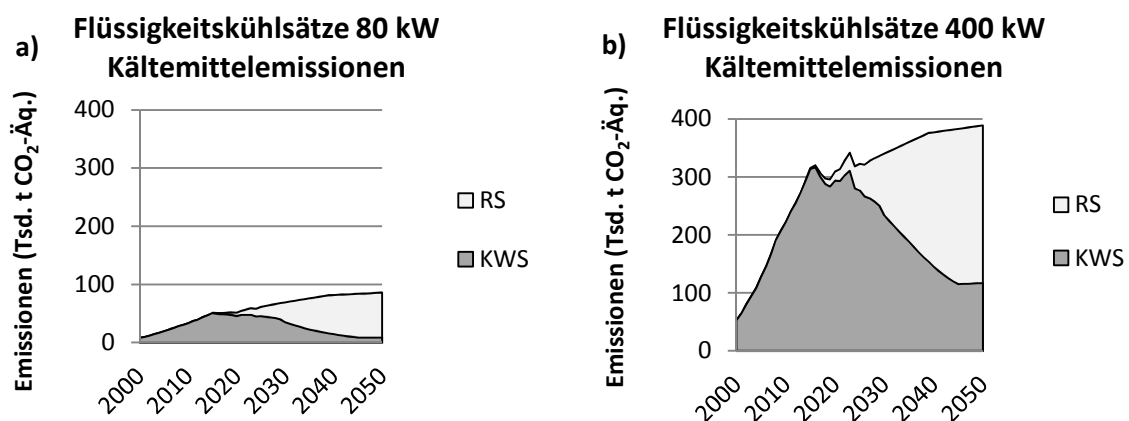


Abbildung 10: a) Direkte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen in Deutschland im Leistungsbereich 80 kW im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. b) Direkte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen im Leistungsbereich 400 kW im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario.

In beiden KW-Szenarien stagnieren die direkten Emissionen ab dem Jahr 2013, um dann ab 2024 stark abzufallen. Etwa ab dem Jahr 2045 stabilisieren sie sich ebenfalls zeitgleich. Der Unterschied zwischen den beiden Leistungsklassen liegt in den emittierten Mengen

fluorierter Treibhausgase. Während die direkten Emissionen der 80 kW-Leistungsklasse im Jahr 2050 praktisch wieder den Ausgangswert des Jahres 2000 erreichen, nämlich 9 kt CO₂-Äq., bleiben die direkten Emissionen in der oberen Leistungsklasse im Jahr 2050 aufgrund der geringeren technisch möglichen Marktdurchdringung über dem zweifachen Wert des Jahres 2000, bei 117 kt CO₂-Äq. (Abbildung 10a und b).

Die Stromverbräuche von Flüssigkeitskühlsätzen steigen insgesamt in beiden Leistungsklassen im Referenz- als auch im KW-Szenario (Abbildung 11a und c) entsprechend den Bestandsentwicklungen (Abbildung 9). Im Leistungsbereich um 80 kW verläuft dieser Anstieg der Verbräuche von ca. 1.400 GWh pro Jahr (2000) im Referenz-Szenario auf 5.400 GWh/a (2050) und im KW-Szenario auf 4.900 GWh/a. Bei den Flüssigkeitskühlsätzen der Leistungsklasse 400 kW verhält sich der Anstieg ähnlich. Im Jahr 2000 betragen die Energieverbräuche jeweils rund 4.000 GWh pro Jahr. 2050 erreichen sie 12.000 GWh/a im Referenz-Szenario und 11.100 GWh/a im KW-Szenario. Die Minderung der Energieverbräuche durch die Umstellung der Kältemittel beträgt im Jahr 2050 rund 10 % in der Leistungsklasse 80 kW und etwas weniger in der Leistungsklasse 400 kW. Die absoluten Stromeinsparungen von 900 GWh/a sind aber in der Leistungsklasse 400 kW deutlich höher als bei den kleineren Flüssigkeitskühlsätzen der Leistungsklasse 80 kW. In der Leistungsklasse um 80 kW betrugen die indirekten Emissionen 2000 etwa 900 kt CO₂-Äq. und 2014 werden sie ihr Maximum von 1.640 kt CO₂-Äq. erreichen. Bis 2050 sinken sie dann aufgrund der CO₂-freien Stromerzeugung auf null (Abbildung 11b und d).

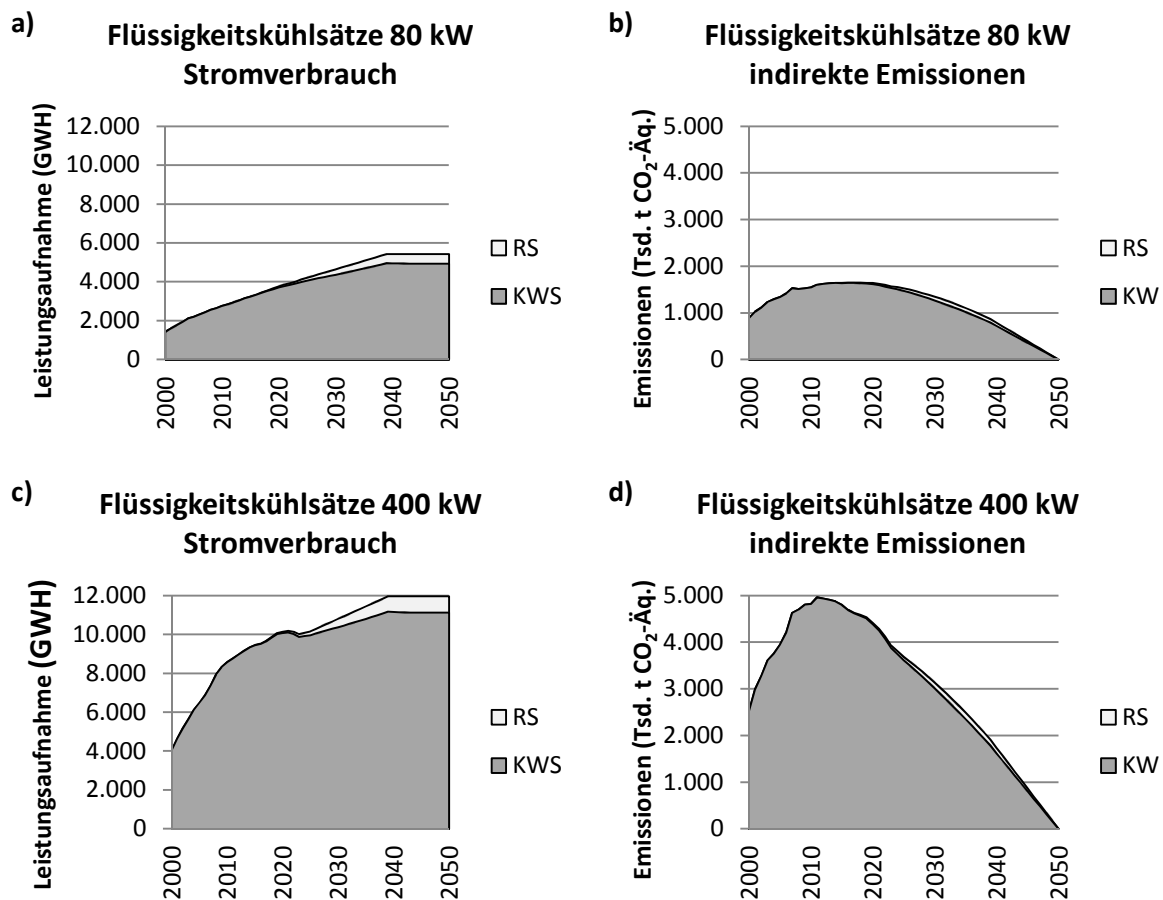


Abbildung 11: a) und b) Stromverbrauch und indirekte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen in Deutschland im Leistungsbereich von 80 kW im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. c) und d) Stromverbrauch und indirekte Emissionen von Flüssigkeitskühlsätzen im Leistungsbereich von 400 kW im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario.

3.2.3 Ergebnisse Raumklimageräte

Für die Unteranwendungen Mobile Raumklimageräte, Einfach-Split-Geräte und Multi-Split/VRF-Geräte wurden, wie im Methodenteil erklärt, jeweils eigene Annahmen getroffen und eigene Ergebnisse berechnet.

Projektionen:

Für mobile Raumklimageräte wird angenommen, dass der Markt für Neuanlagen bereits gesättigt ist, also die Zahl der Neuinstallationen gleich bleibt. Der Bestand verbleibt ab 2021 konstant bei 874.000 Geräten. Für Einfach-Split¹²-, Multi-Split- und VRF-Geräte wird angenommen, dass die Zahl der jährlichen Neuinstallationen bis zum Jahr 2040 dem Trend der Jahre 2001 bis 2011 entspricht. Entsprechend der Projektionen im Energieziel 2050 (UBA 2010) stagniert der Bestand ab 2040 bis 2050. Die projizierte Entwicklung der Bestände der verschiedenen Klimageräte bis 2050 ist in Abbildung 12 dargestellt.

¹² Der Bestand an Einfach-Split-Geräten umfasst auch die Fensterklimageräte.

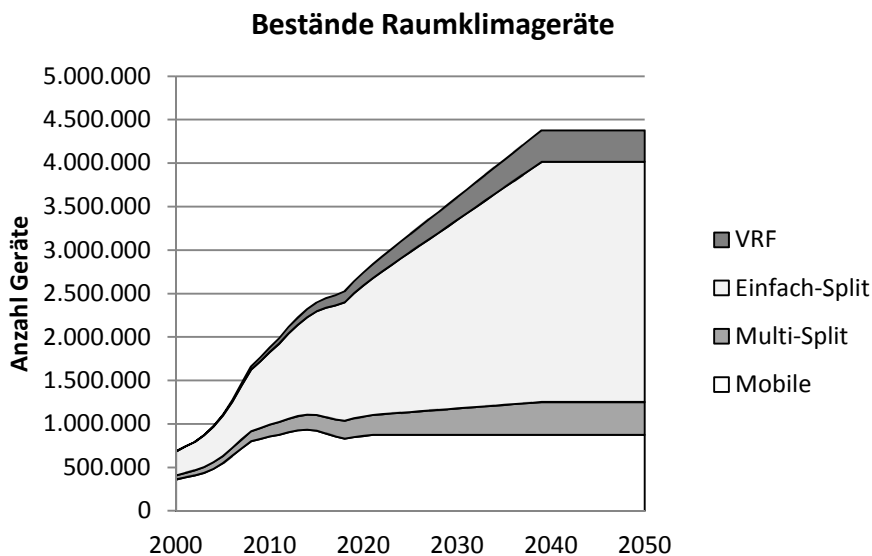


Abbildung 12: Projizierte Bestandsentwicklung für Raumklimageräte in Deutschland (Mobile-, Einfach-Split-, Multi-Split- und VRF-Geräte).

Direkte Emissionen:

Bei mobilen Raumklimageräten steigen die direkten Emissionen bis zum Jahr 2014 um dann leicht abzufallen und ab 2022 zu stagnieren, so wie es auch die Bestandsentwicklung vorgibt (Abbildung 13a). Dies gilt für das Referenz- und für das KW-Szenario. Im Referenz-Szenario tritt im Jahr 2022 eine Stabilisierung der direkten Emissionen ein. Im Jahr 2030 reduzieren sich die direkten Emissionen im KW-Szenario auf einen Wert unter 1 kt CO₂-Äq.

Die direkten Emissionen von Einfach-Split-Geräten wachsen im Referenz-Szenario konstant von ca. 1 kt CO₂-Äq. im Jahr 2000 auf 770 kt im Jahr 2050 an. Im KW-Szenario steigen die direkten Emissionen ebenfalls, allerdings nur auf 300 kt CO₂-Äq. im Jahr 2017 (Abbildung 13) und sinken dann bis zum Jahr 2040.

Die direkten Emissionen von Multi-Split-Geräten sind in Abbildung 13c zu sehen. Im Referenz-Szenario steigen die direkten Emissionen nahezu linear vom Ausgangswert 13 kt CO₂-Äq. im Jahr 2000 auf ca. 270 kt CO₂-Äq. im Jahr 2050 an. Im KW-Szenario steigen die direkten Emissionen auf 140 kt CO₂-Äq. im Jahr 2016 und fallen dann ab auf einen Residualwert von ca. 60 kt CO₂-Äq. Wie auch bei Einfach-Split Geräten können nach bisherigem Stand der Untersuchung keine Reduktionen gegenüber dem Ausgangsjahr 2000 erreicht werden.

Bei VRF-Geräten ist das Verhalten der Kurven der direkten Emissionen ähnlich wie bei Einfach-Split und Multi-Split-Geräten. Allerdings gab es im Jahr 2000 noch keine direkten Emissionen aus VRF-Geräten, da deren Markteinführung in Deutschland erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte. Im Referenz-Szenario emittieren im Jahr 2050 über 800 kt CO₂-Äq.. Im KW-Szenario ist der Peak bereits 2015 mit 215 kt erreicht und eine Reduzierung auf 122 kt CO₂-Äq. im Jahr 2050 ist technisch möglich (Abbildung 13d).

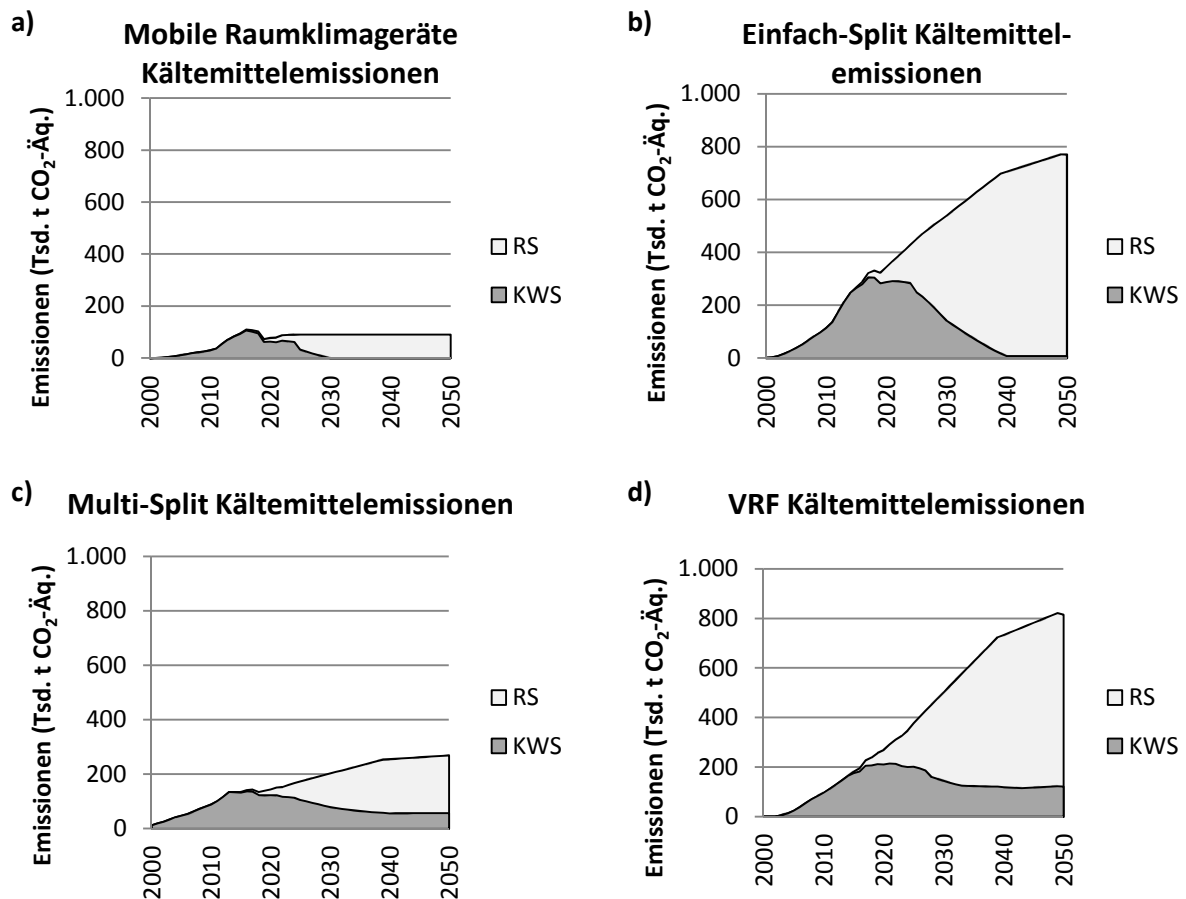


Abbildung 13: Direkte Emissionen von Raumklimageräten in Deutschland im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. a) Mobile Raumklimageräte b) Einfach-Split-Geräte c) Multi-Split-Geräte d) VRF-Geräte (alternativ Flüssigkeitskühlsätze im Kohlenwasserstoff-Szenario). Die Werte bis 2012 sind empirische Daten.

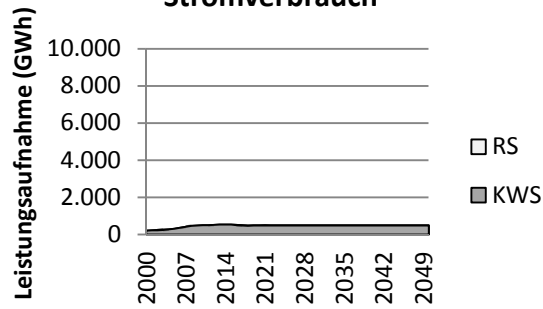
Indirekte Emissionen:

Die Stromverbräuche der verschiedenen Raumklimageräte werden entsprechend ihrer Bestandsentwicklungen steigen (Abbildung 14). Aufgrund der besseren Energieeffizienz sind die Verbräuche im KW-Szenario etwas geringer. Die indirekten Emissionen steigen zunächst ebenfalls entsprechend den Beständen, sie sinken jedoch bis 2050 durch die Entkarbonisierung der Stromerzeugung auf null.

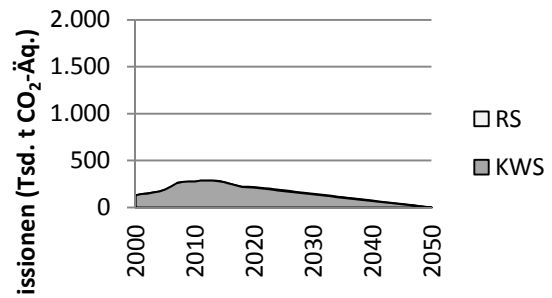
Im Jahr 2000 verbrauchten die verschiedenen Raumklimagerätetypen ähnlich viel Strom. Bei mobilen Geräten waren es 200 GWh (Abbildung 14a), bei Einfach-Split 400 GWh (Abbildung 14c) und bei Multi-Split-Geräte 400 GWh (Abbildung 14e). VRF-Geräte gab es in Deutschland zu diesem Zeitpunkt noch nicht (Abbildung 14g). Im Referenzszenario steigen die Stromverbräuche im Jahr 2050 bei mobilen Raumklimageräten auf 500 GWh/a, bei Einfach-Split-Geräten auf 4.000 GWh und bei Multi-Split-Geräten auf 1.800 GWh. Der größte Stromverbrauch wird bei VRF-Anlagen mit 9.400 GWh erwartet. Durch den Einsatz von KW-Technologie kann der Anstieg der Verbräuche im Jahr 2050 bei mobilen Geräten auf ca. 490 GWh, bei Einfach-Split-Geräten auf 3.700 GWh und bei Multi-Split-Geräten auf 1.700 GWh begrenzt werden. Der Einsatz von Flüssigkeitskühlsätzen anstelle von VRF führt zu keiner Änderung der Stromverbräuche.

Die indirekten Emissionen steigen bei allen Raumklimagerätetypen entsprechend den Beständen und Stromverbräuchen, um dann bedingt durch die potenziell emissionsfreie Stromproduktion bis 2050 auf null zu sinken (Abbildung 14). Die Unterschiede zwischen dem Referenz- und KW-Szenario sind gering, weshalb sie in Abbildung 12 auch nur teilweise erkennbar sind. Die höchsten, durch mobile Geräte verursachten indirekten Emissionen wurden für das Jahr 2012 mit 290 kt CO₂-Äq. berechnet. Der Grund hierfür ist, dass das leichte Wachstum des Bestandes an mobilen Geräten und der daraus resultierende wachsende Stromverbrauch in den Jahren nach 2012 durch den sinkenden Emissionsfaktor der Stromerzeugung mehr als ausgeglichen werden. Für Einfach-Split-Geräte ist ein Höchstwert von jährlich fast 1.000 kt CO₂-Äq. um das Jahr 2025 berechnet worden. Auch bei Multi-Split- und VRF-Geräten sind die höchsten indirekten Emissionen um das Jahr 2025 zu erwarten. Bei Multi-Split-Geräten werden die indirekten Emissionen ca. 460 kt betragen. Bei VRF-Geräten sind die indirekten Emissionen wie auch die Stromverbräuche am größten und werden im Jahr 2025 ca. 2.000 kt CO₂-Äq. ausmachen. Im Fall der VRF-Geräte und ihrer Alternative Flüssigkeitskühlsätze mit KW gibt es keinen Unterschied in den emittierten Mengen an CO₂-Äq.

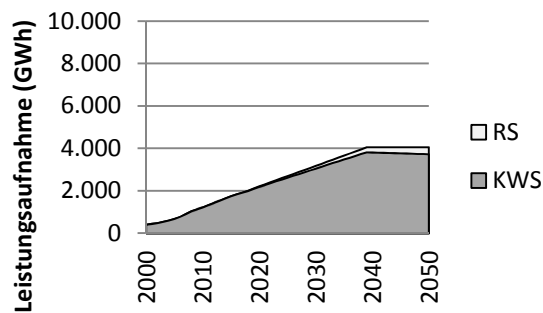
a) **Mobile Raumklimageräte Stromverbrauch**



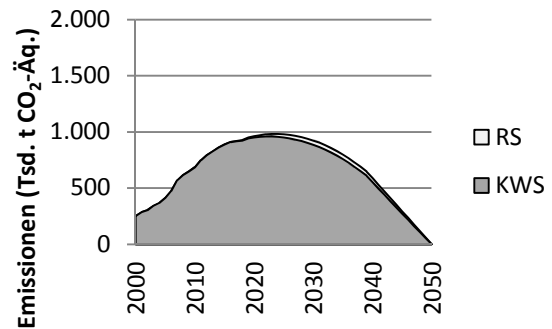
b) **Mobile Raumklimageräte indirekte Emissionen**



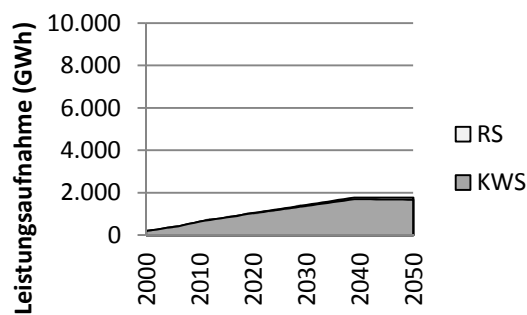
c) **Einfach-Split Stromverbrauch**



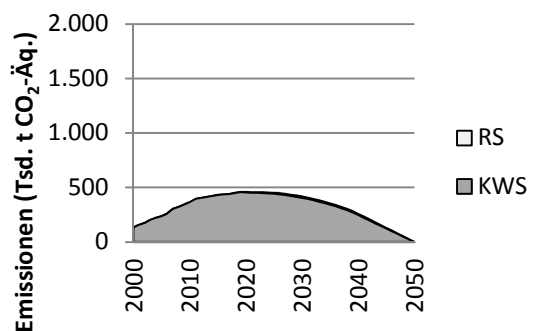
d) **Einfach-Split indirekte Emissionen**



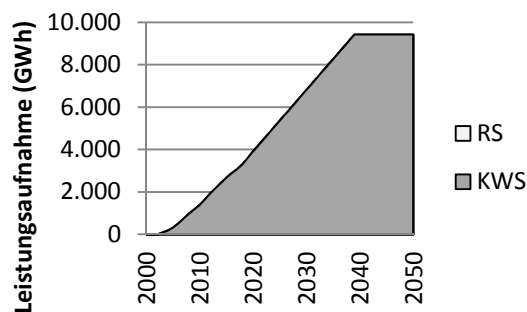
e) **Multi-Split Stromverbrauch**



f) **Multi-Split indirekte Emissionen**



g) **VRF-Anlagen Stromverbrauch**



h) **VRF-Anlagen indirekte Emissionen**

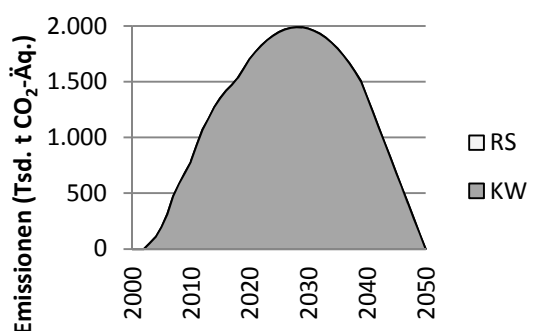


Abbildung 14: a) Stromverbräuche und indirekte Emissionen von Raumklima-Geräten in Deutschland im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. a) Mobile Raumklimageräte b) Einfach-Split-Geräte c) Multi-Split-Geräte d) VRF-Geräte (alternativ Flüssigkeitskühlsätze im Kohlenwasserstoff-Szenario). Die Werte bis 2012 sind empirische Daten. Da sich Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario nur geringfügig unterscheiden sind die Verläufe teilweise nicht erkennbar.

3.2.4 Ergebnisse Transportkälte-Lkw

Projektionen:

Es wird angenommen, dass der Bestand an Lkw bis 2050 in Deutschland kontinuierlich wächst (WWF 2009). Die projizierte Entwicklung des Bestandes von Transportkälte-Lkw und Anhängern bis 2050 ist in Abbildung 15 dargestellt. Die Projektion des Bestandes integriert die Größen: Anzahl der Lkw, Menge transportierter Güter und Ladekapazität. So sank zwar seit 2008 die absolute Zahl der Kühl-Lkw und -Anhänger¹³, dafür stieg aber die Zahl der größeren Lkw (über 5t) an und damit auch die Kühlkapazität. Der Anschaulichkeit halber wird hier, wie auch bei den anderen Anwendungen, der Bestand in Stückzahlen dargestellt.

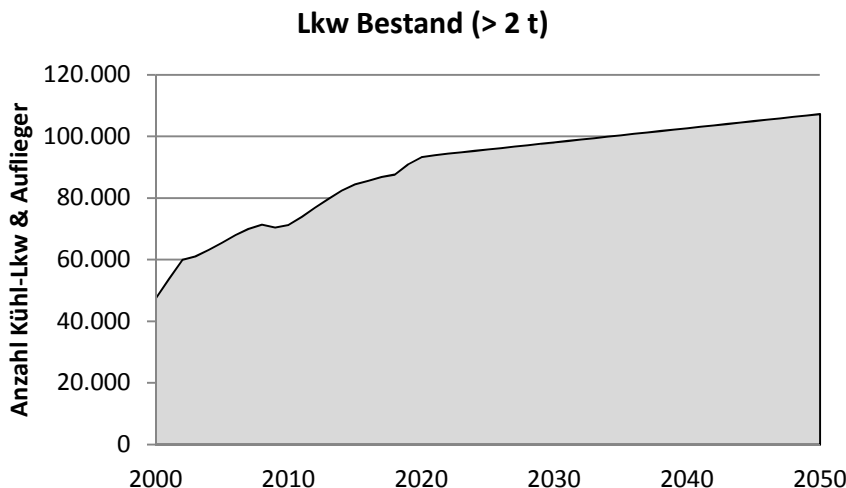


Abbildung 15: Projizierte Bestandsentwicklung von Transportkälte-Lkw und Anhängern (mit Kühlaufbau) in Deutschland bis 2050.

Im Referenz-Szenario für Transportkälte-Lkw erhöhen sich die direkten Emissionen von 111 kt CO₂-Äquivalenten im Jahr 2000 auf 280 kt CO₂-Äquivalente im Jahr 2050. Im KW-Szenario hingegen steigen sie zunächst, sinken dann aber ab etwa 2018 sehr stark ab und erreichen im Jahr 2040 Mengen unter einer Kilotonne (Abbildung 16a).

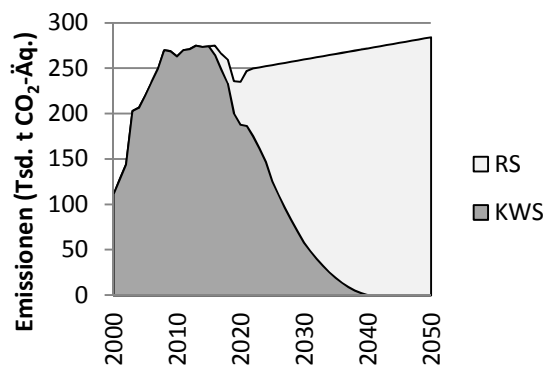
Von 2000 bis 2050 steigt der Verbrauch an Diesel bzw. der im Diesel enthaltenen Energie parallel mit dem Bestand an Kühl-Lkw und Aufliegern von 3.500 MWh pro Jahr auf knapp

¹³ VDKL (Verband Deutscher Kühllhäuser & Logistikunternehmen e.V.): <http://www.vdkl.de/branchen-infos/kuehltransport.html>

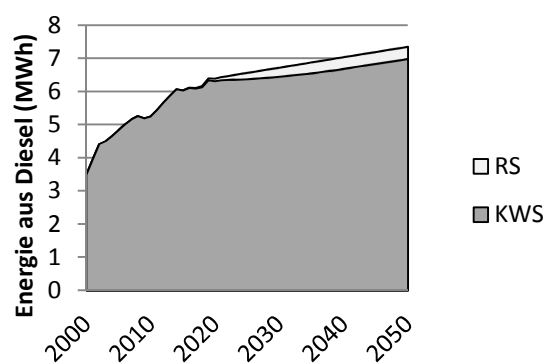
7.400 MWh im Referenz-Szenario und auf rund 7.000 MWh im KW-Szenario bei einer Annahme, dass KW-Anlagen eine um 5 % höhere Energieeffizienz haben (Abbildung 16b).¹⁴

In Abbildung 16c sind die für Referenz- und KW-Szenario projizierten, indirekten Emissionen dargestellt. Sie verdoppeln sich im Referenz-Szenario in den Jahren 2000 bis 2050 von 935 kt auf fast 2.000 kt CO₂-Äq. Im KW-Szenario ist der Anstieg etwas geringer; die indirekten Emissionen betragen im Jahr 2050 rund 1.900 kt CO₂-Äq.

a) **Kühl-Lkw Kältemittlemissionen**



b) **Kühl-Lkw Treibstoffverbrauch**



c) **Kühl-Lkw indirekte Emissionen aus Treibstoffverbrauch**

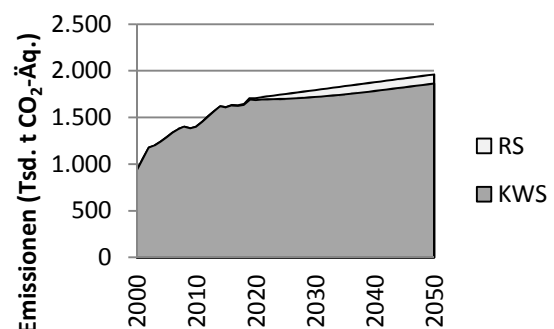


Abbildung 16: a) Direkte Emissionen durch das Kältemittel in Transportkälte-Lkw im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. b) Treibstoffverbrauch und c) indirekte Emissionen durch den Treibstoffverbrauch Transportkälte-Lkw im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario.

Zusammenschau der vier betrachteten Anwendungen:

Die Gesamtemissionen der betrachteten vier Anwendungen sind in Abbildung 17 dargestellt. Die direkten Emissionen durch die Kältemittelfreisetzung (links) sind zunächst deutlich geringer als die durch den Stromverbrauch und den Einsatz von Treibstoff erzeugten indirekten Emissionen (auf der rechten Seite der Grafik). Im Jahr 2050 ist dies allerdings nicht mehr der Fall. Durch die regenerative und daher emissionsfreie Erzeugung

¹⁴ Da nicht bekannt ist, in welchem Verhältnis Bio- und mineralischer Diesel zueinander stehen werden und beide etwas unterschiedliche Energiegehalte haben, ist hier die Menge Energie gegeben.

von Strom verbleiben als indirekte Emissionen nur die indirekten Emissionen aus der Verbrennung von Diesel in der Transportkälte¹⁵. Dadurch sind die direkten Emissionen 2050 im Referenz-Szenario größer als die indirekten Emissionen beider Szenarien.

Die Einsparpotenziale der direkten Emissionen (Tabelle 5) übersteigen in den Jahren 2030 und 2050 die Einsparpotenziale der indirekten Emissionen (Tabelle 6). Für das Jahr 2050 wurden für die direkten Emissionen die größtmöglichen Einsparungen kalkuliert. Die Differenz zwischen Referenz- und KW-Szenario beträgt dann 3.590 kt CO₂-Äq. Bei den indirekten Emissionen ist das Jahr mit dem größten Einsparpotential 2034. In diesem Jahr könnten über 600 kt CO₂-Äq. eingespart werden.

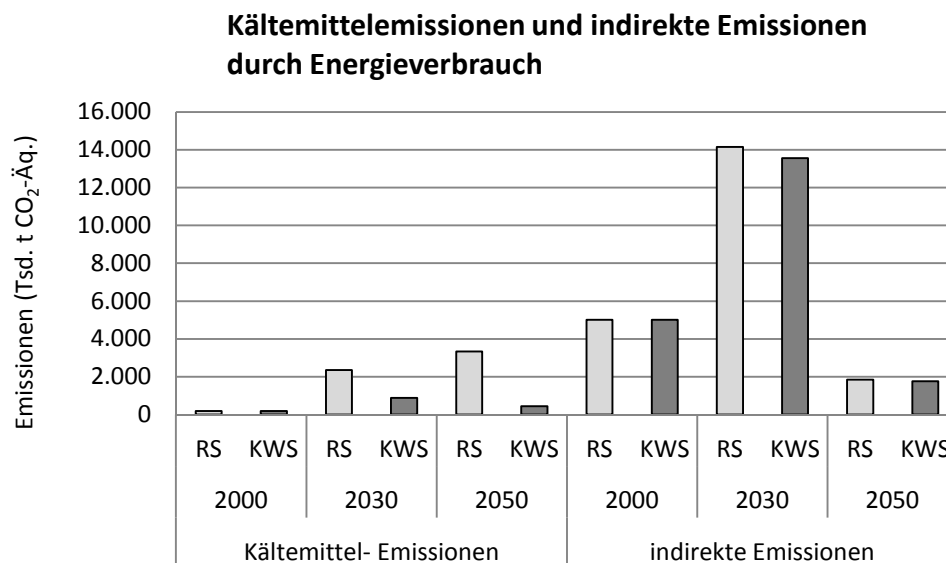


Abbildung 17: Direkte und indirekte Emissionen summiert über die vier betrachteten Anwendungen (Wärmepumpen, Raumklimageräte, Flüssigkeitskühlsätze und Transportkälte-Lkw) in den Jahren 2000, 2030 und 2050. Es sind jeweils die kalkulierten direkten und indirekten Emissionen für das Referenz- (RS) und das Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario dargestellt. Bei Wärmepumpen wird nur der maximale Ausbau der Kapazität berücksichtigt.

In der Anwendung Raumklimageräte lassen sich die größten Einsparpotenziale direkter Emissionen erkennen (Abbildung 18). Sie machen mit etwa 1.760 kt CO₂-Äq. fast die Hälfte der insgesamt in den vier betrachteten Anwendungen möglichen Einsparungen aus. An zweiter Stelle folgen Haushaltswärmepumpen mit 1.200 kt¹⁶. Bei Flüssigkeitskühlsätzen sowie Kühl-Lkw und -Anhänger sind die Mengen mit 350 kt und 280 kt CO₂-Äq. deutlich geringer.

¹⁵ Der Einsatz von eutektischen Platten ist an dieser Stelle zu vernachlässigen. Nur etwa 1 % der Lkw nutzen diese Technologie (Holger König, ref-tech, persönliche Mitteilung an Öko-Recherche 25.11.2013).

¹⁶ Es wird hier der Übersichtlichkeit halber nur das Szenario eines maximalen Ausbaus der Anwendung Wärmepumpen berücksichtigt.

Bei den indirekten Emissionen finden sich die größten Einsparpotentiale in den verschiedenen Anwendungen aufgrund der Dekarbonisierung der Stromerzeugung zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Bei Lkw betragen sie im Jahr 2050 rund 90 kt CO₂-Äq. Bei den mit Netzstrom betriebenen Anwendungen sind die jährlichen Einsparungen 2050 gleich null (Tabelle 5 und Tabelle 6) und in der Mitte des betrachteten Zeitraums am größten, d. h. zwischen den Jahren 2030 und 2035. Die Einsparpotenziale sind hier bei Haushaltswärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätzen mit rund 270 und 230 kt CO₂-Äq. Vermeidungspotential besonders ausgeprägt. Bei Raumklimageräten sind Einsparungen in Höhe von 60 kt CO₂-Äq. berechnet worden.

Tabelle 5: Direkte Emissionen fluorierter Treibhausgase (Kilotonnen CO₂-Äquivalente) im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario in den vier Hauptanwendungen für die Jahre 2000, 2025 und 2050.

		2000		2025		2050	
		RS	KWS	RS	KWS	RS	KWS
Haushaltswärmepumpen (max. Szenario)		4	4	406	298	1.515	304
Flüssigkeitskühlsätze	<i>80 kW</i>	8	8	61	45	86	9
	<i>400 kW</i>	53	53	323	277	389	117
	gesamt	61	61	384	322	475	126
Raumklimageräte	<i>mobile Geräte</i>	0	0	91	33	91	0
	<i>Einfach-Split</i>	1	1	450	250	771	9
	<i>Multi-Split</i>	13	13	174	105	269	57
	<i>VRF</i>	0	0	378	202	816	122
	gesamt	14	14	1.093	589	1.947	188
Transportkälte-Lkw		111	111	254	125	284	0
Alle vier Anwendungen		190	190	2.137	1.334	4.221	618
Potenzielle Einsparung direkter Emissionen		-		803		3.603	

Tabelle 6: Indirekte Emissionen für den Betrieb von Kälte- und Klimaanlage durch Strom- und Diesel-Verbrauch (Kilotonnen CO₂-Äquivalente) im Referenz- und Kohlenwasserstoff-Szenario Szenario in den vier Hauptanwendungen für die Jahre 2000, 2025 und 2050.

		2000		2025		2050	
		RS	KWS	RS	KWS	RS	KWS
Haushaltswärmepumpen (max. Szenario)		137	137	4.491	4.374	0	0
Flüssigkeitskühlsätze	<i>80 kW</i>	888	888	1.526	1.474	0	0
	<i>400 kW</i>	2.527	2.527	3.687	3.614	0	0
	gesamt	3.415	3.415	5.214	5.088	0	0
Raumklimageräte	<i>mobile Geräte</i>	130	130	183	175	0	0
	<i>Einfach-Split</i>	253	253	980	952	0	0
	<i>Multi-Split</i>	134	134	452	442	0	0
	<i>VRF</i>	0	0	1.947	1.947	0	0
	gesamt	517	517	3.562	3.515	0	0
Transportkälte-Lkw		935	935	1.754	1.703	1.846	1.756
Alle vier Anwendungen		5.003	5.003	15.021	14.680	1.846	1.756
Potenzielle Einsparung indirekter Emissionen		0		341		90	

Die Stromverbräuche der drei Anwendungen, die mit Netzstrom betrieben werden, sind in Abbildung 19 dargestellt. Auf den ersten Blick ist eine massive Zunahme der Stromverbräuche erkennbar. Dies gilt im Prinzip gleichermaßen für das Referenz- wie für das KW-Szenario. Auch wenn durch den Einsatz von KW als Kältemittel Energie gespart werden kann, ist die Zunahme des Energieverbrauchs durch das Wachstum der Anlagenbestände so groß, dass sie nicht kompensiert werden kann. Im Jahr 2000 betrugen die Verbräuche insgesamt noch ca. 6.500 GWh/a. Im Jahr 2050 werden sie sich auf

insgesamt rund 64.000 GWh/a im Referenz- und 60.000 GWh/a im KW-Szenario fast verzehnfacht haben.

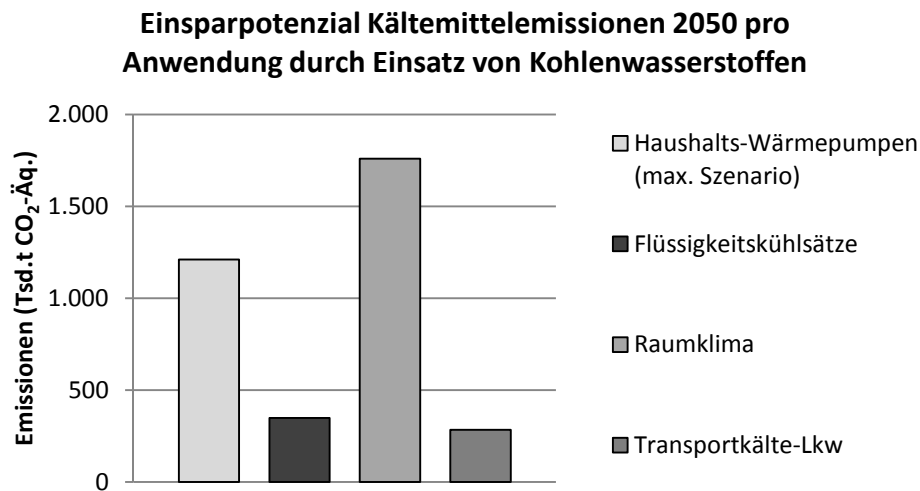


Abbildung 18: Einsparpotenziale direkter Kältemittlemissionen der betrachteten Anwendungen im Jahr 2050 durch den Einsatz von Kohlenwasserstoffen. Für Wärmepumpen ist nur das maximale Szenario dargestellt.

Ein Faktor ist die steigende Zahl an Wärmepumpen. Im Jahr 2000 war der Stromverbrauch dieser Anwendung wegen der geringen Stückzahl installierter Wärmepumpen noch so gering (220 GWh/a), dass er in der Grafik nicht erkennbar ist. Im Jahr 2030 machen Wärmepumpen, bei maximalem Ausbau der Kapazitäten, wie im Energieziel 2050 (UBA 2010) beschrieben, bereits ein Drittel des Gesamtstromverbrauchs aus. Im Jahr 2050 beträgt der Anteil des durch Wärmepumpen verbrauchten Netzstromes etwa die Hälfte des Verbrauchs der betrachteten Anwendungen, also 31.000 GWh/a im Referenz- und 29.000 GWh/a im KW-Szenario. Dies ist eine 70- bzw. 60-fache Steigerung gegenüber dem Jahr 2000. Bei gemäßigter Zunahme des Wärmepumpenbestandes (konservative Entwicklung) wird der Stromverbrauch dieser Anwendung im Jahr 2050 mit 13.000 GWh/a etwas weniger als halb so groß sein wie bei maximaler Zunahme (28.800 GWh/a).

Auch der Stromverbrauch der Anwendung Raumklimageräte nimmt extrem zu. Die Unteranwendung mobile Raumklimageräte ist davon ausgenommen, weil ihr Bestand nicht weiter ansteigt. Der größte Teil des von Raumklimageräten verbrauchten Stroms wird 2050 zum Betrieb von VRF-Anlagen gebraucht, beziehungsweise für Flüssigkeitskühlsätze, die alternativ zum Einsatz kommen könnten. Der Verbrauch wird sich auf ca. 9.400 GWh/a belaufen.¹⁷ Den zweitgrößten Anteil machen die Einfach-Split-Geräte aus, deren Verbrauch rund 4.000 GWh/a ausmachen wird.

¹⁷ Wie oben bereits beschrieben gab es im Jahr 2000 noch keine VRF-Technologie.

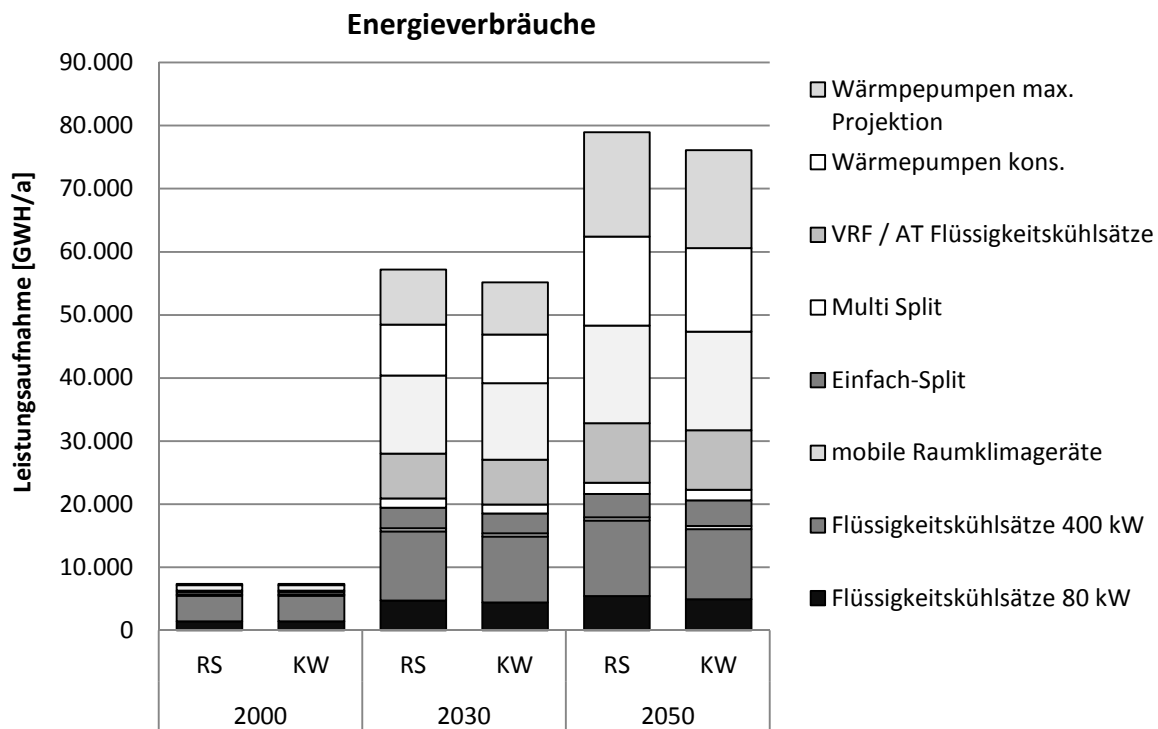


Abbildung 19: Elektrische Energieverbräuche dreier Anwendungen, die mit Netzstrom betrieben werden: Wärmepumpen, Raumklimageräte und Flüssigkeitskühlsätze in den Jahren 2000, 2030 und 2050, jeweils im Referenz- (RS) und Kohlenwasserstoff- (KWS) Szenario. Bei Wärmepumpen wird zwischen maximaler (max. Projektion) und konservativer (kons.) Zunahme des Bestandes bzw. der Heizkapazität unterschieden. Bei Raumklimageräten und Flüssigkeitskühlsätzen wird zwischen den einzelnen Unteranwendungen unterschieden. Im Referenz-Szenario kommen VRF-Anlagen zum Einsatz und im Kohlenwasserstoff-Szenario sind es alternativ (AT) Flüssigkeitskühlsätze.

Die Vermeidungskosten pro Tonne CO₂-Äq. sind direkt abhängig von den Preisen für Netzstrom und Dieselkraftstoff. Aufgrund der besseren Energieeffizienz von KW-Geräten kann es abhängig vom Strompreis zu Kosteneinsparungen, also negativen Vermeidungskosten, kommen. Das heißt, dass die höheren Investitionskosten über die eingesparten Ausgaben für Energie mehr als ausgeglichen werden. Der hierfür betrachtete Zeitraum ist die Lebenszeit der Geräte und Anlagen. Positive Vermeidungskosten bedeuten, dass die Investitionskosten für die alternative Technologie so hoch sind, dass sie nicht durch geringeren Energieverbrauch ausgeglichen werden können. Konkret ist dies der Fall bei VRF-Anlagen und ihrer Alternative Flüssigkeitskühlsätze mit Propan (R290) als Kältemittel. Da keine verbesserte Energieeffizienz gegeben ist, werden die höheren Investitionskosten nicht ausgeglichen.

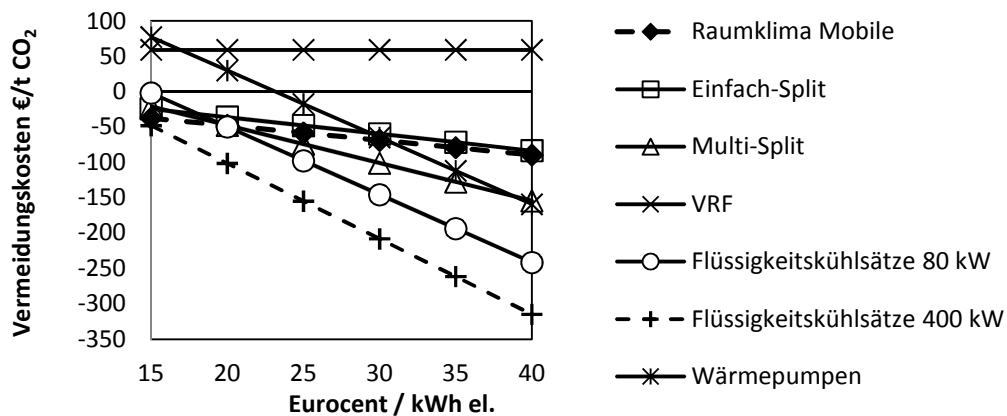
In Abbildung 20a und b sind die Vermeidungskosten für mit Netzstrom betriebene Anwendungen dargestellt. In der oberen Abbildung (18 a) sind die Vermeidungskosten auf die indirekten Emissionen und Kältemittellemissionen zusammen bezogen. In Abbildung 18b sind die gleichen Kosten nur auf Kältemittellemissionen bezogen. Bei VRF-Anlagen bzw. den alternativen Flüssigkeitskühlsätzen sind die Vermeidungskosten unabhängig vom

Strompreis, da die Flüssigkeitskühlsätze nicht energieeffizienter arbeiten. Sie betragen konstant ca. 60 €/t CO₂-Äq. Bei allen anderen Anwendungen sind die Unterschiede zwischen den Vermeidungskosten bei 15 Eurocent pro Kilowattstunde Strom und den Vermeidungskosten bei 40 Eurocent pro Kilowattstunde sehr groß. Am größten ist der Unterschied bei Flüssigkeitskühlsätzen der Leistungsklasse um 400 kW.

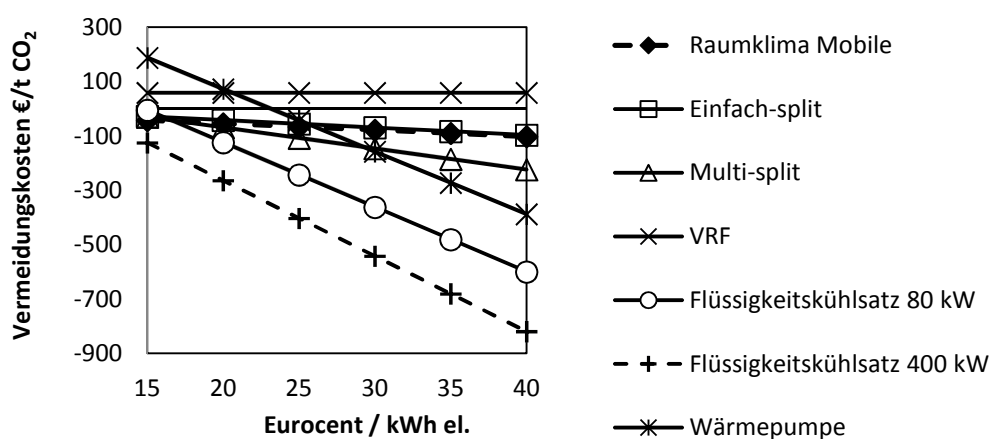
Die Höhe der Vermeidungskosten kann auch durch die Emissionsfaktoren für den Netzstrom beeinflusst werden. Werden durch eine höhere Anlageneffizienz indirekte Emissionen vermieden, so sinken die Vermeidungskosten umso stärker, je höher die indirekten Emissionen pro Kilowattstunde Strom sind.

Die Vermeidungskosten pro Tonne indirekter Emissionen (aus dem Dieseltreibstoff) in CO₂-Äq. für Kühl-Lkw sind in Abbildung 20c) dargestellt. Auch hier sind aufgrund der Unterschiede in der Energieeffizienz zwischen HFKW- und KW-Anlagen negative Vermeidungskosten zu erwarten.

a) **Gesamt-Emissionsvermeidungskosten bei verschiedenen Strompreisen und 577 g CO₂/kWh el.**



b) **Kältemittel-Emissionsvermeidungskosten bei verschiedenen Strompreisen**



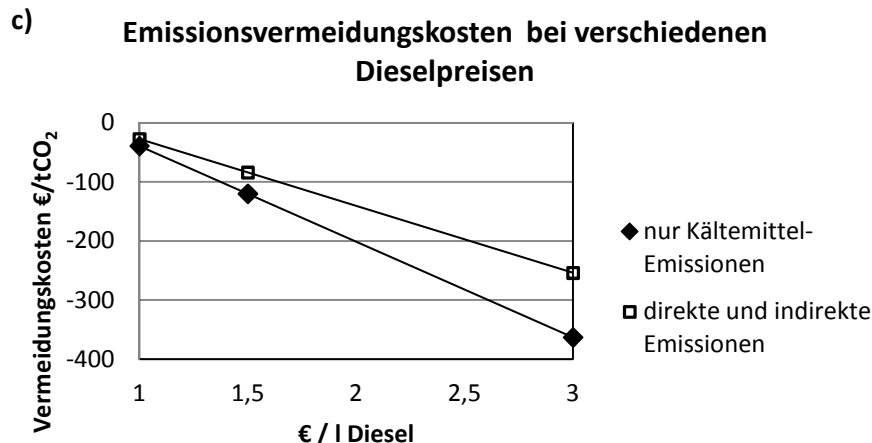


Abbildung 20: Vermeidungskosten der direkten und indirekten Emissionen für die Anwendungen in Euro pro CO₂-Äquivalent. a) Vermeidungskosten für Anwendungen, die mit Netzstrom betrieben werden, wobei Kältemittelermissionen und indirekte Emissionen bei einem CO₂-Emissionsfaktor der Energieerzeugung von 577 g/kWh el. (Wert von 2007) betrachtet werden. b) Vermeidungskosten für Anwendungen die mit Netzstrom betrieben werden, unter Berücksichtigung der Kältemittelermissionen. c) Vermeidungskosten für Lkw-Kühlaggregate, die mit Diesel betrieben werden bei einem CO₂-Emissionsfaktor von 670 g/kWh elektrischer Antriebsenergie.

Tabelle 7 zeigt die verschiedenen CO₂-Vermeidungskosten für die vier Hauptanwendungen bei fixen Preisen für Netzstrom bzw. Dieselkraftstoff und einem festgelegten Emissionsfaktor. In der linken Spalte sind Kältemittel-Vermeidungskosten und in der rechten Spalte die Gesamtvermeidungskosten dargestellt. Da die Vermeidungskosten überwiegend negativ sind, sind die KW-Technologien auch wirtschaftlich sehr interessant.

Tabelle 7: Kältemittelvermeidungskosten (linke Spalte) und Gesamtvermeidungskosten (rechte Spalte) für die vier Hauptanwendungen.

Anwendung	Kältemittelvermeidungskosten (€/Tonne) bei 0,21 €/kWh	Gesamtvermeidungskosten* (€/Tonne) bei 0,21 €/kWh el. & 0,58 kg CO ₂ / kWh el. (s. Anhang II)
Raumklimageräte, mobil	-57	-50
Raumklimageräte, Einfach-Split	-44	-38
Raumklimageräte, Multi-Split	-76	-53
Raumklimageräte, VRF	59	59
Wärmepumpen	50	20
Flüssigkeitskühlsätze, klein	-148	-62
Flüssigkeitskühlsätze, groß	-292	-112
	Kältemittelvermeidungskosten (€/Tonne) bei 1,50 €/l Diesel	Gesamtvermeidungskosten (€/Tonne) bei 0,21 €/kWh el. & 0,67 kg CO ₂ / kWh el. (s. Anhang II)
Kühl-Lkw	-120	-84

* Die Gesamtvermeidungskosten berücksichtigen direkte und indirekte Emissionseinsparungen der Geräte.

4 Normen, Standards und Richtlinien zum Einsatz von Kohlenwasserstoffen

Der sogenannte Stand der Technik orientiert sich grundsätzlich an gültigen Standards, Normen und Richtlinien, wird aber situationsgerecht, individuell, und unter Berücksichtigung des erfolgreichen Einsatzes von Techniken in der Praxis beeinflusst und ergänzt. Es handelt sich daher beim „Stand der Technik“ um ein sich ständig weiter entwickelndes Wissen. Aus diesem Grund ist die Bezugnahme zum bestehenden Wissen - dem Stand der Technik - fließend und damit hinsichtlich des Status bei der Normung und der später zu beschreibenden rechtlichen Beurteilung im zeitlichen Kontext zu sehen.

Standards und Normen werden durch einen genau definierten Prozess erarbeitet, der u.a. auf Öffentlichkeit und Konsens basiert. Eine Abgrenzung von Standards zu Normen ist oft nicht möglich, da der Begriff „Standard“ analog dem englischen Begriff „standard“ auch für Normen verwendet wird. Eine Differenzierung könnte insofern vorgenommen werden, dass bei Standards, im Gegensatz zur konsensbasierten Normung, kein Konsens aller Beteiligten und nicht die Einbeziehung aller interessierten Kreise zwingend erforderlich ist (Hopf 2013).

Ähnlich sind Merkblätter oder Einheitsblätter nur von bestimmten Kreisen anerkannt und erarbeitet. Für den Kältesektor ist zum Beispiel das VDMA-Einheitsblatt 24247 ein Einheitsblatt, dessen einzelne Teile in mehreren Arbeitsgruppen des VDMA erarbeitet wurden¹⁸. Die Erarbeitung eines Einheitsblattes ist in der Regel schneller als die Verfassung einer neuen Norm, zudem kann ein Einheitsblatt als Vorlage für eine neue Norm dienen.

Richtlinien im europäischen Gemeinschaftsrecht sind Rechtsakte der EU. Die Mitgliedsstaaten der EU müssen diese in nationales Recht umsetzen (z. B. durch nationale Verordnungen).

In den frühen 1990er Jahren wurde der Einsatz von brennbaren Kältemitteln durch unklare Haftungs- und Sicherheitsfragen hinsichtlich der Risiken und durch fehlende Sicherheitsnormen behindert. Die im Zuge des HFCKW-Ausstiegs zunehmende Verbreitung brennbarer Stoffe als Kältemittel hat seitdem die Weiterentwicklung und Anpassung von Sicherheitsmaßnahmen erfordert. Dies führte zu einer Vielzahl von in Normen festgeschriebenen sicherheitstechnischen Anforderungen, die im folgenden Kapitel im Fokus stehen. Zu beachten ist, dass es sich bei Normen um gesetzlich unverbindliche Vorgaben handelt, die jedoch für die Beurteilung des Standes der Technik herangezogen werden. Verordnungen stellen hingegen rechtlich verbindliche Regelungen dar, die sich zum Teil auf Normen beziehen. Diese Normen heißen harmonisierte Normen und werden im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht. Weiterhin ist eine stärkere Eigenverantwortung aus Sicht der Legislative auf der Seite der Hersteller gewünscht, was sich auch in der Normung niederschlägt: Normen weisen zunehmend weniger strikte Festlegungen auf und bieten mehr Freiraum für schnellere Weiterentwicklungen.

KW werden gemäß EN 378 in die Sicherheitsklasse A3 eingeordnet, da sie nicht toxisch, aber brennbar sind (vgl. Tabelle 3 im Kapitel 1). In Normen werden daher besondere Sicherheitsanforderungen formuliert, um dieser Eigenschaft Rechnung zu tragen.

¹⁸ Die Arbeitsgruppe war auch für Nicht-VDMA-Mitglieder offen; die Entwürfe wurden zur Stellungnahme veröffentlicht und eingehende Kommentare geprüft.

In diesem Kapitel wird untersucht, inwieweit die heute gültigen Normen und Richtlinien Hindernisse für die Verbreitung von brennbaren Kältemitteln in den ausgewählten Anwendungen dieses Vorhabens darstellen. Weiterhin werden auch fehlende Anforderungen an den Einsatz von KW identifiziert.

4.1 Überblick über Normen und zugehörige Richtlinien

Eine Vielzahl von Normen beschäftigt sich mit den unterschiedlichsten Aspekten der verschiedenen Kälte- und Klimaanwendungen. Größtenteils sind diese Normen unabhängig von dem verwendeten Kältemittel gültig.

Tabelle 8 listet vorhandene Normen und Richtlinien auf. Es wird gezeigt, ob die jeweilige Norm einen Bezug zu den in diesem Vorhaben ausgewählten kältetechnischen Anwendungen hat und ob sie für den Einsatz von KW als Kältemittel relevant ist. Dies ist etwa bei der DIN EN 378 der Fall, die sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen an das gesamte Kältesystem beinhaltet und daher für viele Anwendungen von Bedeutung ist, d. h. sie stellt einen „horizontalen Standard“ dar.

4.2 Kriterien für Relevanz

Als ein Hauptgrund für den zögerlichen Einsatz von KW als Kältemittel wird die aus Sicherheitsgründen konservative Begrenzung der Füllmengen gesehen und damit verknüpfte Sicherheitsanforderungen. Der Stand der Technik – und damit Normen und Regeln zur Sicherheit – sind die Basis von Produkthaftungsfragen. Daher werden Normen, die sich mit Sicherheitsfragen beschäftigen, besonders genau untersucht.

Grundsätzlich sind Anlagen mit KW so zu planen und zu bauen, dass sie dem anerkannten Stand der Technik entsprechen. Dies ist heute problemlos möglich. Die Unternehmen, welche KW-Anlagen in den Verkehr bringen bzw. diese betreiben, sind für den sicheren Betrieb der Anlagen verantwortlich und müssen sich nicht zwingend nach Normen und Standards richten. Es werden häufig sogenannte zertifizierte Stellen hinzugezogen, um die Anlagensicherheit zu beurteilen und zu dokumentieren. Dennoch stellen Normen und Standards, wie oben erläutert, auch den national und international anerkannten Stand der Technik dar und sind im Fall von Unfällen, die mit KW auftreten können, und deren rechtlicher Beurteilung die Basis für die Haftungsklä rung.

Daher sind in Tabelle 8 diejenigen Normen als relevant gekennzeichnet, die Anforderungen zu Füllmengen und Sicherheit beim Einsatz von KW-Kältemitteln enthalten. Zusätzlich sind die Normen gekennzeichnet, die Vorgaben zu explosiven Atmosphären enthalten und daher für eine Risikoabschätzung nach der ATEX-Richtlinie relevant sind. Tabelle 9 listet relevante EU-Richtlinien mit ihren zugehörigen nationalen Verordnungen und harmonisierten Standards auf.

Tabelle 8: Übersicht über vorhandene Normen und Richtlinien

Norm	Jahr	Titel	Bezug zu Hauptanwendungen	Besondere Vorgaben für KW enthalten	Vorgaben für explosive Atmosphären
DIN EN 378	2012	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen Teil 4: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung	alle	ja	(ja)
DIN EN 1127-1	2011	Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik	alle	nein	ja
DIN EN 1736	2009	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Flexible Rohrleitungsteile, Schwingungsabsorber, Kompensatoren und Nichtmetall-Schläuche – Anforderungen, Konstruktion und Einbau	alle	nein	nein
DIN EN ISO 4126	2002 Entwurf 2010	Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Überdruck Teile 1-7	alle	nein	nein
ISO 5149	1993 Entwurf 2012	Mechanische Kälteanlagen zum Kühlen und Heizen	alle	ja	nein
DIN EN ISO 9001	2008	Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen	alle	nein	nein
DIN EN ISO 12100	2011	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung	alle	nein	(ja)
DIN EN 12178	2004	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Flüssigkeitsstandanzeiger – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	alle	nein	nein
DIN EN 12263	1999	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitsschalteneinrichtungen zur Druckbegrenzung – Anforderungen und Prüfungen	alle	nein	nein

Norm	Jahr	Titel	Bezug zu Hauptanwendungen	Besondere Vorgaben für KW enthalten	Vorgaben für explosive Atmosphären
DIN EN 12284	2003	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Ventile – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung	alle	nein	nein
DIN EN 12693	2008	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Verdrängerverdichter für Kältemittel	alle	nein	nein
DIN EN 13136	2005, Entwurf 2011	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Druckentlastungseinrichtungen und zugehörige Leitungen – Berechnungsverfahren	alle	nein	nein
DIN EN 13463-1, -5, -6	2009	Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen	alle	nein	ja
EN 13980	2003	Potentially explosive atmospheres – Application of quality systems	alle	nein	(ja)
DIN EN 13313	2011	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sachkunde von Personal	alle	nein	nein
DIN EN 14276-1, -2	2011	Druckgeräte für Kälteanlagen und Wärmepumpen	alle	(ja)	nein
DIN EN 14797	2007	Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung	Flüssigkeitskühlsätze	nein	ja
DIN EN 14986	2007	Konstruktion von Ventilatoren für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen	alle	nein	ja
DIN EN TR 14739	2005	Schema für die Durchführung einer Risikobewertung für brennbare Kältemittel bei Haushalts-, Kühl- und Gefriergeräten	keine	nein	ja
DIN EN 15198	2007	Methodik zur Risikobewertung für nicht-elektrische Geräte und Komponenten zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen	alle	nein	ja
DIN EN 15233	2007	Methodik zur Bewertung der funktionalen Sicherheit von Schutzsystemen für explosionsgefährdete Bereiche	alle	nein	ja
EN 15834	2009	Standard on qualification of tightness of components and joints	alle	nein	nein
DIN EN	2004	Betrieb von elektrischen Anlagen	alle	nein	nein

Norm	Jahr	Titel	Bezug zu Hauptanwendungen	Besondere Vorgaben für KW enthalten	Vorgaben für explosive Atmosphären
50110		Teil 1: Allgemeine Anforderungen (Entwurf 2012) Teil 2: Nationale Anhänge			
DIN EN 50402	2009	Elektrische Geräte für die Detektion und Messung von brennbaren oder toxischen Gasen und Dämpfen oder Sauerstoff – Anforderungen an die funktionale Sicherheit von ortsfesten Gaswarnsystemen	alle	nein	ja
DIN EN 60079-0	2013	Teil 0: Betriebsmittel – Allgemeine Anforderungen	alle	nein	ja
DIN EN 60079-10-1	2009 Entwurf 2011	Teil 10-1: Einteilung der Bereiche – Gasexplosionsgefährdete Bereiche	alle	nein	ja
DIN EN 60079-14	2012	Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen	alle	nein	ja
DIN EN 60079-15	2011	Teil 15: Geräteschutz durch Zündschutzart „n“	alle	nein	ja
DIN EN 60079-17	2008, Entwurf 2011	Teil 17: Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen	alle	nein	ja
DIN EN 60079-19	2011	Teil 19: Gerätereparatur, Überholung und Regenerierung	alle	nein	ja
DIN EN 60079-20-1	2010	Teil 20-1: Stoffliche Eigenschaften zur Klassifizierung von Gasen und Dämpfen – Prüfmethode und Daten	alle	nein	ja
DIN EN 60204-1	2010	Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen	alle	nein	nein
DIN EN 60335-1	2012 Entwurf 2013	Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 1: Allgemeine Anforderungen	alle	nein	nein
DIN EN 60335-2-24	2010 Entwurf	Teil 2-24: Besondere Anforderungen für Kühl-/Gefriergeräte und Speiseeis- und Eisbereiter	keine	ja	nein

Norm	Jahr	Titel	Bezug zu Hauptanwendungen	Besondere Vorgaben für KW enthalten	Vorgaben für explosive Atmosphären
	2011				
DIN EN 60335-2-34	2009 Entwurf 2011	Teil 2-34: Besondere Anforderungen für Motorverdichter	alle	nein	nein
DIN EN 60335-2-40	2010 Entwurf 2012	Teil 2-40: Besondere Anforderungen für elektrisch betriebene Wärmepumpen, Klimageräte und Raumluft-Entfeuchter	Wärmepumpen, Raumklimageräte, Flüssigkeitskühlsätze	ja	nein
DIN EN 60335-2-89	2010 Entwurf 2011	Teil 2-89: Besondere Anforderungen für gewerbliche Kühl-/Gefriergeräte mit eingebautem oder getrenntem Verflüssigersatz oder Motorverdichter	keine	ja	nein
DIN EN 60812	2006	Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)	alle	nein	(ja)
DIN EN 61160	2006	Entwicklungsbewertung	alle	nein	nein
IEC 61882	2001	Gefährdungs- und Betreibbarkeitsuntersuchung (HAZOP) – Leitfaden	alle	nein	(ja)
DIN EN 62502	2011	Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit – Ereignisbaumanalyse	alle	nein	(ja)
DIN EN ISO/IEC 17020	2012	Konformitätsbewertung – Anforderungen an den Betrieb verschiedener Typen von Stellen, die Inspektionen durchführen	alle	nein	nein
DIN EN ISO /IEC 17024	2012	Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Stellen, die Personen zertifizieren	alle	nein	nein
DIN EN ISO / IEC 17025	2005	Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien	Alle	nein	nein

Tabelle 9: Übersicht über vorhandene Richtlinien und relevante harmonisierte Standards

Richtlinie	Jahr	Titel	Bezug zu Hauptanwendungen	Relevante harmonisierte Standards
2006/95/EC	2006	Low Voltage Directive (LVD) in Deutschland umgesetzt als: 1. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz	Alle	DIN EN 60335-2-40
RL 97/23/EG	1997	European Pressure Equipment Directive (PED) (Druckgeräte Richtlinie) In Deutschland umgesetzt durch die 14. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung)	Alle	DIN EN 378 DIN EN 14276
ProdSG	2001	Produktsicherheitsgesetz, ersetzt seit 2001 das GPSG (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz)	Alle	
RL 2006/42/EG	2006	Maschinenrichtlinie: einheitliches Schutzniveau zur Unfallverhütung für Maschinen (Directive 2006/42/EC on machinery) in Deutschland umgesetzt als: 9. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung)	Alle	DIN EN 378
RL 94/9/EG	1994	ATEX Produktrichtlinie (europäische Richtlinie, harmonisiert nationale Richtlinien) (inoffizieller Name: ATEX 95) in Deutschland umgesetzt als: 11. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung)	Alle	EN 60079-0 EN 60079-15 EN 60079-20-1
RL 1999/92/EG	1999	Richtlinie über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (ATEX- Betriebsrichtlinie)	Alle	

4.3 Bewertung relevanter Normen und Standards in Hinblick auf den Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln

Die in Tabelle 8 als relevant für den Einsatz für KW eingestuftten Normen werden hier gesondert betrachtet und analysiert.

Derzeit gültige Sicherheitsanforderungen konzentrieren sich hauptsächlich auf die Definition möglicher Risiken, Zündquellen, Leckagestellen und der räumlichen Trennung von Zündquelle und möglicher Leckagestelle. Dazu wurden konservative Anforderungen hinsichtlich möglicher Leckagen definiert, die zur Bestimmung der zulässigen Füllmenge herangezogen wurden. Um zu vermeiden, dass in geschlossenen Räumen im Fall einer Leckage ein entzündliches Gas-Luftgemisch entsteht, wurden Empfehlungen für KW-Füllmengen in Abhängigkeit von der Raumgröße und spezifischen Kältemittleigenschaften gemacht. Beispiele hierfür sind in Tabelle 13 dargestellt. Für die raumunabhängige Aufstellung wurde eine maximale Füllmenge von 150 g festgelegt.

Die Entwicklung von Normen für größere Füllmengen brennbarer Kältemittel erfordert die Beachtung deutlich komplexerer Sicherheitsmaßnahmen, beispielsweise hinsichtlich der technischen Sicherheit von Druckgeräten. Zudem ist beim Einsatz größerer Füllmengen eine Abstimmung mit den zuständigen Behörden erforderlich.

Aus diesem Grund haben sich vermehrt Produktnormen (z. B. die DIN EN 60335-2-24/34/40/89) durchgesetzt, die für je ein klar definierbares Produkt und dessen Anwendung Sicherheitsanforderungen und -beurteilungen erheblich genauer festlegen können.

Die Vorgaben mancher Normen stellen ein Hemmnis für den Einsatz von KW-Kältemitteln dar. Hierbei handelt es sich konkret um folgende Normen: DIN EN 378, ISO 5149, DIN 14276 und DIN EN 60335-2-40/89, wobei die DIN EN 60335-2-89 keine Relevanz für die ausgewählten Hauptanwendungen hat.

Tabelle 10: Relevante Normen für den Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel

Norm	Titel	Hemmnis für KW	Relevanz für Hauptanwendungen			
			Flüssigkeitskühlsätze	Raumklima-geräte	Heiz-Wärmepumpen	Kühl-Lkw
DIN EN 378- 1-4	Kälteanlagen und Wärmepumpen; Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen	ja	x	x	x	x
DIN EN 1127-1	Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz	nein				
ISO 5149	Sicherheits- und Umwelтанforderungen	ja	x	x	x	x
DIN 8960	Kältemittel – Anforderungen und Kurzzeichen	nein				
DIN EN ISO 12100	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze	nein				
DIN EN 13136	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Druckentlastungseinrichtungen und zugehörige Leitungen	nein				
DIN EN 13313	Kälteanlagen und Wärmepumpen, Sachkunde von Personal	nein				

DIN EN 14276	Druckgeräte für Kälteanlagen und Wärmepumpen	ja	x	x	x	x
DIN EN 60079-0/14/15 (VDE 0170/165-1/0171-1)	Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche	nein				
DIN EN 60335-2-34	Kompressoren, Komponenten	nein				
DIN EN 60335-2-40	Klimageräte und Wärmepumpen	ja		x	x	
DIN EN 60335-2-89	Gewerbekälte, Steckergeräte und Verflüssigungssätze	ja				
DIN EN 61779 -1 (VDE 0400 -1)	Elektrische Geräte für die Detektion und Messung brennbarer Gase	nein				

Es sind vor allem zwei wesentliche Hemmnisse zu nennen:

1. Definition zur Füllmengenbegrenzung (1kg-Grenze¹⁹): Grundsätzlich sollte bei Aufstellung von Anlagen in Räumen die Belüftung der Räume dahingehend geprüft bzw. ausgelegt werden, dass immer sichergestellt wird, dass die untere Explosionsgrenze (UEG) nicht erreicht wird. Dieses Verfahren ist bekannt und beispielsweise für NH₃-Maschinenräume im Einsatz. Die Überarbeitung bzw. Übertragung dieser Textpassagen würde grundsätzlich ausreichen, die Füllmengenbegrenzung an diese durch UEG und Luftwechselrate definierte Grenze und damit an die tatsächliche Raumsituation anzupassen. Somit kann eine ausschließlich auf die Füllmenge bezogene Grenze (1kg-Grenze bei R290) ersetzt werden.
2. Bewertung der Leckagemenge und damit des Risikos: Hierzu ist ein Maßnahmenpaket erforderlich, um die alternativen Sicherheitsmaßnahmen zu etablieren. Beispiele sind: Berücksichtigung des Leckageortes und der Verteilung in Räumen, Abschaltung von Anlagenteilen um ein Nachströmen von Kältemittel zur Leckagestelle zu verhindern, Anpassung der Sicherheitskette und deren Reaktionszeiten auf tatsächlich mögliche Kältemittel-Konzentrationen durch z. B. kleine, mittlere, große Leckagen, Aufstellen und Etablieren eines Sicherheitsfahrplans oder ein Handlungsleitfaden für Risikoanalysen.

Im Folgenden werden die zu verändernden Stellen der oben genannten Normen für jedes Anwendungsgebiet dargestellt.

¹⁹ Die Füllmengengrenze ergibt sich durch Einstetzen der jeweiligen Stoffparameter in die Formel zur Bestimmung der maximalen Füllmenge, wie in der EN 378 beschrieben (Formeln sind in Tabelle 12 wiedergegeben). Im Falle von brennbaren Kältemitteln wird ein Wert von ca. 1 kg errechnet.

Tabelle 11: Veränderungsvorschläge in Normen, die ein Hemmnis für den Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln darstellen

Norm	Anwendungsgebiet	Hemmnis	Veränderungsvorschlag
DIN EN 378- 1-4 Kälteanlagen und Wärmepumpen; Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen			
	Flüssigkeitskühlsätze	Teil 1, Tabelle C1: Maximale Füllmenge 1 kg bei Aufstellung in Untergeschossen	Aufheben: Einschränkung ist bei Aufstellung in belüftetem Maschinenraum unnötig.
	Raumklimageräte	Teil 1, C.3.2: Mindestraumgröße für Aufstellung der Geräte bezieht sich auf Gesamtfüllmenge und nicht auf tatsächliche Leckagemasse	Maßnahmen zur Leckagebegrenzung einbeziehen
	Wärmepumpen	Teil 1, C.3.2: Mindestraumgröße für Aufstellung der Geräte bezieht sich auf Gesamtfüllmenge und nicht auf tatsächliche Leckagemasse; außerdem keine Belüftung berücksichtigt	Maßnahmen zur Leckagebegrenzung und auch Raumbelüftung einbeziehen
	Kühl-LKW	generell: Norm trotz Anspruch konzipiert für stationäre Anwendungen	Eigene Norm für Transportkälteanlagen analog zu PKW-Klimaanlagen (ISO 13043:2011-04 (E))
		Teil 1, Tabelle C1: Beschränkung auf Füllmenge 1 kg bei Aufstellung in Untergeschossen (Ladehalle unter Erdgleiche)	Berücksichtigung vorhandener Belüftung (LKW-Abgase)
ISO 5149 Sicherheits- und Umweltaanforderungen			
	Flüssigkeitskühlsätze	Teil 1, Tabelle A.2: Maximale Füllmenge von 20 % x LFL x Raumvolumen und nicht mehr als 1 kg bei Aufstellung „below ground“	Aufheben: Einschränkung ist bei Aufstellung in belüftetem Maschinenraum unnötig.
	Raumklimageräte	Teil 1, Tabelle A.2: Beschränkung auf Füllmengen bis ca. 1 kg (Grenzwert m²)	Höhere Füllmengen erlauben durch folgende Maßnahmen: Leckagemasse berücksichtigen, (Belüftung einbeziehen)
		Teil 1, A.4: Mindestraumgröße für Aufstellung der Geräte bezieht sich auf Gesamtfüllmenge und nicht auf tatsächliche Leckagemasse	Maßnahmen zur Leckagebegrenzung einbeziehen
	Wärmepumpen	Teil 2, 5.2.17: Mindestvolumenstrom der Belüftung des Gehäuses basiert auf Austritt gesamter Kältemittelfüllung in 4 Minuten.	Maßnahmen zur Leckagebegrenzung einbeziehen
	Kühl-LKW	generell: Norm trotz Anspruch	Eigene Norm für Transportkälteanlagen

		konzipiert für stationäre Anwendungen	analog zu PKW-Klimaanlagen (ISO 13043:2011-04 (E))
		Teil 1, Tabelle A.2: Beschränkung auf Füllmenge 1 kg bei Aufstellung „below ground“ (Ladehalle unter Erdgleiche)	Berücksichtigung vorhandener Belüftung (LKW-Abgase)
		Teil 1, Tabelle A.2: Beschränkung der Gesamtfüllmenge auf 20 % x LFL x Raumvolumen (Laderaum bei Be- und Entladung)	Berücksichtigung von - Teilabsperungen der Anlage während Ladevorgang (Reduzierung Leckagemenge) - Belüftung des Laderaums - Öffnung zu angrenzenden Raumvolumen
DIN EN 14276 Druckgeräte für Kälteanlagen und Wärmepumpen			
	Flüssigkeitskühlsätze, Raumklimageräte, Wärmepumpen, Kühl-LKW	Niedrigere Grenzen für Einordnung in Gefahrenkategorien ergeben sich aus der PED	
DIN EN 60335-2-40 Klimageräte und Wärmepumpen			
	Raumklimageräte, Wärmepumpen	22.114: verbietet Weichlote für Rohrverbindungen nur bei brennbaren Kältemitteln	Wenn diese Verbindungen ein besonderes Risiko darstellen, sollten sie auch bei anderen Kältemitteln ausgeschlossen sein oder andernfalls auch bei brennbaren erlaubt.
	Raumklimageräte	Anhang GG.2: Mindestraumgröße für Aufstellung kleiner Geräte bis ca. 1 kg Kältemittel in unbelüfteten Bereichen bezieht sich auf Gesamtfüllmenge und nicht auf tatsächliche Leckagemasse	Maßnahmen zur Leckagebegrenzung einbeziehen
	Raumklimageräte	Angang GG.3: „Mechanische Belüftung kann nur bei befestigten Geräten zur Anwendung kommen.“	Einschränkung ist nicht zwingend.
	Raumklimageräte, Wärmepumpen	Anhang GG.4: Mindestvolumenstrom der mechanischen Belüftung basiert auf Austritt gesamter Kältemittelfüllung in 4 Minuten.	Maßnahmen zur Leckagebegrenzung einbeziehen
	Raumklimageräte, Wärmepumpen	Anhang HH (informativ) des Entwurfs nennt spezielle Schulungen ergänzend zur normalen kältetechnischen Ausbildung für Arbeiten an Anlagen mit brennbaren Kältemitteln	Einbeziehung dieser Kenntnisse in reguläre Ausbildung

Priorität in der Bearbeitung der in Tabelle 11 genannten Normen hat die Überarbeitung der DIN EN 378, da diese sehr viele Anwendungen betrifft und vor allem für Raumklimageräte die maßgebliche Norm ist. Darüber hinaus wird das Fehlen einer eigenen Norm für Transportkälte in der Fachwelt als Hindernis für den Einsatz von KW in dieser Anwendung empfunden. Derzeit wird

versucht, die DIN EN 378 sinngemäß anzuwenden, was wegen ihrer ursprünglichen Konzeption für stationäre Anwendungen zu Problemen führt. Eine interessante Variante, den Prozess zu beschleunigen, ist mit sogenannten „Vornormen“ gegeben, DIN SPEC (PAS). Mit dieser Möglichkeit ist aus Sicht des DIN eine Verbreitung der Marke DIN möglich und aus Sicht des Anwenders eine schnelle Erarbeitung einer Vornorm möglich. In Fall dieses Projektes ergibt sich die Möglichkeit, eine DIN SPEC Produktnorm für Transportkälte zu entwickeln (s. auch Maßnahme M9).

4.4 Derzeit gültige Regelungen für die Verwendung von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick, wie kältetechnische Anlagen mit KW schon heute auf der Basis derzeit gültiger Rechtsvorschriften und Normen sicher betrieben werden können.

Für das Inverkehrbringen und den Betrieb von Kälteanlagen gibt es zahlreiche Sicherheitsvorgaben, die in verschiedenen Regelwerken aufgeführt sind. Dabei sind manche Vorgaben vom Hersteller bzw. Lieferanten zu erfüllen, andere vom Betreiber der Anlage, der bei industriellen und gewerblichen Anwendungen auch Arbeitgeber sein kann.

4.4.1 Vorgaben für Hersteller/ Lieferanten

Für das Inverkehrbringen von Produkten gelten in Europa für einige Produktgruppen spezifische Richtlinien mit Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen, die durch Gesetze und Verordnungen in nationales Recht umgesetzt sind. Deren Einhaltung ist eine Voraussetzung, um Produkte, die diesen Richtlinien unterliegen, in Europa und Deutschland auf den Markt bringen zu dürfen. Dies gilt auch für das Inverkehrbringen einer Kälteanlage in Deutschland.

In Deutschland maßgeblich sind die Regelungen des Gesetzes über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt („Produktsicherheitsgesetz“ (ProdSG) vom 08.11.2011, BGBl. I S. 2179; 2012 I S. 131). Das Produktsicherheitsgesetz löste 2011 das frühere Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) ab. Auf den Markt gebrachte Produkte müssen mit den Vorgaben einer entsprechenden Rechtsvorschrift konform sein, welche in mehreren Verordnungen konkretisiert ist²⁰, die sich wiederum auf europäische Richtlinien stützen.

²⁰ Für Kälte- und Klimaanlage relevante deutsche Verordnungen zum Produktsicherheitsgesetz sind:

Erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt) (1. ProdSV), welche die europäische Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG) umsetzt (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/techarbmvgv_1/gesamt.pdf)

Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV), welche die europäische Maschinenrichtlinie umsetzt (2006/42/EG) (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gsgv_9/gesamt.pdf).

Elfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung) (11. ProdSV), welche die europäische Explosionsschutzrichtlinie umsetzt (94/9/EG) (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gsgv_11/gesamt.pdf).

Vierzehnte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung) (14. ProdSV), welche die europäische Druckgeräterichtlinie umsetzt (97/23/EG) (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gsgv_14/gesamt.pdf).

Grundlegende Anforderungen an die Sicherheit einer Maschine sind in der europäischen Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) festgelegt, die durch die Maschinenverordnung ins deutsche Recht umgesetzt ist. Daneben gelten fallweise zusätzliche Vorgaben anderer Richtlinien und Verordnungen.

Gemäß der Maschinenrichtlinie muss bereits bei der Konstruktion und Herstellung einer Maschine vom Hersteller eine **Risikobeurteilung** vorgenommen werden, um die für die Maschine geltenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen zu ermitteln. Diese Beurteilung muss dann bei Konstruktion und Bau der Maschine berücksichtigt werden. Es geht also darum, die Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen individuell spezifisch für eine bestimmte Maschine zu ermitteln und umzusetzen. Dies soll bereits während des Entwicklungs- und Herstellungsprozesses erfolgen und nicht erst nach dem Bau, wenn sich Gefahren nur noch mit großem Aufwand verringern oder abstellen lassen. Die Risikobeurteilung muss den gesamten Lebenszyklus einer Maschine ab der Montage bis zur Außerbetriebnahme und Demontage umfassen und auch vorhersehbare Fehlbedienungen und Fehlanwendungen einschließen. Die Maschinenrichtlinie enthält auch eine Anleitung zur Durchführung der Risikobeurteilung. Leitsätze zur Risikominderung und Risikobeurteilung sind auch in der Norm DIN EN ISO 12100:2010 enthalten²¹.

Die Risikobeurteilung soll zur Risikominimierung durch die Umsetzung von Schutzmaßnahmen entsprechend einer vorgegebenen Rangfolge dienen, die der Reihe nach abzuarbeiten sind („drei Stufen der Risikominderung“). Die Risikominderung kann erfolgen durch:

- konstruktive Maßnahmen für sichere Bauweise;
- weitere Schutzmaßnahmen, die sich durch Konstruktion und Bau der Maschine nicht beseitigen lassen;
- Benutzerinformation über verbleibende Restrisiken und Hinweise an die Betreiber zu besonderen Schutzausrüstungen, Einweisungen, erforderliche Spezialausbildungen sowie regelmäßige Kontrollen des korrekten Verhaltens von Benutzern durch den Betreiber.

Der Prozess der Risikominderung ist also gemäß der Maschinenrichtlinie verpflichtend, um für eine Maschine eine Konformitätserklärung nach dieser Richtlinie abgeben zu können. Die Konformitätserklärung ist Voraussetzung für die Anbringung des CE-Kennzeichens, welches wiederum Voraussetzung für das Inverkehrbringen einer Maschine in den europäischen Wirtschaftsraum darstellt.

Im Hinblick auf Kälteanlagen ist vom Hersteller sicherzustellen, dass von der in den Verkehr gebrachten Anlage selbst keine Brand- und Explosionsrisiken ausgehen (Maschinenrichtlinie, Anhang I, Abschnitte 1.5.6 und 1.5.7). Das bedeutet auch, dass der Hersteller sämtliche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bauteilen der von ihm gelieferten Kälteanlage im Rahmen seiner Risikobeurteilung untersuchen muss, z. B. die Wechselwirkung zwischen einer Kältemittel-Leckage und dem Elektro-Anschlusskasten des Verdichters (VDMA-Einheitsblatt 24020-3).

Neben der Maschinenverordnung können für Kälte- und Klimaanlage weitere Vorgaben unter dem Produktsicherheitsgesetz entsprechend europäischer Richtlinien relevant sein, zum Beispiel die Druckgeräte-Richtlinie, welche durch die Druckgeräteverordnung in Deutschland umgesetzt ist.

²¹ Demnach besteht der Ablauf der Risikobeurteilung aus folgenden Schritten: Verwendungsgrenzen festlegen; Gefährdungen identifizieren, Risiko einschätzen, Risiko bewerten, für eine Risikominderung sorgen.

Gemäß Art. 1 der Druckgeräterichtlinie 97/237EG ist ein Behälter ein geschlossenes Bauteil, das zur Aufnahme von unter Druck stehende Fluiden ausgelegt und gebaut ist, einschließlich der direkt angebrachten Teile bis hin zur Vorrichtung für den Anschluss an andere Geräte. Wenn in einer Kälteanlage solche Behälter eingebaut sind, wird sie als Druckbehälteranlage betrachtet. Eine Druckbehälteranlage ist eine überwachungsbedürftige Anlage gemäß Produktsicherheitsgesetz, jeweils eingeteilt in verschiedene Sicherheitskategorien, die sich wiederum aus den unter Druck stehenden Fluiden ergeben (§ 2, Abs. 30). Unter anderem enthält die Druckgeräterichtlinie grundlegende Sicherheitsanforderungen (Anhang 1) und genaue Vorgaben darüber, welche Prüfungen der Hersteller durchzuführen hat. Sie regelt auch, welche Dokumente beim Inverkehrbringen der Lieferung in Deutschland beigelegt sein müssen, nämlich die EG-Konformitätserklärung des Herstellers (bzw. seines in der EG niedergelassenen Bevollmächtigten) und eine Betriebsanleitung in deutscher Sprache.

Bei Einhaltung der DIN EN 378-Teil 222 besteht für Kälteanlagen hinsichtlich der Druckbehälter die Konformitätsvermutung, dass die grundlegenden Anforderungen der Druckgeräterichtlinie und der Maschinenrichtlinie erfüllt sind (VDMA-Einheitsblatt 24020-3). Der Hersteller bzw. Lieferant einer Kälteanlage stellt Konformitätserklärungen zur Kälteanlage und gegebenenfalls Einzelkonformitätserklärungen zu den Druckgeräten als Bestandteile der Kälteanlage bereit.

4.4.2 Vorgaben für den Betrieb von Anlagen

Der Betrieb von Kälteanlagen wird in Deutschland durch die **Betriebssicherheitsverordnung** (BetrSichV) geregelt. Daneben spielt in Deutschland die Gefahrstoffverordnung eine Rolle. Betriebssicherheitsverordnung und Gefahrstoffverordnung werden durch Technische Regeln (TR) konkretisiert, von denen einige allerdings in den letzten Jahren ihre Gültigkeit verloren haben und nicht mehr aktualisiert werden²³, so dass die Betreiber überwachungspflichtiger Anlagen mehr Verantwortung erhalten haben.

Die BetrSichV bietet ein umfassendes Schutzkonzept für alle Arbeitsmittel, von denen eine Gefährdung ausgeht, und dient dem Arbeitsschutz. Grundlegendes Element ist die

Gefährdungsbeurteilung oder **sicherheitstechnische Beurteilung** für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen. Kälteanlagen fallen unter die Definition überwachungsbedürftiger Anlagen gemäß Produktsicherheitsgesetz (§2 Abs. 30).

Die Gefährdungsbeurteilung umfasst die Ermittlung aller notwendigen Maßnahmen für die sichere Bereitstellung und Benutzung der Anlage. Der Arbeitgeber führt sie unter Berücksichtigung der Betriebserfahrungen und der Randbedingungen im Betrieb für die Benutzung des Produktes durch. Er hat bei der Gefährdungsbeurteilung die Angaben in der Betriebsanleitung des Herstellers zu berücksichtigen, insbesondere sind die aufgeführten Restrisiken zu beachten. Es kann zusätzlich vertraglich vereinbart sein, dass der Hersteller ihm die Risikobeurteilung zur Verfügung stellt, um zusätzliche Informationen für den Betrieb zu

²² Die EN 378 befindet sich derzeit in Überarbeitung. Es ist davon auszugehen, dass die EN 378, gerade im Hinblick auf brennbare Kältemittel, um weitere Regelungen ergänzt wird. Diese können in der vorliegenden Studie allerdings nicht berücksichtigt werden.

²³ Hierzu zählen etwa die Technischen Regeln zur Druckbehälterverordnung - Behälter (TRB), Technische Regeln Druckgase (TRD), Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) (nicht mehr gültig seit 01.01.2013).

erhalten. Dies ist in der Praxis sehr häufig der Fall. Meist baut die Gefährdungsbeurteilung für Kälteanlagen auf der Risikobeurteilung des Herstellers auf²⁴.

Bei Kälte- und Klimaanlage mit KW können durch die Einstufung von KW-Kältemitteln in Sicherheitsklasse A3 die Vorgaben zum **Explosionsschutz** von besonderer Bedeutung sein. Bei ordnungsgemäßer Aufstellung, Instandhaltung und bestimmungsgemäßer Verwendung darf keine Gefährdung der Sicherheit und Gesundheit von Personen und der Sicherheit von Haustieren oder Gütern bestehen. Es sind also grundsätzlich Maßnahmen zur Vermeidung eines betriebsbedingten Austrittes von brennbaren Kältemitteln aus der Kälteanlage vorzusehen, um die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu verhindern. Entsprechende Vorgaben sind in der **Gefahrstoffverordnung, der Explosionsschutzverordnung**²⁵ und der **Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)**, der deutschen Umsetzung der europäischen ATEX-Richtlinien²⁶, enthalten und werden durch Technische Regeln zur Betriebssicherheit (TRBS) Nr. 27 konkretisiert.

Bei der Konzeption von Anlagen ist bereits die Vermeidung explosionsfähiger Atmosphären sicherzustellen, die von den Geräten und Schutzsystemen selbst erzeugt oder freigesetzt werden könnten. Die **Anlagendichtheit** ist schon bei der Planung der Kälteanlage zu beachten²⁸.

Als Leitbild dient dabei die „auf Dauer technisch dichte“ Anlage bzw. Anlagenteile, wie sie in der Technischen Regel zur Betriebssicherheit (TRBS) Nr. 2152 definiert sind (Teil 2, 2.4.3.2.): „Bei Anlagenteilen, die auf Dauer technisch dicht sind, sind keine Freisetzen im normalen Betrieb zu erwarten. Anlagenteile gelten als auf Dauer technisch dicht, wenn sie so ausgeführt sind, dass sie aufgrund ihrer Konstruktion technisch dicht bleiben oder ihre technische Dichtheit durch Wartung und Überwachung ständig gewährleistet wird. Anlagenteile, die auf Dauer technisch dicht sind, verursachen durch ihre Bauart in ihrer Umgebung im ungeöffneten Zustand keine explosionsgefährdeten Bereiche.“

Diese Anforderungen können in der Konstruktion von Anlagen durch technische Maßnahmen entsprechend der in der TRBS genannten Spezifikationen erreicht werden, z. B. geschweißte Anlagenteile.

Kälteanlagen gelten im Allgemeinen als auf Dauer technisch dichte Anlagen, da sich das Kältemittel in einem geschlossenen System befindet.

²⁴ Pers. Mitteilung Peter Tünte (18.04.2013), Thorsten Ewert (02.05.2013).

²⁵ Elfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung) (11. ProdSV), welche die europäische Explosionsschutzrichtlinie umsetzt (94/9/EG) (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gsgv_11/gesamt.pdf)

²⁶ ATEX-Produktrichtlinie 94/9/EG und ATEX-Betriebsrichtlinie 1999/92/EG

²⁷ Technische Regeln zur Betriebssicherheit (TRBS) sind etwa: TRBS 1111 (Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung), TRBS 1201 (Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen), TRBS 1203 (Befähigte Personen, allgemeine Anforderungen), TRBS 2141 (Gefährdung durch Dampf und Druck, allgemeine Anforderungen), TRBS 2152/ TRBS 720 (Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre).

²⁸ Die Anlagendichtheit ist eine wichtige Voraussetzung für die Funktion und Betriebssicherheit einer jeden Kälteanlage und wird grundsätzlich auch für alle anderen Kälteanlagen verlangt, nicht nur für solche mit KW-Kältemitteln.

Von den „auf Dauer technisch dichten“ Anlagenteilen unterschieden werden „technisch dichte“ Anlagenteile: „Bei Anlagenteilen, die technisch dicht sind, sind seltene Freisetzungen zu erwarten. Anlagenteile gelten als technisch dicht, wenn bei einer für den Anwendungsfall geeigneten Dichtheitsprüfung oder Dichtheitsüberwachung bzw. -kontrolle eine Undichtheit nicht erkennbar ist.“

Sofern technisch dichte Anlagenteile verbaut wurden, sind technisch dichte Anlagen zusätzlich regelmäßig äußerlich zu überprüfen. Es ist außerdem erforderlich, eine permanente Überwachung, eine Zwangsbelüftung oder Objektabsaugung zu installieren. Sofern diese Maßnahmen für technisch dichte Anlagen nicht nachgewiesen werden können, sind weitere Richtlinien zum Explosionsschutz anzuwenden entsprechend der ATEX-Produktrichtlinie 94/9/EG („ATEX 95“) und der ATEX-Betriebsrichtlinie 1999/92/EG („ATEX 137“) für den Arbeitsschutz.

Die ATEX-Richtlinie und die Umsetzung in der deutschen Betriebssicherheitsverordnung fordern vom Anlagenbetreiber, dass in der Gefährdungsbeurteilung ein Explosionsschutzdokument erstellt wird und Bereiche mit explosionsfähigen Atmosphären in Zonen unterteilt werden (BetrSichV, Anhang 3).

Die Einteilung erfolgt entsprechend der Häufigkeit und Dauer des Auftretens von gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären (Zone 0: ständig, über lange Zeiträume oder häufig, Zone 1: gelegentlich; Zone 2: normalerweise nicht oder nur kurzzeitig). Für „technisch dichte“ Anlagen mit KW wird beim Fehlen der oben genannten Maßnahmen die Festlegung eines explosionsgefährdeten Bereichs Zone 2 im Umkreis des betreffenden Anlagenteils empfohlen. Zone 2 bezeichnet einen „Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.“ Für Kälteanlagen ist dieser Fall als „schlimmster Fall“ für eine Risikobeurteilung ansetzbar, eine Befolgung dieser Einteilung in Zonen ist allerdings aufgrund der Konstruktion von Kälteanlagen, die „auf Dauer technisch dicht“ sind, nicht anzunehmen.

Sofern also eine Anlage der Definition einer auf Dauer dichten Anlage entspricht und mögliche Fehler technisch abgesichert sind bzw. eine Überwachung durch Gassensoren mit Abschaltung gegeben ist, sind neben den regelmäßigen Wartungen und Prüfungen der Anlage (siehe unten) sowie der Gefahrenanalyse mit Einzelfallbetrachtung keine besonderen Sicherheitsvorkehrungen für die Verwendung von KW als Kältemittel auch hinsichtlich der ATEX Richtlinien vorzusehen²⁹.

Dies ist etwa für die Flüssigkeitskühlsätze mit KW der Firma Frigoteam von Bedeutung (siehe Kapitel 3), in denen die Kältemaschine als hydraulisches Verbundsystem mit mehreren autarken Kältemittelkreisläufen aufgebaut wird. In einem Fachartikel (Ewert, 2013) heißt es hierzu: „Konstruktion und Bauart der Propan-Flüssigkeitskühlsätze entsprechen einer gutachterlichen Stellungnahme zur Verwendung von R290 in Kältemaschinen. Alle Anforderungen zur Außen- und Innenaufstellung werden erfüllt, und damit wird der Einsatz dieser Kältemaschinen problemlos möglich. Bedingt durch die Konstruktion und Bauart geht von diesen Flüssigkeitskühlsätzen auch keine Explosionsgefahr aus. Daher kommen die Anforderungen der ATEX-Richtlinie 94/9/EG an den Aufstellungsort nicht zur Anwendung“ (Ewert, 2013).

Neben der Gefährdungsbeurteilung sind als weiteres relevantes Element zur Gewährleistung des sicheren Betriebes von Kälteanlagen die **Prüfungen der Anlage** zu nennen: Die BetrSichV nennt

²⁹ Hierzu auch die Ausführungen von Peter Tünte und seine Präsentation „Sicherheitstechnische Planung und Bewertung von Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln“ (4. Runder Tisch zur Supermarktkälte), 25.09.2012.

Prüfungen, denen Kälteanlagen allgemein unterliegen (so z. B. § 3 Abs. 3 oder § 10 BetrSichV) sowie besondere Prüfungen als überwachungsbedürftige Anlage³⁰ (nach §§ 14 ff).

Für überwachungsbedürftige Anlagen ist eine **Prüfung vor Inbetriebnahme** durchzuführen (§§ 14 ff), bei der Anlagenteile mit Sicherheitsfunktion getestet werden. Voraussetzung ist, dass das Konformitätsbewertungsverfahren gemäß Druckgeräterichtlinie (welches die Druckfestigkeitsprüfung und die Dichtheitsprüfung beinhaltet) abgeschlossen und dokumentiert ist, was bei verwendungsfertig gelieferten Anlagen der Fall ist. Die Prüfung vor Inbetriebnahme muss bescheinigt und aufgezeichnet werden, die Dokumente sind am Betriebsort der Anlage aufzubewahren. Die anzuwendenden Prüffristen hat der Betreiber der Anlage auf Basis der Gefährdungsbeurteilung des Herstellers zu ermitteln.

Daneben sind für den sicheren Betrieb der überwachungsbedürftigen Anlagen wiederkehrende Prüfungen des ordnungsgemäßen Zustands durchzuführen (BetrSichV § 15 für überwachungsbedürftige Anlagen), die bei Instandsetzungsarbeiten erledigt werden (innere Prüfung und Druckfestigkeitsprüfung). Es werden keine konkreten Prüffristen genannt.

Auch die DIN EN 378-2 sieht wiederkehrende Prüfungen von Kälteanlagen vor, nämlich

- Druckfestigkeitsprüfung, ggf. ergänzende zerstörungsfreie Prüfungen
- Dichtheitsprüfung, Funktionsprüfung der Sicherheitsschalteneinrichtungen
- Konformitätsprüfung der Gesamtanlage
- Prüfung, ob ein Typenschild vorhanden, lesbar und richtig ist sowie den aktuellen Regeln der Technik, dem Zustand der Anlagen und den aktuellen gesetzlichen Anforderungen entspricht.

Der informative Anhang D der DIN EN 378-4 nennt Häufigkeiten für Dichtheitsprüfungen nach Instandsetzungsarbeiten (innerhalb eines Monats) und als Wiederholungsprüfungen (nach Füllmenge gestaffelt mehrmals jährlich) durchgeführt werden sollen.

Zur Erfüllung der Anforderungen mehrerer technischer Regeln der Betriebssicherheit (TRBS 1201 - Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen, TRBS 2141 - Gefährdungen durch Dampf und Druck, TRBS 2152 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre), welche die BetrSichV konkretisieren, sollen einmal jährlich und nach längeren Stillstandszeiten folgende Prüfungen durchgeführt werden:

- äußere Sichtprüfung aller Anlagenteile, insbesondere der durch äußere Korrosion gefährdeten Anlagenteile;
- Sichtprüfung der Kälteisolation, Sichtprüfung der Befestigungen und Verbindungen;

³⁰ Nach der BetrSichV sind alle Druckbehälteranlagen und Rohrleitungen unter innerem Überdruck für entzündliche, leichtentzündliche, hochentzündliche, ätzende, giftige oder sehr giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten als überwachungsbedürftige Anlagen zu betrachten. Der Begriff „Druckgeräte“ greift auf die Definition der Druckgeräterichtlinie zurück und umfasst „Behälter, Rohrleitungen, Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion und druckhaltende Ausrüstungsteile“.

- Funktionsprüfungen der sicherheitstechnisch erforderlichen Mess- und Regeleinrichtungen, der sicherheitstechnisch erforderlichen Absperrarmaturen und solcher, die betriebsmäßig nicht betätigt werden;
- Sichtprüfung der Sicherheitsventile;
- Funktionsprüfung der Lüftungsanlage;
- Funktionsprüfung der Gaswarnanlage;
- Funktionsprüfungen der Gefahrenmeldeeinrichtungen.

4.4.3 Füllmengen für Anlagen mit brennbaren Kältemitteln

Aufgrund der Brennbarkeit von KW werden als besondere Hindernisse ihrer Anwendung stets neben Produkthaftungsfragen die Sicherheitsaspekte genannt. Wie oben bereits erläutert, ist entsprechende Sicherheitstechnik grundsätzlich aus anderen Bereichen, z.B. der Gasverflüssigungstechnik und Verfahrenstechnik, verfügbar und bekannt. Komplex ist allerdings nach wie vor die Umsetzung für Produkte. Um Sicherheitsbedenken zu begegnen, werden Füllmengen im sicherheitstechnischen Sinne konservativ begrenzt. Dabei werden folgende Parameter herangezogen:

- Sicherheitsklassifizierung des Kältemittels (siehe oben)
- Typ der Kälteanlage (direkt; indirekt)
- Aufstellbereich der Kälteanlage
- Aufstellart der Kälteanlage

Gemäß DIN EN 378 werden folgende Aufstellbereiche unterschieden:

Klasse A: Räume, Gebäudeteile und Gebäude, in denen Personen schlafen dürfen oder in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt sind oder in denen sich eine unkontrollierte Anzahl von Personen aufhält oder zu denen jede Person Zutritt hat, ohne Kenntnis der Sicherheitsvorkehrungen zu besitzen. Beispiele: Krankenhäuser, Gerichtsgebäude, Supermärkte, Schulen.

Klasse B: Räume, Gebäudeteile und Gebäude, in denen sich nur eine bestimmte Anzahl von Personen aufhalten darf, von denen mindestens einige Kenntnis der Sicherheitsvorkehrungen haben. Beispiele: Büro- und Geschäftsräume, Laboratorien etc.

Klasse C: Räume, Gebäudeteile und Gebäude, zu denen nur Befugte Zutritt haben, die Sicherheitskenntnisse besitzen und in denen Waren hergestellt, verarbeitet oder gelagert werden. Beispiele: Produktionseinrichtungen, z. B. für Chemikalien, Nahrungsmittel etc.

Gemäß DIN EN 378 werden folgende Aufstellarten unterschieden:

- a) Personen- Aufenthaltsbereich (kein besonderer Maschinenraum)
- b) Hochdruckseite in einem besonderen Maschinenraum oder im Freien
- c) Alle Kältemittel führenden Teile befinden sich in einem besonderen Maschinenraum oder im Freien

Je nach Aufstellbereichen und Aufstellarten ergeben sich Begrenzungen der Füllmengen von Kältemitteln in Kälteanlagen. Begrenzungen sind hierbei nicht im strengen gesetzlich vorgeschriebenen Sinne zu verstehen, sondern als informative Angabe in Normen und damit nicht

bindend, wenn die Sicherheit der Anwendung von brennbaren Kältemitteln anders gewährleistet wird.

Grundsätzlich kommen zwei Arten solcher empfohlenen Füllmengen vor:

- Die Begrenzung der Höchstfüllmenge unabhängig von der Raumgröße auf eine bestimmte Füllmenge
- Die Begrenzung der zulässigen Füllmenge unter Einbeziehung des Raumvolumens: Mit Hilfe eines praktischen Grenzwerts (practical limit (PL) in kg/m^3), der Bezug nimmt zum Raumvolumen und für jedes Kältemittel spezifisch ist, wird die zulässige Kältemittel-Füllmenge von Kälteanlagen nach Aufstellbereich errechnet (DIN EN 378; PL-Werte im Anhang E).

Tabelle 12 bietet eine Übersicht der angegebenen Füllmengen und für KW als Kältemittel gemäß den Standards DIN EN 378, EN/IEC 60335-2-24, -89 und -40 (Colbourne *et al.* 2010, S. 147).

Tabelle 12: Empfohlene Füllmengen (kg) für Kohlenwasserstoffe-Kältemittel gemäß Standards DIN EN 378, EN/IEC 60335-2-24, -89 und -40 (nach Colbourne, 2010)

Ort der Teile, die das Kältemittel enthalten	System-typ	Kältemittelmenge*	Aufstellbereich				
			Kategorie A: öffentliche Orte		Kategorie B: private Orte		Kategorie C: Orte mit Zutritt für autorisiertes Personal
			Kühl-system	HPAC	Kühl -system	HPAC	Kühlsystem HPAC
Personen-aufenthalts-bereich (kein besonderer Maschinen-raum)	direkt	Empfohlen, abhängig von Raumgröße	$\text{PL} \times V_{\text{Rm}}$	$2,5 \text{ LFL}^{1,25} \sqrt{A_{\text{Rm}}}$ bzw. $0,5 \times A_{\text{Rm}} \text{ LFL}$	$\text{PL} \times V_{\text{Rm}}$	$2,5 \text{ LFL}^{1,25} \sqrt{A_{\text{Rm}}}$ bzw. $0,5 \times A_{\text{Rm}} \text{ LFL}$	$\text{PL} \times V_{\text{Rm}}$
		Empfohlenes Maximum	1,5 kg bzw. 1 kg uE	26 x LFL bzw. 1 kg uE	2,5 kg bzw. 1 kg uE	26 x LFL bzw. 1 kg uE	10 (or 25 kg**) kg bzw. 1 kg uE
Alle Kältemittel führenden Teile befinden sich in einem besonderen Maschinen-raum oder im Freien.	indirekt	Empfohlen, abhängig von Raumgröße	5 kg bzw. 1 kg uE	130 x LFL bzw. 1 kg uE	10 kg bzw. 1 kg uE	130 x LFL bzw. 1 kg uE	kein Limit bzw. 1 kg uE
		Empfohlenes Maximum	5 kg bzw. 1 kg uE	130 x LFL bzw. 1 kg uE	10 kg bzw. 1 kg uE	130 x LFL bzw. 1 kg uE	kein Limit bzw. 1 kg uE

HPAC Heat Pumps and Air Conditioning – Wärmepumpen und Klimatisierung

PL practical limit (praktischer Grenzwert, der Kältemittelspezifisch ist (DIN EN 378; PL-Werte im Anhang E) (in kg/m^3)

V_{Rm} Volumen des Raumes (in m^3)

uE unter Erdgleiche

LFL lower flammability limit; untere Zündgrenze (in kg/m^3)

- h Montagehöhe (in m)
- A_{Rm} Fläche des Raumes (in m²)
- * Kältekreisläufe, die ≤ 0,15 kg Kältemittel enthalten sind ausgenommen und können überall aufgestellt werden
- ** 25 kg wenn Kompressor und Flüssigkeitssammler in einem besonderen Maschinenraum oder im Freien stehen

Aus Tabelle 12 wird ersichtlich, dass nicht für alle Anwendungen Höchstfüllmengen angegeben werden, sondern häufig auch größere Füllmengen in Abhängigkeit vom Raumvolumen zugelassen werden.

Exemplarisch wird für Raumklimageräte in Tabelle 13 gezeigt, dass auch unter Berücksichtigung der derzeit gültigen Vorgaben der Einsatz von KW zulässig ist (Schwarz *et al.* 2011, Annex S. 193 ff). Für die Berechnung des Wärme- bzw. Kühlbedarfs durch ein Klimagerät wird generell eine Nennwärmeleistung von 100 W/m² angenommen, um die notwendige Kapazität der Raumklimageräte festzulegen. Vergleicht man die notwendige Füllmenge (Spalte 2) mit der zulässigen Füllmenge je nach Montageort (Spalten 4 bis 6), sieht man, dass bei Wand- oder Deckenmontage in Räumen mit Flächen von bis zu 85 m² mit einem KW-Raumklimagerät gekühlt werden kann. Bei Deckenmontage sogar noch in Räumen mit Flächen bis 170 m².

Tabelle 13: Angegebene Füllmengen für Raumklimaanlagen nach Raumgröße, Berechnung nach DIN EN 378 (nach Schwarz *et al.* 2011, Annex S. 193 ff.)

1	2	3	4	5	6
Kapazität (kW)	KW Füllmenge (R 290) (kg)	Raumgröße (m ²)	Berechnete* Füllmenge bei Bodenaufstellung (kg)	Berechnete* Füllmenge bei Wandmontage (kg)	Berechnete* Füllmenge bei Deckenmontage (kg)
<2.5	0.30	25	0.13	0.38	0.46
2.5-4	0.36	33	0.14	0.43	0.53
4-5	0.45	45	0.17	0.51	0.62
5-7	0.55	60	0.19	0.58	0.71
7-10	0.70	85	0.23	0.70	0.85
10-17	0.96	135	0.29	0.88	1.07
>17	1.13	170	0.33	0.98	1.20

*Die maximale Füllmenge für R290 wird gemäß folgender Formel berechnet (vgl. auch Tabelle 12):

$M = 2,5 \times LFL^{1,25} \times h \times \sqrt{A_{Rm}}$; wobei LFL die untere Zündgrenze, h die Montagehöhe und A_{Rm} die Raumgröße ist. Würde R1270 (Propylen) statt R290 eingesetzt, wäre die maximale Füllmenge bei Boden- oder Wandmontage ca. 10 % größer.

In wissenschaftlichen Forschungsarbeiten (siehe Zang *et al.*, 2013) werden neuerdings zur genaueren Bewertung der Risiken die tatsächlichen Leckagemengen des austretenden Kältemittels in zeitlicher Abhängigkeit und in Abhängigkeit der Leckagegröße selbst ermittelt. Hierbei zeigt sich, dass selbst bei einem Rohrbruch nicht die gesamte Füllmenge austreten kann. Der starke Abfall der Druckdifferenz zwischen Umgebungsdruck und dem Kältemitteldruck im System sorgt dafür, dass in der Regel nur ca. 80 % der Füllmenge austreten. Weiterhin ist die Möglichkeit, Anlagenbereiche durch zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen im Falle von Leckagen mit Ventilen abzusperren, zu nennen, damit bspw. ein bestimmter Teil der gesamten Füllmenge nicht oder nur extrem langsam in die Umgebung austritt.

Diese viel detaillierteren Sicherheitsanalysen und -maßnahmen sollten auf Normen übertragen werden. Da kritische Konzentrationen bei genauer Betrachtung nicht erreicht werden, könnten ohne Sicherheitseinbußen Anpassungen der empfohlenen Füllmengen vorgenommen werden.

5 Analyse des Produkthaftungsgesetzes (ProdHaftG)

5.1 Überblick über bestehende Regelungen

Die Produkthaftung ist ein zwingendes, sogenanntes unabdingbares Recht, das nicht durch vertragliche Vereinbarungen verändert oder gar ausgeschlossen werden kann. Geregelt ist dies im Produkthaftungsgesetz vom 01.01.1990, welches die EU-Produkthaftungsrichtlinie (*EG-Richtlinie* 85/374 EWG) vom 25.07.1985 in Deutschland umsetzt. Danach tritt eine Haftung dann ein, wenn durch einen Produktfehler eine Schädigung von Leben oder Gesundheit oder Sachschäden verursacht werden. Bei gewerblichem Vertrieb von Produkten tritt eine Haftung grundsätzlich verschuldensunabhängig ein, d. h. Hersteller haften auch dann, wenn ihnen weder Vorsatz noch Fahrlässigkeit vorzuwerfen sind, es sei denn, der Produktfehler entspricht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.

Eine wesentliche Stütze in der Entlastung hinsichtlich Produkthaftung ist die Einhaltung einschlägiger Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und der Nachweis zur Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik. Dies umfasst themenbasierte Dokumentationen zu Druckbehältern (TRB), Rohrleitungen (TRR), DIN Normen, AGI Arbeitsblätter, AD Merkblätter, VDI, VDMA Richtlinien und Unfallverhütungsvorschriften: Insgesamt eine Ansammlung von bis zu 200 Dokumenten, die je nach Anwendung relevant sein können. Beispielsweise kann die Berücksichtigung der in Kapitel 4.1 aufgeführten Normen EN 60335-2-24/40/89 und DIN EN 378 typischerweise zur Beurteilung der Haftung herbeigezogen werden. Allerdings kann von oben genannten Regelwerken abgewichen werden, wenn diese veraltet oder erkennbar nicht (mehr) den Stand der Technik wiedergeben. Zusätzlich gibt es in Deutschland die Möglichkeit der Einzelabnahme, die v. a. bei größeren, nicht serienmäßig produzierten Geräten gängig ist. Dabei wird die Sicherheit einer Anlage von zertifizierten Stellen überprüft und bestätigt. Bei Einzelfallprüfungen kann, falls dies begründet ist, von einschlägigen Normen abgewichen werden.

Infolge der EU-Richtlinie 85/374/EWG ist die Produkthaftung in Europa harmonisiert. Die Mitgliedsstaaten können aber einen Ermessensspielraum in der Anpassung an das existierende traditionelle und teilweise abweichende Deliktrecht nutzen. Obwohl die europäische und amerikanische Gesetzgebung in vielen Punkten ähnlich ist, gibt es in der Praxis große Unterschiede. Dies ist beispielsweise in der Rolle der Ausschüsse (Jurys) und den Schadenersatzregelungen im amerikanischen Rechtssystem begründet³¹.

In Form einer Literaturrecherche wurden wichtige Urteile und Erfahrungen zur Produkthaftung, im Hinblick auf brennbare Kältemittel, ausgewertet. Im Fokus standen die Fragen:

- 1) Wer haftet im Rahmen der Produkthaftung bei der Einhaltung des Stands der Technik?
- 2) wofür besteht Haftung?

Die beteiligten Akteure sind der Hersteller bzw. Importeur der Anlage (oder Teile der Anlage), der Planer der Anlage und der Monteur. Jeder dieser Akteure hat unterschiedliche Verantwortungsbereiche, die er sorgfältig zu erfüllen hat. Der Hersteller haftet dafür, dass sein Produkt nach den anerkannten Regeln der Technik konstruiert und gefertigt ist sowie betrieben werden kann. Weiterhin haftet er für die Fehlerfreiheit seiner Produkte und für die vollständige Instruktion von Betreibern (Betriebsanleitung), von Planern (Planungsunterlagen) und Monteuren

³¹ COM(1999)396 final vom 28.07.1999

(Installationsanweisungen). Der Planer ist dafür verantwortlich, dass die von ihm geplante Anlage dem Stand der Technik entspricht und der Zweck der Anlage vom Hersteller freigegeben ist. Der Monteur soll die übliche Sorgfalt aufbringen und sich an die Instruktionen des Herstellers halten.

Grundsätzlich kann ein Schaden produkthaftungs- und strafrechtliche Konsequenzen haben (Vollmann, 1996). Eine Haftung nach Produkthaftungsrecht muss nicht zwangsläufig eine strafrechtliche Haftung nach sich ziehen. Liegt allerdings eine strafrechtliche Haftung vor, bedingt dies eine Haftung nach Produkthaftungsrecht. Für das Strafrecht ist über den vorhandenen Fehler hinaus das persönliche Verschulden maßgeblich. Das persönliche Verschulden ist für die Produkthaftung irrelevant. Daher spricht man im Rahmen der Produkthaftung von einer verschuldensunabhängigen Gefährdungshaftung, welche im Fokus dieses Kapitels steht.

Fehler, die zu einer verschuldensunabhängigen Gefährdungshaftung führen können, sind:

- Fabrikationsfehler
- Instruktionsfehler
- Konstruktionsfehler

Ein Fabrikationsfehler besteht, wenn ein Produkt nicht so produziert wurde, wie es den Konstruktionsplänen entspricht. Diese Fehler lassen sich durch ein entsprechendes Qualitätssicherungssystem vermeiden und sind nicht spezifisch für Kälteanlagen oder Kältemittel. Daher werden sie nicht weiter betrachtet.

Ein Instruktionsfehler liegt vor, wenn auf ein immanentes Gefährdungspotenzial, welches durch unsachgemäße Handhabung entstehen kann, nicht in adäquater Form hingewiesen wird. Bei der Verwendung von brennbaren Kältemitteln muss z. B. durch entsprechende Symbole auf die Brennbarkeit hingewiesen werden. Darüber hinaus muss der Hersteller entsprechende Risikoanalysen durchführen, in der der bestimmungsgemäße Gebrauch bzw. die Verwendung des Produktes hinsichtlich Sicherheitsrisiken untersucht wird. Dazu zählen auch die sogenannten vorhersehbaren Fehlanwendungen des Betreibers beim Betrieb des Produktes. Diese Risikoanalysen gehen im Designprozess sowohl mit in die Konstruktion des Produktes ein, als auch in die Beschreibung des bestimmungsgemäßen Gebrauchs.

Die hier wichtigste Fehlerart ist der Konstruktionsfehler. Dieser besteht, wenn das Produkt fehlerhaft konzipiert wurde. Eine Studie im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energie (Schweizer Bundesamt für Energie, 1999) behandelt ausführlich die Frage, ob der Einsatz von KW als Kältemittel dem Stand der Technik entspricht oder ob schon das Vorhandensein von weniger brennbaren Alternativen als Konstruktionsfehler klassifiziert werden kann. Letzteres wird verneint. Es wird argumentiert, dass eine umfassende Risikobewertung ausschlaggebend sei, die auch Risiken mit einbezieht, die die Umwelt betreffen. Da es sachliche Gründe gebe, aus denen KW verwendet würden und das zusätzliche Risiko der Explosionsgefahr zum einen technisch durch geeignete Maßnahmen verringert werden könne und zum anderen gegenüber der Risikoverringering für die Umwelt verhältnismäßig sei, stelle das Verwenden von KW als Kältemittel an sich keinen Fehler dar. Darüber hinaus sei aus dem Stand der Technik bekannt, dass Anlagen mit gefährlichen Arbeitsstoffen durch geeignete technische Maßnahmen ebenso sicher betrieben werden könnten wie mit „lokal ungefährlichen Arbeitsstoffen“.

Haftung von Teileherstellern

Der Hersteller eines Bauteils hat sicherzustellen, dass das Produkt fehlerfrei ist und Informationen bzw. Warnungen für die Montage enthält. Das Einsatzspektrum des Produkts ist

klar zu definieren und ergibt sich im Normalfall aus der Produktbeschreibung. Ein Mehr an Information bezüglich möglicher Gefahren und anzuwendenden Sicherheitsnormen ist empfehlenswert. Grundsätzlich ist der Teilehersteller nur verpflichtet, den Endhersteller zu informieren. Sollte der Endhersteller aber erkennbar seiner Informationspflicht gegenüber dem Endverbraucher nicht nachkommen, ist auch der Teilehersteller verpflichtet, den Endverbraucher zu informieren.

Aufgrund der subjektiv unklaren Produkthaftung für KW als Kältemittel geben Teilehersteller oftmals ihre Produkte dezidiert nicht für KW frei, obwohl sie technisch gesehen durchaus geeignet wären. Baut der Endhersteller ein Bauteil in eine Anlage ein, haftet er grundsätzlich. Im Fall des Einbaues einer nicht freigegebenen Komponente muss er nachweisen, dass das hiermit verbundene Risiko technisch beherrscht wird und damit eine explizite Freigabe bei der Fertigstellung des Produktes bzw. der Anlage erfolgen kann. Damit kann er sich im Schadensfall von der Haftung befreien, wenn er nachweisen kann, dass das Bauteil für den Verwendungszweck geeignet war und es nicht Ursache des Fehlers war.

5.2 Relevanz für die Verbreitung von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in den ausgewählten Anwendungen

Aus den Ausführungen zum Produkthaftungsgesetz ergeben sich folgende potenzielle Ansatzpunkte in Bezug auf Teile- und Endhersteller:

1) Teilehersteller:

- Die Teilehersteller von Klima- und Kälteanlagen sollten aufgeklärt werden, dass sie ihre Komponenten für den Gebrauch von KW-Kältemitteln freigeben können, ohne dass sie damit in einen Konflikt mit dem Produkthaftungsgesetz geraten (siehe auch Maßnahme M12 Kapitel 6.2)

2) Endhersteller:

- Endhersteller von KW-Technologie bedürfen der Aufklärung, dass sie grundsätzlich Komponenten von Teileherstellern verwenden können, die derzeit nicht für KW-Kältemittel freigegeben sind. Da es sich in diesem Fall um ein Abweichen vom dokumentierten Stand der Technik handelt, müssen die Endhersteller dann jedoch darstellen, dass das damit verbundene Risiko technisch beherrscht wird (siehe auch Maßnahme M20 Kapitel 6.2)
- Endhersteller, die Geräte mit Füllmengen von mehr als 150 g KW-Kältemittel produzieren: Es besteht ein Mangel an Information, unter welchen Voraussetzungen solche Geräte in Verkehr gebracht werden können, und was bei Installation, Wartung und Betrieb zu beachten ist (siehe auch Maßnahme M20 Kapitel 6.2). Eine Ergänzung der entsprechenden Normen, wie in Kapitel 3 beschrieben, wäre zusätzlich von Vorteil.

Bei eindeutiger Klärung der Produkthaftung ist eine zum Teil erheblich stärkere Marktdurchdringung KW-haltiger Produkte möglich, da dem keine technischen Hemmnisse entgegen stehen. Ein echter Marktdurchbruch im jeweiligen Segment der Kältetechnik kann durch folgende Entwicklungen erfolgen:

- 1) Konkurrenzdruck d. h. ein innovativer Hersteller führt Produkte mit KW und mindestens vergleichbaren Produktbetriebsrisiken ein (siehe Kühlschrankindustrie in den 1990er Jahren)

- 2) Finanzielle und immaterielle Risiken der Hersteller werden durch den allgemein anerkannten Stand der Technik verändert.
- 3) Der Gesetzgeber erschwert den Einsatz der bisher verwendeten umweltschädlichen Kältemittel.

In Kapitel 6.2 werden Maßnahmen vorgeschlagen, um den genannten Barrieren zu begegnen. Eine Grundvoraussetzung für den erstgenannten Punkt ist ein ausreichendes Maß an Forschung und Entwicklung (siehe Maßnahme M19 in Kapitel 6). Außerdem können Förderprogramme die Markteinführung innovativer Produkte erleichtern (siehe Maßnahme M1 und M2 in Kapitel 6). Der unter 2) genannte Punkt wird ebenfalls über Maßnahmen abgedeckt, die in diesem Projekt erarbeitet bzw. vorgeschlagen werden (siehe Maßnahmen M8 und M9 in Kapitel 6). Im Rahmen dieser Maßnahmen werden Normen und Standards neu erarbeitet bzw. angepasst, um die Rahmenbedingungen für den sicheren Betrieb von KW-Anwendungen zu definieren. Somit verändert sich der Stand der (Sicherheits-) Technik, auf den im Produkthaftungsgesetz Bezug genommen wird. Des Weiteren wird vorgeschlagen, die Rechtssicherheit durch eine juristische Prüfung des Produktsicherheitsgesetzes in Bezug auf die Verwendung von KW als Kältemittel zu verbessern (siehe Maßnahme 12 in Kapitel 6). Der unter 3) genannte Punkt wird im Rahmen dieses Projektes nicht weiter beleuchtet, da er durch andere Vorhaben bereits abgedeckt wird.

6 Strategie zum vermehrten Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel in Deutschland

Dieses Kapitel zeigt die Gesamtstrategie für den vermehrten Einsatz von KW als Kältemittel in Deutschland in den ausgewählten Hauptanwendungen Raumklimageräte, Haushaltswärmepumpen, Kühl-Lkw sowie Flüssigkeitskühlsätze bis 1 MW auf. Dabei werden Ergebnisse aus den Kapiteln 1 bis 5 aufgegriffen.

Im folgenden Kapitel 6.1 werden mögliche Maßnahmen zur Förderung von KW-Kältemitteln sowie die Methodik zur Auswahl, Bündelung und Bewertung geeigneter Maßnahmen vorgestellt. In Kapitel 6.2 werden die einzelnen Maßnahmen und die Berechnung ihrer Umsetzungskosten beschrieben, Kapitel 6.3 zeigt eine zusammenfassende Kurzdarstellung aller Umsetzungskosten.

6.1 Methodik zur Entwicklung der Strategie und Maßnahmenauswahl

6.1.1 Übersicht der verschiedenen Maßnahmen

Politische Entscheidungen zur Gestaltung von Anreizen für umweltkonformes Verhalten müssen von der öffentlichen Verwaltung umgesetzt werden. Für diese Maßnahmen fallen Tätigkeiten und Kosten in der öffentlichen Verwaltung zur Planung, Gestaltung und zum Vollzug der politischen Entscheidungen an. Die dadurch entstehenden Kosten werden als Verwaltungskosten in diesem Projekt berücksichtigt, nicht betrachtet werden Kosten der politischen Verwaltung (Kosten der politischen Führung) oder privatwirtschaftlicher Maßnahmen, wie beispielsweise das Umstellen von Produktionslinien auf KW-Technologie. Kosten privatwirtschaftlicher Maßnahmen sind demnach nicht separat erfasst, spiegeln sich allerdings in erhöhten Produktpreisen von KW-Geräten wieder und sind demnach implizit berücksichtigt.

Die hier betrachteten Maßnahmen zur Förderung von KW-Kältemitteln können verschiedenen Kategorien zugeordnet werden (UNFCCC 2000):

- Fiskalische Maßnahmen
- Verpflichtungserklärungen
- Regulierende Maßnahmen
- Informationsfördernde Maßnahmen
- Bildungsfördernde Maßnahmen
- Maßnahmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung

Unter **fiskalischen Maßnahmen** versteht man beispielsweise Subventionen und öffentliche Infrastrukturausgaben, Zuschüsse, verbilligte Kredite, Steuererleichterungen und staatliche Investitionen (Matthes 2009, S. 276). Die Besteuerung von HFKW wäre somit eine fiskalische Maßnahme.

Verpflichtungserklärungen sind freiwillige und verhandelte Selbstverpflichtungen oder Vereinbarungen von Wirtschaftsbereichen, Branchen oder Unternehmen.

Unter **regulierende Maßnahmen** fallen ordnungsrechtliche Vorschriften, Ver- und Gebote, technische Standards sowie verpflichtende Produktkennzeichnungen. Ein Verbot von HFKW wäre somit eine regulierende Maßnahme. Besteuerungen und Verbote von HFKW werden allerdings im

Rahmen des Projektes nicht behandelt, da sie bereits in anderen Vorhaben des Umweltbundesamtes ausführlich analysiert werden³².

Informationsfördernde Maßnahmen zielen auf die Verbreitung von Information und Beratung über Broschüren, Informationszentralen, Agenturen und Beratungsstellen und gehen oft mit **bildungsfördernden Maßnahmen** einher. Bei Letzteren liegt der Fokus auf der Regelung und Verbesserung der Aus-, Fort- und Weiterbildung.

Maßnahmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung geben Anreize zur Entwicklung innovativer Technologien und fördern die Demonstration von anwendungsorientierter Forschung (Matthes 2009, S. 276).

In Tabelle 14 sind mögliche Maßnahmen zur Förderung von KW-Kältemitteln in Deutschland zusammengestellt.

Tabelle 14: Übersicht verschiedener Maßnahmen zur Förderung von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in Deutschland

Klassifikation der Maßnahmen (UNFCCC 2000)	Abkürzung	Beschreibung der Maßnahme	Kurzbeschreibung
Fiskalisch	M1	Subvention der Investitionsmehrkosten bei Neuanschaffung von KW-Geräten.	MAP Neuinstallation
Fiskalisch	M2	Subvention der Mehrkosten bei Austausch bestehender HFKW-Anlagen (berücksichtigt den Restwert bestehender Anlagen)	MAP Altbestand
Fiskalisch	M3	Vergabe eines Kältemittelbonus im Rahmen existierender Förderprogramme bei der Verwendung von KW- Kältemitteln	Kältemittelbonus (Wärmepumpe)
Fiskalisch/Information	M4	Verpflichtende und klare Deklaration des Kältemittels in der BAFA-Liste für förderfähige Wärmepumpen	Deklaration des Kältemittels in der BAFA-Liste (Wärmepumpe)
Fiskalisch	M5	Umweltfreundliche Beschaffung, d. h. staatlich finanzierte „Leuchtturm-Projekte“	Umweltfreundliche Beschaffung
Fiskalisch	M6	Vergünstigte Kredite bei Anschaffung KW-Anlagen	Vergünstigte Kredite
Verpflichtungserklärungen	M7	Selbstverpflichtung (Hersteller) zur Verwendung von KW als Kältemittel	Selbstverpflichtung
Regulierung	M8	Reflexion der technischen Umsetzbarkeit zum Einsatz von KW-Kältemitteln und ggf. Intervention	Anpassung von Normen
Regulierung	M9	Erarbeitung des Standes der Technik als Grundlage für Ergänzungen und Neugestaltung von Standards und Normen (Produktnormentwicklung)	Produktnormentwicklung

³² Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3711 43 324.

Information	M10	Förderung von Qualitäts- und Umweltprüfung zur Kennzeichnung von KW-Geräten (z. B. im Rahmen "Blauer Engel")	Förderung von Qualitäts- und Umweltprüfung zur Kennzeichnung von KW-Geräten
Information	M11	Erstellung und Verbreitung von Informationsbroschüren zum sicheren Einsatz von KW-Kältemitteln und deren Vorteile	Informationsbroschüren für Klima- und Kältetechniker, sowie Heizungsbauer
Information/Regulierung	M12	Erarbeitung einer juristisch geprüften Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes	Rechtsauffassung über ProdHaftG
Information	M13	Wanderausstellung zum sicheren Einsatz von KW Kältemitteln und deren Vorteile, z. B. auf Handwerksmessen, Verbrauchermessen.	Wanderausstellung
Information/Bildung	M14	Workshops zur Abstimmung von Ausbildungsinhalten von Klima- und Kältetechnikern	Abstimmung von Ausbildungsinhalten
Information/Bildung	M15	Einrichten einer fachlichen Anlaufstelle/Ansprechpartner, die als unabhängige Kompetenz- und Beratungsstelle für KW-Kältemittel dient und Öffentlichkeitsarbeit betreibt.	Kompetenz- und Beratungsstelle
Information/Bildung	M16	Workshops zu "Fördermöglichkeiten" (z. B. BAFA) für energieeffiziente Anlagen mit natürlichen Kältemitteln.	Workshops „Fördermöglichkeiten“
Information/Bildung	M17	Einrichten eines KW-Forums analog zu „Runder Tisch Supermarktkälte“, (Veranstaltungsreihe des UBA)	KW-Forum
Information/Bildung	M18	Fortbildungsseminare für Klima- und Kältetechniker über Vorteile und den sicheren Einsatz von KW-Kältemitteln	Finanzierung von Fortbildungsseminaren
Forschung und Entwicklung	M19	Vergleichende Studie (RefTech- und AT-Technologie) zur Untersuchung von Energieeffizienz, Brennbarkeit und Explosionsgefahr sowie Risikoabschätzung und anschließende Publikation der Ergebnisse.	Vergleichende Studien: RefTech - und AT-Technologie und Publikation der Ergebnisse
Information/Bildung	M20	Erarbeitung eines Handlungsleitfadens zum Einsatz von KW-Kältemitteln in Wärmepumpen und zum Einsatz bisher nicht für diese Kältemittel zertifizierter Komponenten	Handlungsleitfaden zum Einsatz von KW-Kältemitteln und bisher nicht zertifizierter Komponenten

6.1.2 Entwicklung eines Ablaufschemas zur Bewertung verschiedener Maßnahmen und Maßnahmenbündel

Das zur Bewertung und Auswahl der in Tabelle 14 aufgelisteten Maßnahmen und möglicher Maßnahmenbündel entwickelte Ablaufschema ist in Abbildung 21 grafisch dargestellt. Darin sind die verschiedenen Schritte erläutert, von der Zusammenstellung möglicher Maßnahmen bis hin zur Evaluierung der für die finale Bewertung ausgewählten Maßnahmenbündel.

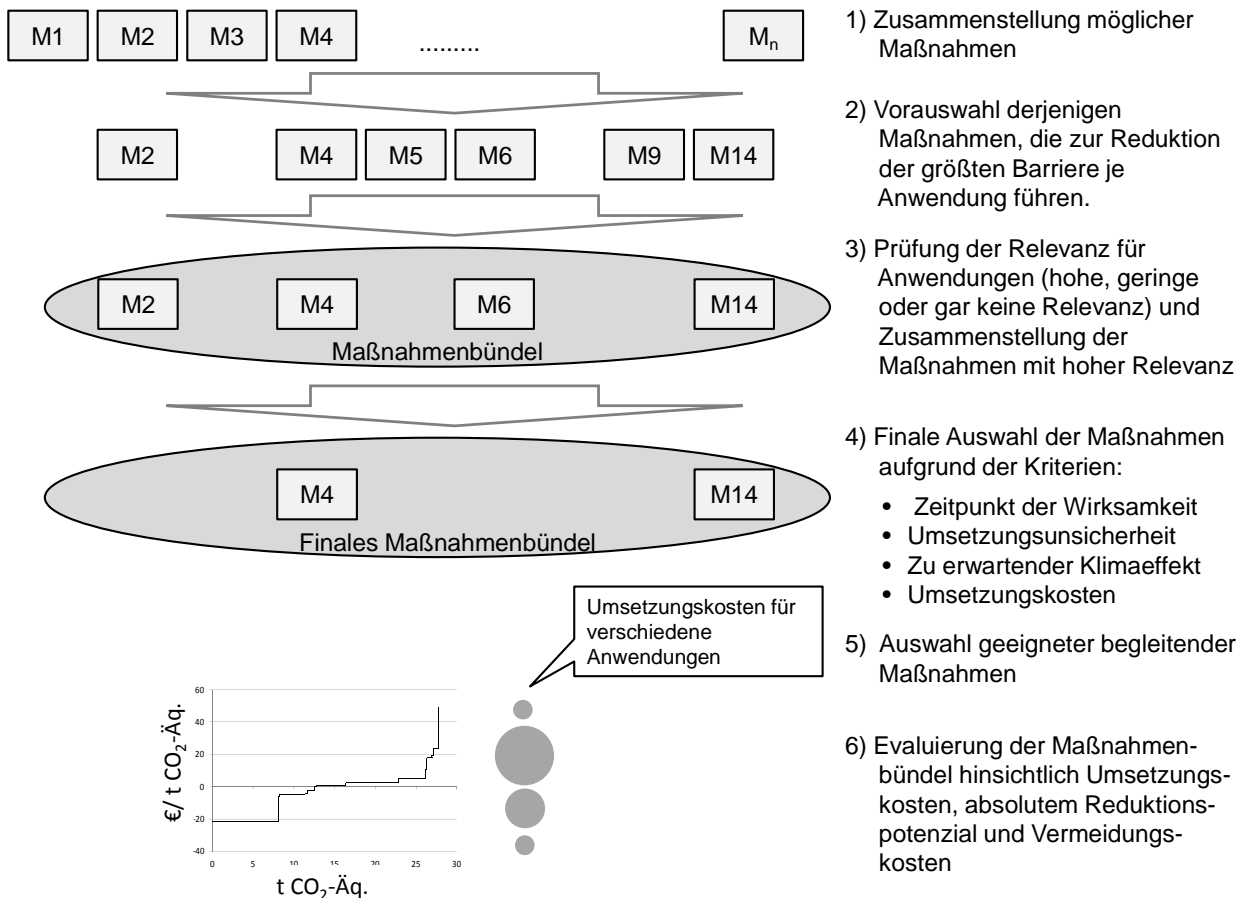


Abbildung 21: Ablaufschema zur Bewertung unterschiedlicher Maßnahmen und Maßnahmenbündel hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Effekts sowie des Aufwands

Der **erste Schritt** besteht aus einer umfassenden Zusammenstellung möglicher Maßnahmen zur Förderung von KW-Kältemitteln in Deutschland (Abbildung 21, Schritt 1). Diese Zusammenstellung ist in Tabelle 14 zu finden.

Der **zweite Schritt** besteht aus der Identifizierung der größten Barriere für einen vermehrten Einsatz von KW-Kältemitteln für jede Anwendung und der Vorauswahl derjenigen Maßnahmen, die zur Reduktion dieser größten Barriere beitragen.

Die größten Barrieren für den vermehrten Einsatz von natürlichen Kältemitteln in Europa sind gemäß einer Studie von Shecco (Shecco, 2012, S.99):

- Mangelnde Sektorqualifizierung, d. h. Qualifizierung des Handwerks
- Technologie- und Produktverfügbarkeit
- Wahrnehmung and allgemeine Akzeptanz
- Hohe Investitionskosten
- Standards und Normen
- Marktverhältnisse (Konkurrenz und Nachfrage)

Speziell für den Einsatz von KW-Anwendungen werden konservative Füllmengenbegrenzungen als zentrale Barriere genannt. Dieses Ergebnis basiert auf einer von Shecco durchgeführten Umfrage von Industrievertretern aus dem Jahr 2011 und liefert einen ersten Eindruck über bestehende Barrieren. Die Umfrageergebnisse decken sich ebenfalls mit den in diesem Projekt gewonnenen

Erkenntnissen für die vier Hauptanwendungen (siehe Kapitel 3). Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die Barrieren für den Einsatz von KW-Kältemitteln speziell für die Situation in Deutschland und für die vier untersuchten Hauptanwendungen analysiert. Dabei wurde die jeweils wichtigste Barriere je Anwendung identifiziert. Von den in Tabelle 14 zusammengestellten Maßnahmen werden diejenigen näher betrachtet, die zur Verringerung der wichtigsten Barriere beitragen (Abbildung 21, Schritt 2).

In einem **dritten Schritt** wird für jede der vier Hauptanwendungen die Relevanz dieser Maßnahmen geprüft. Dabei wird zwischen „hoher“, „geringer“ und „keiner“ Relevanz unterschieden. Die Einführung eines Förderprogramms ist beispielsweise nicht relevant, wenn es diese Art der Förderung für eine Anwendung bereits gibt. Für die Differenzierung „hohe“ und „geringe“ Relevanz wurden die Hintergrundinformationen aus den Kapiteln 1 bis 5 verwendet, Literatur recherchiert und zahlreiche Telefonate mit Fachexperten geführt. Eine Zusammenstellung der Maßnahmen, inklusive deren Bewertung hinsichtlich ihrer Relevanz, findet sich im Anhang in Tabelle 40. Die Filterung von hochrelevanten Maßnahmen zum Abbau der wichtigsten Barriere führt zu einem Maßnahmenbündel für jede Anwendung.

Im **vierten Schritt** findet die finale Auswahl der Maßnahmen aus den Maßnahmenbündeln von Schritt 3 statt. Dazu werden alle Maßnahmen hinsichtlich der folgenden Kriterien bewertet:

- Zeitpunkt der Wirksamkeit
- Umsetzungsunsicherheit
- Zu erwartender Klimaeffekt
- Umsetzungskosten

Zur Abschätzung des Zeitpunktes, wann eine Maßnahme wirksam wird, werden kurzfristige (1-2 Jahre), mittelfristige (3-5 Jahre) und langfristige (> 5 Jahre) Zeiträume unterschieden. Die Abschätzung der Umsetzungsunsicherheit hinsichtlich einer erfolgreichen Maßnahmenumsetzung erfolgt qualitativ (hohe, mittlere, geringe Unsicherheit) ebenso wie die Abschätzung des zu erwartenden Klimaeffektes (hoher, mittlerer, geringer Effekt). Eine quantitative Bestimmung des Klimaeffektes für einzelnen Maßnahmen (z. B. Druck von Informationsbroschüren) erscheint u.a. wegen der hohen Unsicherheit nicht sinnvoll.

Oftmals wird es als notwendig und sinnvoll bewertet, begleitende, z. B. informationsbildende Maßnahmen umzusetzen oder Maßnahmen zum Abbau der Barriere mit zweitgrößter Priorität (**Schritt 5**). Die Auswahl an Maßnahmen erfolgt dann analog unter Anwendung des vorgestellten Ablaufschemas.

Im letzten Schritt (**Schritt 6**) wird das finale Maßnahmenbündel je Anwendung hinsichtlich der gesamten Umsetzungskosten, dem absoluten Emissionsreduktionspotenzial in Bezug auf Treibhausgase (CO₂-Reduktionspotential) und den spezifischen Vermeidungskosten bewertet. Die gesamten Umsetzungskosten eines Maßnahmenbündels ergeben sich aus der Summe der Umsetzungskosten der einzelnen Maßnahmen, die in Kapitel 6.3 dargestellt sind.

Um das CO₂-Reduktionspotential zu bestimmen, müssen die verschiedenen Maßnahmenbündel hinsichtlich ihrer Wirkung bewertet werden, und zwar ihrer Wirkung auf die Marktdurchdringung. Höhere Marktdurchdringungsraten für KW-Geräte führen zu Einsparungen direkter und ggf. indirekter Emissionen. Die aus dem Wirken der Maßnahmenbündel resultierenden Marktdurchdringungsraten werden als potenzielle Marktdurchdringungsraten bezeichnet. Die Berechnungsgrundlagen und weitere Informationen finden sich im Anhang, Kapitel II.

Für die finale Bewertung der Maßnahmenbündel im Hinblick auf den Einsatz von KW-Kältemitteln wurden alle relevanten Informationen zusammengeführt und graphisch dargestellt (Abbildung

21, Schritt 6). Die finale Bewertung erfolgt unter Verwendung von Grenzkostenkurven, die die Vermeidungskosten ins Verhältnis zum absoluten CO₂-Reduktionspotential setzen. Somit können Kosten-Nutzen-Effekte visualisiert werden. Zusätzlich sind die Umsetzungskosten dargestellt. In den Grenzkostenkurven ist die Höhe der Umsetzungskosten durch die Größe von Kreisen visualisiert.

Die verschiedenen Schritte zur Identifizierung und Bewertung geeigneter Maßnahmenbündel können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- 1) Zusammenstellung möglicher Maßnahmen zur Förderung des Einsatzes von KW-Kältemitteln
- 2) Identifizierung der größten Barriere je Anwendung und Vorauswahl derjenigen Maßnahmen, die zur Reduktion dieser Barriere führen
- 3) Reduktion der Vorauswahl durch Prüfen der Relevanz von Maßnahmen. Unterschieden wird zwischen „hoher Relevanz“, „geringer Relevanz“ und „keiner Relevanz“ der Maßnahmen (siehe Tabelle 40). Für diese Beurteilung wurden die Erkenntnisse aus den Kapiteln 1 bis 5 verwendet, Literaturrecherchen und Gespräche mit Fachexperten. Bildung von Maßnahmenbündeln durch Zusammenstellung der Maßnahmen mit hoher Relevanz.
- 4) Finale Auswahl der Maßnahmen aus dem Maßnahmenbündel aufgrund folgender Kriterien:
 - Zeitpunkt der Wirksamkeit
 - Unsicherheit hinsichtlich der erfolgreichen Maßnahmenumsetzung (qualitative Bewertung)
 - Zu erwartender Effekt Klimateffekt, d. h. Emissionsreduktion (qualitative Bewertung)
 - Umsetzungskosten
- 5) Auswahl geeigneter begleitender Maßnahmen zum Abbau weiterer wichtiger Barrieren. Die Auswahl erfolgt analog zu den Schritten 1) bis 4).
- 6) Evaluierung der Maßnahmenbündel hinsichtlich Umsetzungskosten, absolutem Reduktionspotenzial und Vermeidungskosten

6.2 Kurzbeschreibung einzelner Maßnahmen und Quantifizierung der Umsetzungskosten

Im Folgenden sind die im Kapitel 6.1.1 eingeführten Maßnahmen (Tabelle 14) beschrieben. Zuerst wird das Ziel der jeweiligen Maßnahme genannt und die Maßnahme allgemein beschrieben. Anschließend wird die Relevanz hinsichtlich der vier Hauptanwendungen erläutert, die verschiedenen Handlungsoptionen werden diskutiert und die Berechnungsgrundlage der Umsetzungskosten dargestellt. Die Umsetzungskosten sind nach Möglichkeit aufgeschlüsselt in:

- Personalkosten
- Fremdleistungen (Outsourcingkosten, z. B. Kosten für externe Sachverständige)
- Sachkosten
- Finanzierungskosten (Förderprogramme)
- Verwaltungskosten
- Sonstige Kosten

Eine zusammenfassende Darstellung der Relevanz der Maßnahmen für die Hauptanwendungen findet sich in Tabelle 40 im Anhang, ein Überblick der Umsetzungskosten ist in Tabelle 19 zusammengestellt.

Die Angaben zum Zeitaufwand (Personalkapazität) und entsprechende Tagessätze basieren auf Gesprächen mit Fachexperten, eigenen Erfahrungswerten und auf einer Auswertung aktueller Angebote zu anderen Studien. Wenn keine adäquaten Stundensätze verfügbar waren, wurde gemäß dem Joblevel 2 „Professionals“ in Deutschland (European Commission 2011) ein Stundenlohn von 43,15 € angenommen. Sofern im Text nicht anders angegeben, wurde dieser Stundenlohn verwendet.

M1 und M2: Subvention der Investitionsmehrkosten bei Neuanschaffung von Kohlenwasserstoff-Geräten und Subvention der Mehrkosten bei Austausch bestehender HFKW-Anlagen

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahmen ist die finanzielle Unterstützung von Endverbrauchern bei der Neuanschaffung von KW-Geräten bzw. beim Austausch bestehender HFKW-Anlagen. Derartige finanzielle Anreize senken die Hemmschwelle beim Kauf von KW-Alternativen.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Relevant wären diese Maßnahmen in erster Linie für Flüssigkeitskühlsätze, da hier, im Vergleich zu den anderen Hauptanwendungen, die größten Investitionsmehrkosten entstehen (s. Anhang II.1 ff.). Für diese Anwendung existiert bereits eine entsprechende Förderung³³. Daher wird eine komplette Neuausgestaltung von Förderprogrammen im Rahmen dieses Projektes nicht weiter behandelt (siehe auch Tabelle 40). Wärmepumpen werden bereits gefördert im Rahmen eines Marktanreizprogrammes³⁴, hier wird eine Anpassung als sinnvoll bewertet (Maßnahme M3).

Diskussion:

Gemäß der zum 1. Januar 2014 überarbeiteten Förderrichtlinie für gewerbliche Kälteanlagen können nunmehr auch Kompressionsklimaanlagen mit einer elektrischen Antriebsleistung des Verdichters von 10 kW bis 150 kW gefördert werden, damit sind auch Multi-Split- und VRF-Geräte förderfähig.

Das derzeitige Marktanreizprogramm (MAP) für Wärmepumpen fördert lediglich die Installation von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, nicht in Neubauten. Eine Ausweitung des MAPs auf Neubauten wird hier nicht diskutiert oder vorgeschlagen, da die Förderung in Neubauten gezielt vom BMU im Jahr 2010 zurückgenommen wurde.

M3: Vergabe eines Kältemittelbonus im Rahmen existierender Förderprogramme bei der Verwendung von Kohlenwasserstoff als Kältemittel

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Diese Maßnahme zielt auf eine finanzielle Unterstützung von Endanwendern durch Boni ab, die sich im Rahmen des existierenden MAP für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden für KW-

³³ <http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kaelteanlagen/>

³⁴ http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/waermepumpen/

Kältemittel anstelle von HFKW entscheiden. Die Maßnahme soll somit einen zusätzlichen Anreiz zur Verwendung von KW-Kältemitteln schaffen.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Für zwei der vier betrachteten Hauptanwendungen gibt es bereits Förderprogramme, und zwar für Wärmepumpen³⁵ und Flüssigkeitskühlsätze (als Teil der gewerblichen Klima- und Kälteanlagen). Das Förderprogramm für Flüssigkeitskühlsätze berücksichtigt bereits die Art des Kältemittels. Neuinstallationen werden nur gefördert, wenn ein natürliches Kältemittel (CO₂, NH₃ oder nichthalogenierte Kohlenwasserstoffe) eingesetzt wird, bei Altanlagen steigt der Fördersatz an den Nettoinvestitionskosten von 15 % auf 25 % beim Einsatz natürlicher Kältemittel. Eine neue Förderrichtlinie ist am 1. Januar 2014 in Kraft getreten. Aus diesem Grund wird das Förderprogramm für Flüssigkeitskühlsätze nicht weiter betrachtet. Die Anpassung des MAPs für Wärmepumpen wird hingegen wegen der hohen Relevanz (s. Tabelle 40) als sinnvoll bewertet.

Diskussion:

Das MAP für Wärmepumpen sieht eine Basisförderung und verschiedene Boni vor, den Kombinationsbonus und den Effizienzbonus. Eine explizite Förderung von KW-Kältemitteln ist nicht vorgesehen, es ist allerdings implizit ein Anreiz gegeben, da der Einsatz von Kältemitteln mit einem GWP-Wert kleiner 150 die Ansprüche an den COP-Wert reduziert (um 15 %). Um KW-Kältemittel direkt zu fördern, sind beispielsweise folgende Anpassungen des existierenden MAPs möglich:

1. Die Einführung „Verwendung von halogenfreien Kältemitteln“ als verpflichtendes Kriterium für die Förderung von Wärmepumpen. Diese Maßnahme wurde in der Vergangenheit des Öfteren im BMU diskutiert und wegen der geringen Anzahl an Herstellern von KW-Wärmepumpen verworfen³⁶.
2. Verankerung einer Koppelung an das RAL-UZ 118, um zukünftig nur Wärmepumpen zu fördern, die das Umweltzeichen „Blauer Engel“ tragen. Ein ähnlicher Mechanismus ist derzeit mit Bezug auf das Europäische Umweltzeichen realisiert: Seit Januar 2012 müssen die COP-Werte elektrisch betriebener Wärmepumpen sowie die Heizzahl bei Gasmotor- oder Gasabsorptionswärmepumpen für eine Förderung die Mindestwerte gemäß dem europäischen Umweltzeichen „Euroblume“ einhalten. Um die Verwendung von KW-Kältemitteln durch Koppelung an das RAL-UZ 118 zu fördern, müsste dieses UZ allerdings ebenfalls geändert werden, da der Einsatz von natürlichen Kältemitteln derzeit nicht verpflichtend ist. Diese Maßnahme erscheint wenig sinnvoll, da das UZ „Blauer Engel“ für Wärmepumpen bisher keine breite Akzeptanz unter den Herstellern findet³⁷. Außerdem gibt bereits eine verpflichtende Energieverbrauchskennzeichnung³⁸, sowie das EHPA-Gütesiegel als konkurrierende Label.

³⁵ http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/waermepumpen/

³⁶ S. Stahl (BMU), 26.09.2013, mündl. Mitteilung.

³⁷ S. Stahl (BMU), 26.09.2013, mündl. Mitteilung

³⁸ Eine entsprechende Richtlinie ist am 26. September 2013 in Kraft getreten, zwei Jahre später (ab dem 26. September 2015) dürfen Wärmepumpen ohne Energielabel nicht mehr angeboten oder beworben werden.

3. Die Einführung eines Kältemittelbonus im Rahmen des existierenden MAPs für Wärmepumpen, analog zum Kombinationsbonus und dem Effizienzbonus. Dies bewerten wir als sinnvolle Maßnahme, die den Einsatz von KW-Kältemitteln unter Berücksichtigung der derzeit noch geringen Marktdurchdringung entsprechender Geräte fördern könnte. Die bereits verankerten Boni zur Förderung von Wärmepumpen werden im Allgemeinen gut angenommen; derzeit werden Bonusförderungen bei jedem zweiten Antrag gestellt³⁹.

Aus den oben genannten Gründen wird im Folgenden die Einführung eines Kältemittelbonus zur strategischen Förderung von KW-Kältemitteln betrachtet.

Umsetzungskosten:

Zur Berechnung der Umsetzungskosten für diese Maßnahme wurde analog zum Kombinationsbonus eine Bonusförderung in Höhe von 500 € zugrunde gelegt. Außerdem wurde die Anzahl eingereicherter Förderanträge für Wärmepumpen im Jahr 2012 (5729 Anträge⁴⁰) herangezogen, unter Berücksichtigung, dass nur jeder zweite Antrag eine Bonusförderung enthält. Unter der sich daraus ergebenden Annahme, dass 2865 (5729/2) Anträge gestellt werden, ergeben sich Kosten für die KW-Kältemittel Boni in Höhe von 1.432.250 € pro Jahr. Unter der Annahme von 3 % Verwaltungskosten (42.968 €) entstehen jährliche Umsetzungskosten in Höhe von 1.475.200 € (gerundet).

M4: Verpflichtende und klare Deklaration des Kältemittels in der BAFA-Liste für förderfähige Wärmepumpen

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Diese Maßnahme zielt auf eine entsprechende Anpassung der BAFA-Liste förderfähiger Wärmepumpen mit Prüfsertifikat des COP-Wertes ab, und führt damit zu einer Erhöhung der Transparenz des MAPs für Wärmepumpen. Diese Maßnahme kann als vorbereitende oder begleitende Maßnahme zu M3 betrachtet werden.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Hohe Relevanz besteht lediglich für Wärmepumpen (s. Tabelle 40).

Diskussion:

Voraussetzung für eine Berücksichtigung der Umwelteigenschaften des Kältemittels bei der Auswahl einer förderfähigen Wärmepumpe ist die Kenntnis über das enthaltene Kältemittel. Die Liste förderfähiger Wärmepumpen wird vom BAFA zur Verfügung gestellt und informiert potenzielle Interessenten über förderfähige Gerätetypen. In der Liste werden Angaben über Hersteller, Typ der Wärmepumpe, COP-Werte, Nennwärmeleistung, Prüfnorm und Temperaturdifferenz gemacht⁴¹, nicht allerdings über das enthaltene Kältemittel. Eine Ausnahme bildet die Firma Hautec GmbH. Hier lässt sich aus der Gerätetypenbezeichnung das verwendete Kältemittel identifizieren. Eine verpflichtende und klare Deklaration des Kältemittels für alle Hersteller führt zu einer Erhöhung der Transparenz, und kann daher als vorbereitende oder begleitende Maßnahme zu M3 umgesetzt werden.

³⁹ S. Stahl (BMU), 26.09.2013, mündl. Mitteilung.

⁴⁰ L. Wagner (BAFA), 30.08.2013, email

⁴¹ http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/publikationen/energie_ee_waermepumpe_liste_ab_2013.pdf

Umsetzungskosten:

Da die in den verschiedenen Gerätetypen verwendete Art des Kältemittels der BAFA bereits vorliegt, müsste diese Information lediglich in die Liste förderfähiger Wärmepumpen integriert werden. Der Zeitaufwand wird mit 10 Personentagen angesetzt (1 bis 2 Wochen⁴²). Damit ergeben sich absolute Umsetzungskosten von 3.500 € (gerundet).

M5: Umweltfreundliche Beschaffung

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahme ist, den Einsatz von KW-Kältemitteln zur Deckung des Kühl- und Heizbedarfs öffentlicher Gebäude zu fördern bzw. vorzuschreiben. Umweltfreundliche Beschaffung (auch „Green Public Procurement“, GPP⁴³) ist ein Prozess, in dessen Rahmen die staatlichen Stellen versuchen, Güter, Dienstleistungen und Arbeitsverträge zu beschaffen, die während ihrer gesamten Lebensdauer geringere Folgen für die Umwelt haben als vergleichbare Produkte mit der gleichen Hauptfunktion. Somit werden Umweltbelange in den Beschaffungsprozess der öffentlichen Hand integriert.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Hohe Relevanz besteht für Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze (s. Tabelle 40).

Diskussion:

Bundesbauten weisen, wie auch andere Gebäude, einen enormen Heiz- und Kühlbedarf auf. Zur Bereitstellung dieses Heiz- und Kühlbedarfs werden u. a. Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze eingesetzt. Bei Neubauten von Gebäuden bzw. der Modernisierung des Altbestands kann der klimafreundliche Aspekt der KW-Kältemittel nach unserer Einschätzung ohne nennenswerten Aufwand und Mehrkosten in öffentliche Ausschreibungen integriert werden. Die Vermeidung negativer Umweltauswirkungen beim Einsatz von KW-Geräten müsste in solchen Fällen allerdings klar beschrieben werden.

Wärmepumpen werden in Bundesbauten häufig eingesetzt. Klimatisierung spielt eher für ausgewählte Räume innerhalb der Gebäude eine Rolle⁴⁴. Die Bundesbauten variieren stark in ihrer Größe. Das Spektrum reicht von Mehrfamilienhäusern (z. B. UBA Messstelle in Zingst) bis zu großen Gebäudekomplexen mit mehr als 1.000 Mitarbeitern. Aufgrund des großen Spektrums der Gebäudedimensionierung ist die Maßnahme M5 sowohl für Wärmepumpen (kleinere Gebäude) als auch für Flüssigkeitskühlsätze (größere Gebäude) relevant.

Die Maßnahme erscheint v. a. geeignet, größere Hersteller, die derzeit kein Interesse an KW-Kältemitteln zeigen, zu einem Umdenken anzuregen.

Die Rahmenbedingungen für Neubaumaßnahmen von Büro- und Verwaltungsgebäuden, in denen auch Angaben über Heiz- und Kühlsysteme bzw. Kältemittel getroffen werden, sind in Leitfäden festgehalten (Steckbriefe 1.1.6, Unterpunkt 1 und 5 und die Steckbriefe 3.1.1 und 3.12⁴⁵). Die Leitfäden sind, nach einem entsprechenden Erlass, einzuhalten. In der Regel werden

⁴² Hr. Marsmann (BAFA), 09.09.2013, mündl. Mitteilung.

⁴³ http://ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.htm

⁴⁴ N. Kerz (Geschäftsstelle Nachhaltiges Bauen), 08.10.2013, mündl. Mitteilung.

⁴⁵ <http://www.nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem-nachhaltiges-bauen-fuer-bundesgebaeude-bnb/bnb-buerogebaeude/steckbriefe-bnb-2009-4.html>

Informationen aus den Vergabegrundlagen des Umweltzeichens „Blauer Engel“ verwendet, soweit diese vorhanden sind.

Die Erstellung eines neuen Leitfadens erscheint weniger sinnvoll, da mit dem „Leitfaden für Nachhaltiges Bauen“ vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung bereits ein umfangreiches Werk vorliegt, das durch das Bewertungssystem „Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)“ entsprechend ergänzt wird. Im Leitfaden für Nachhaltiges Bauen ist zwar das Ziel definiert, grundsätzlich auf maschinelle Kühlung zu verzichten, es ist allerdings fragwürdig, ob dies in Zukunft realisierbar ist.

Das BNB stellt einen Kriterienkatalog zur ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten für Gebäude dar. Es bewertet die ökologische, ökonomische, soziokulturelle und funktionale Qualität sowie die technische Qualität und Prozessqualität von Bundesbauten, wobei Punkte bei Einhaltung unterschiedlicher Aspekte vergeben werden. Für Neubauten und Komplettmodernisierungen von Bundesgebäuden werden Mindestanforderungen an die oben aufgeführten Hauptkriteriengruppen gestellt. Der Mindesterfüllungsgrad für Bundesbauten liegt nach dem BNB derzeit bei 65 %, d. h. von den maximal möglichen 100 Punkten müssen mindestens 65 Punkte erreicht werden. Diese Zahl ergibt sich durch die Verrechnung verschiedener Punkte des BNB.

Die Anforderung an das Kältemittel ist unter dem Gesichtspunkt ökologische Qualität berücksichtigt, und zwar über den Steckbrief 1.1.6 (Risiken für die lokale Umwelt). Dort ist festgehalten, dass das Qualitätsniveau 5 (beste Kategorie) nur erreicht werden kann, wenn auf halogenierte oder teilhalogenierte Kältemittel verzichtet wird. Es gibt allerdings kaum Gebäude, die dieses Qualitätsniveau erreichen. In der Praxis spielt die Wahl des Kältemittels somit keine Rolle⁴⁶.

Durch Anpassung des BNB könnte die Art des Kältemittels stärker berücksichtigt werden. Hierzu könnte beispielsweise der Verzicht von halogenierten oder teilhalogenierten Kältemitteln für das Erreichen des Qualitätsniveaus von 2 oder 3 vorgegeben werden.

Umsetzungskosten:

Zur Berechnung der für eine entsprechende Änderung anfallenden Kosten werden die Kosten zugrunde gelegt, die bei einer Veränderung der Vergabegrundlage des Umweltzeichens „Blauer Engel“ anfallen. Die einzelnen Kostenpunkte sind detailliert unter M10 aufgeführt. Bei einer Bearbeitungszeit von einem Monat ergeben sich absolute Umsetzungskosten von 39.500 €.

M6: Vergünstigte Kredite bei Anschaffung von KW-Anlagen/Systemen

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Ziel dieser Maßnahme ist die finanzielle Unterstützung von Endverbrauchern bei der Neuanschaffung von KW-Geräten. Dies kann in Form vergünstigter Darlehen oder in Form von Tilgungszuschüssen geschehen. Derartige finanzielle Anreize sollen die Hemmschwelle beim Kauf von KW-Alternativen senken.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Ähnlich wie bei Förderprogrammen, wäre diese Maßnahme in erster Linie für Flüssigkeitskühlsätze relevant. Auch hier sind bereits Möglichkeiten über die KfW-Förderbank

⁴⁶ N. Kerz (Geschäftsstelle Nachhaltiges Bauen), 08.10.2013, mündl. Mitteilung

gegeben, beispielsweise die Energieeffizienz-Beratung aus dem „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“. Ebenso werden vergünstigte Kredite für Wärmepumpen angeboten, beispielsweise mit dem Programm 270 der KfW-Förderbank. Weitere Förderungen für Wärmepumpen sind u.a. mit den Programmen 430 und 151⁴⁷ gegeben. Von daher wird diese Maßnahme im Rahmen des Projektes nicht weiter behandelt, es besteht keine Relevanz für die Hauptanwendungen.

M7: Selbstverpflichtung (Hersteller) zur Verwendung von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Diese Maßnahme zielt auf den Abschluss einer Selbstverpflichtung von Herstellern oder großen Anwendern zum vermehrten oder ausschließlichen Einsatz von natürlichen Kältemitteln wie Kohlenwasserstoffen oder Kältemitteln mit einem geringen GWP (<150) ab, wobei der Fokus der hier vorgeschlagenen Maßnahme auf den Herstellern liegt.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Hohe Relevanz besteht lediglich für Flüssigkeitskühlsätze (siehe Tabelle 40). Die Relevanz wird für die verschiedenen Anwendungen im Folgenden erläutert:

Die Maßnahme ist für Raumklimageräte nicht relevant, da die meisten Hersteller im asiatischen Raum angesiedelt sind. Schwierig umzusetzen und damit weniger relevant ist die Maßnahme für Haushaltswärmepumpen, da es zu viele Hersteller für eine erfolgreiche Umsetzung gibt. Denkbar wäre unter Umständen eine Selbstverpflichtung mit dem Bundesverband Wärmepumpe e.V. auszuhandeln oder die Selbstverpflichtung eines großen Herstellers, jährlich einen bestimmten Anteil seines Verkaufsvolumens mit KW-Geräten abzudecken. Das wäre ein deutliches Signal an den Markt, hängt jedoch stark von der Bereitschaft der relevanten Hersteller ab und erscheint nur dann Erfolg versprechend, wenn ein Hersteller ohnehin plant, seine Produktion auf KW-Anwendungen umzustellen.

Die überschaubare Anzahl an Herstellern im Bereich Lkw-Transportkühlung spricht zwar für eine mögliche, erfolgreiche Umsetzung, die Interessen an zukünftigen Technologien und damit Kältemitteln sind allerdings sehr unterschiedlich⁴⁸. Während die FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH derzeit in der Testphase mit KW-Anlagen ist, favorisieren Carrier und Thermoking CO₂-Anlagen und neben Kompressionskälteanlagen auch kryogene Kältetechnik mit Flüssiggasen. Eine Einigung auf ein einziges Kältemittel wird von Branchenexperten als unwahrscheinlich erachtet und wäre - je nach Ausgestaltung der Selbstverpflichtung - auch nicht notwendig. Denkbar wäre ein allgemeiner Verzicht auf halogenierte Kältemittel.

Eine hohe Relevanz hat die Maßnahme für Flüssigkeitskühlsätze, da eine begrenzte Anzahl an Herstellern auch im deutschen Raum zu finden ist. Andere relevante Hersteller sind in Frankreich und Italien angesiedelt, was einer erfolgreichen Umsetzung allerdings nicht im Wege steht, solange die Unternehmen den deutschen Markt beliefern. Eine gemeinsame Absprache wäre v. a. bei Flüssigkeitskühlsätzen kleinerer Leistungsbereiche denkbar (<500kW), wo NH₃ als Kältemittel keine Rolle spielt. Schwierig ist die Umsetzung, wenn einzelne Hersteller sich verweigern. Derartige Faktoren müssen bei der Abschätzung der Unsicherheit berücksichtigt werden (siehe Kapitel 6.4).

⁴⁷ <http://www.waermepumpen.info/foerderung>

⁴⁸ H. König, 13.09.2013, mündl. Mitteilung.

Diskussion:

Eine Selbstverpflichtung kann grundsätzlich dann sinnvoll sein, wenn wenige Akteure (Hersteller, Anwender) den Markt dominieren, ein gemeinschaftliches Interesse an einer Selbstverpflichtung haben und ihrerseits in einem Verband organisiert sind. Ein bevorstehendes Verbot von zu verwendeten Stoffgruppen, die Gegenstand der Selbstverpflichtung sind, kann sich ebenfalls positiv auf eine Selbstverpflichtung auswirken.

Als Komponente eines nationalen Konzepts hat die Bundesregierung die Möglichkeit, den Prozess einer Selbstverpflichtung zu initiieren. Sie könnte beispielsweise über das UBA die relevanten Akteure kontaktieren und Vorschläge für eine Selbstverpflichtung erarbeiten lassen. Weitere Aktivitäten beschränken sich auf die Koordination des Prozesses, die Veranstaltung von Workshops etc. Eine aktives inhaltliches Mitgestalten und Eingreifen in den Prozess sollte aufgrund kartellrechtlicher Probleme unterlassen werden. Die Selbstverpflichtung von Herstellern bietet eine kostengünstige Alternative für die Bundesregierung, umweltfreundliche Aspekte bei der Abdeckung des Wärme- und Kältebedarfs zu berücksichtigen.

Umsetzungskosten:

Für die Umsetzungskosten der Maßnahme werden drei Workshops pro Jahr zu je 6.731 € veranschlagt. Die Gesamtkosten der Maßnahme belaufen sich somit jährlich auf 20.200 € (gerundet). Die Firmen müssten zwar häufiger zusammenkommen, die entstehenden Unkosten werden allerdings von den Firmen bzw. den Verbänden getragen (siehe Selbstverpflichtung der Halbleiterindustrie). Die Berechnungsgrundlage der Workshopkosten bezieht sich auf 50 Teilnehmer und ist bei der Beschreibung der Maßnahme M15 weiter aufgeschlüsselt.

M8: Anpassung relevanter Normen und Standards zum vermehrten Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahme ist die Reflexion der technischen Umsetzbarkeit zum Einsatz von KW-Kältemitteln im Bereich Normen und Standards und ggf. eine Intervention. Die Intervention erfolgt in Form inhaltlicher Veränderungsvorschläge existierender Normen und Standards, im Rahmen von Revisionsprozessen.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Hohe Relevanz besteht für Raumklimageräte und Kühl-Lkw (s. Tabelle 40).

Diskussion:

Eine Anpassung relevanter Normen und Standards wird als erforderlich erachtet, um den Einsatz von KW-Kältemitteln in der Praxis zu erleichtern (siehe Kapitel 4). Die nötigen Anpassungen betreffen vor allem die konservativen Füllmengenempfehlungen für KW-Geräte. Wie in Kapitel 4 dargestellt, entsprechen einige Normen und Standards nicht dem Stand der Technik für KW-Anwendungen.

Die Normen mit dem größten Überarbeitungsbedarf hinsichtlich des Einsatzes von KW-Kältemitteln in den Hauptanwendungen sind: DIN EN 378, ISO 5149, DIN EN 14276-1/2, DIN EN 60335-2-40. Die exakten Textpassagen mit Überarbeitungsbedarf und entsprechende Veränderungsvorschläge sind in Kapitel 4 dargestellt.

Umsetzungskosten:

Für die Erarbeitung von in den Ausschüssen akzeptierten Textpassagen ist die Teilnahme an den Sitzungen der entsprechenden Ausschüsse erforderlich. Über den Zeitaufwand für die

Gremienarbeit wurden die Kosten zur Umsetzung dieser Maßnahme quantifiziert. Relevante Gremien zu Standards und Normen, die eine aktive Mitarbeit erfordern, sind beispielsweise:

- Normungsgremien zu FNKä AA1 (Sicherheit)
- Arbeitsgruppen des VDMA 24020
- FNKä AA8 (Kältemittel)
- Gremien anderer Sektoren (z. B. Transportkälte AA10)
- TC182-WG6 (CEN Ebene zu EN378), Sitzungen jeweils 2-tägig

Der jährliche Aufwand wird mit 10 Personentagen für die Teilnahme an den Veranstaltungen (jeweils zwei Sitzungen pro Jahr mit Ausnahme von TC182-WG6) angesetzt. Unter Berücksichtigung der Vor- und Nachbereitung (Annahme: 9 Tage pro Jahr, d. h. 19 Tage insgesamt) summieren sich die Kosten dieser Maßnahme auf 19.000 € pro Jahr, bei einem Tagessatz von 1.000 €. Die Aktivitäten dieser Maßnahme sollten 3 bis 10 Jahre lang durchgeführt werden.

M9: Entwicklung eines neuen Standards zum vermehrten Einsatz von Kohlenwasserstoffen

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Die Maßnahme zielt auf die Entwicklung eines eigenen, neuen Standards ab. Dabei handelt es sich um eine Produktnormentwicklung, die sich auf KW-Geräte und Anwendungen bezieht oder auch auf das Kältemittel.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Empfehlenswert und hochrelevant ist die Entwicklung eines neuen Standards v. a. für Kühl-Lkw, da derzeit kein eigener Standard für diese Anwendung existiert (s. Tabelle 40).

Diskussion:

Kühl-Lkw werden derzeit im Rahmen der DIN EN 378 behandelt, die allerdings für stationäre Anlagen entwickelt wurde⁴⁹. Es gibt einen Konsens unter Fachexperten, dass die Transportkälte nicht unter der DIN EN 378 behandelt werden sollte, sondern ein eigener Standard zielführender wäre⁵⁰.

Es ist hervorzuheben, dass auch ein produktübergreifender Standard entwickelt werden kann, d. h. ein Standard, der mehrere KW-Anwendungen abdeckt und sich primär auf das Kältemittel bezieht. Der größte Nachteil dieses Ansatzes liegt in der Gefahr, produktspezifischen Aspekten nicht gerecht werden zu können.

Eine interessante Möglichkeit ist mit sogenannten „Vornormen“ gegeben, DIN SPEC (PAS). Mit dieser Möglichkeit ist aus Sicht des DIN eine Verbreitung der Marke DIN möglich und aus Sicht des Anwenders die schnelle Erarbeitung eines normenähnlichen Regelwerkes möglich. Für das hier erarbeitete Konzept bietet sich die Erarbeitung einer DIN SPEC Produktnorm bzw. DIN SPEC Brennbare Kältemittel (wie ehemals mit Entwurf DIN 7003 begonnen) an.

Umsetzungskosten:

⁴⁹ Manfred Burke (FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH), mündl. Mitteilung, 13.05.2013.

⁵⁰ Holger König, 30.09.2013, mündl. Mitteilung.

Erfahrungswerte zu den Kosten für eine Produktnormentwicklung liegen beispielsweise aus der Erarbeitung des VDMA Einheitsblattes 24247 (Energieeffizienz von Kälteanlagen) vor.

Zur Berechnung der Kosten einer Produktnorm müssen die verschiedenen Schritte zur Entwicklung berücksichtigt werden, die hier chronologisch aufgeführt sind:

- Entwurf der Produktnorm
- Präsentation der Produktnorm/ Revision mit relevanten Firmen der Industrie
- Revision
- Konsultationsprozesse
- Revision
- Finale Überarbeitung

Es kann von 120 Arbeitstagen ausgegangen werden (ca. ein halbes Jahr Arbeitszeit), über einen Zeitraum von zwei Jahren. Die Personalkosten belaufen sich bei einem Tagessatz von 1.000 € damit auf 120.000 €. Wenn der Prozess mit drei Workshops begleitet wird (jeweils 6.731 €), ist mit absoluten Gesamtkosten der Maßnahme von ca. 140.200 € (gerundet) zu rechnen. Die Berechnungsgrundlage der Workshopkosten bezieht sich auf 50 Teilnehmer und ist bei der Beschreibung der Maßnahme M12 weiter aufgeschlüsselt.

M10: Einführung eines Umweltzeichens bei Verwendung von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Die Maßnahme zielt auf die Förderung von Qualitäts- und Umweltprüfung zur Kennzeichnung von KW-Geräten. Durch die Entwicklung und Vergabe eines neuen Umweltzeichens für ausgewählte Anwendungen können, neben anderen umweltbezogenen Aspekten, KW-Kältemittel gefördert werden. Das Umweltzeichen „Blauer Engel“ ist beispielsweise eines der bekanntesten Umweltzeichen (UZ) weltweit und dient als Entscheidungshilfe für Verbraucher. Das UZ wird nach bestimmten Kriterien für nachweislich umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen vergeben. Im Januar 2013 wurde beispielsweise ein neues UZ eingeführt, der Blaue Engel RAL-UZ 179 „Klimafreundliche Verkaufsmärkte des Lebensmitteleinzelhandels“. Diese Vergabegrundlage fordert auch verbindlich den Einsatz natürlicher Kältemittel⁵¹.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Die Maßnahme ist für die Anwendungen Raumklimageräte hochrelevant. Auch für Wärmepumpen ist die Maßnahme denkbar, wobei es sich hierbei um eine Anpassung der Vergabegrundlage handeln würde, da mit dem RAL-UZ 118 bereits das UZ „Blauer Engel“ für Wärmepumpen vorliegt. Diese Anpassung ist möglich, wenn auch weniger relevant, da dieses Umweltzeichen derzeit keine breite Akzeptanz unter den Herstellern findet⁵², außerdem gibt bereits eine verpflichtende Ökodesign-Kennzeichnung⁵³, sowie das EHPA-Gütesiegel als konkurrierendes Label.

⁵¹ http://www.blauer-engel.de/de/blauer_engel/presse/newsletter/newsletter_33.php - topic2

⁵² S. Stahl (BMU), 26.09.2013, mündl. Mitteilung.

⁵³ Eine entsprechende Richtlinie ist am 26. September 2013 in Kraft getreten, zwei Jahre später (ab dem 26. September 2015) dürfen Wärmepumpen ohne Energielabel nicht mehr angeboten oder beworben werden

Die hohe Relevanz für Raumklimageräte leitet sich aus dem steigenden Bedarf (s. Kapitel 3) ab. Gleichzeitig liegen bisher wenige Umwelt- und Qualitätsprüfungen für KW-Geräte vor, die Eingang in die Produktkennzeichnung gefunden haben.

Auch wenn die Vergabe einer Qualitäts- und Umweltkennzeichnung für Flüssigkeitskühlsätze und Kühl-Lkw grundsätzlich möglich ist, ist die Vergabe bei diesen Produkten nicht unbedingt für eine breite Öffentlichkeit wirksam, sondern eher für gewerbliche und industrielle Endkunden. Aus diesem Grund ist die Maßnahme für die genannten Anwendungen weniger relevant.

Diskussion:

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme im Bereich Raumklimageräte, müsste die verbesserte Energieeffizienz von KW-Geräten hervorgehoben werden. Diese müsste ca. 10 %⁵⁴ über den Effizienzen liegen, wie sie in der Verordnung für Raumklimageräte bis 12 kW angegeben werden (ENER Lot 10, VERORDNUNG (EU) Nr. 206/2012). Für eine objektive Untersuchung der Energieeffizienz sind wissenschaftliche Untersuchungen unabhängiger Forschungsinstitute erforderlich. Diese müssten als vorbereitende Maßnahmen durchgeführt werden (s. M19) und sind notwendig, um Herstellerangaben hinsichtlich des Energieverbrauchs zu überprüfen. Es konnte beispielsweise festgestellt werden, dass der tatsächliche Energieverbrauch der effizientesten Kühlschränke in Japan 65 % über dem von Herstellern angegebenen Verbrauch liegt (Tsurusaki, Iwafune, Shibata, Murakoshi und Nakagami, 2006). Es ist zu prüfen, ob für Raumklimageräte ähnliche Verhältnisse gefunden werden.

Für die Vergabe eines neuen Umweltzeichens für Raumklimageräte müsste ein Neuvorschlag eingereicht und der Jury Umweltzeichen durch das Umweltbundesamt vorgelegt werden. Die Jury Umweltzeichen, die zweimal pro Jahr tagt, kann dann einen Prüfauftrag an das UBA vergeben. Ist dies erfolgt, ist im nächsten Schritt der Entwurf einer Vergabegrundlage zu erarbeiten. Im weiteren Verlauf des Verfahrens folgen in der Regel ein oder mehrere Fachgespräche und mindestens eine Expertenanhörung unter Vorsitz des RAL, wodurch Reisekosten der Beteiligten für ein bis zwei Anhörungen kalkuliert werden müssen⁵⁵. Der in der Expertenanhörung unter Vorsitz des RAL abschließend abgestimmte Entwurf muss dann der Jury Umweltzeichen vorgestellt werden, die über die Verabschiedung der Vergabegrundlage entscheiden muss.

Es existieren weitere Labels für Qualitäts- und Umweltkennzeichnung, die allerdings als weniger relevant für die Hauptanwendungen eingestuft werden:

EU Ecolabel

Die Kriterien für die Vergabe werden in einem Stakeholderprozess individuell für die jeweilige Produktgruppe festgelegt. Für Raumklimageräte gibt es derzeit keine Vergabekriterien und es sind auch keine zur Vorbereitung geplant⁵⁶. Daher können Raumklimageräte in absehbarer Zeit nicht mit der Euroblume zertifiziert werden. Prinzipiell besteht die Möglichkeit, neue Produktgruppen vorzuschlagen oder auch, Fachkenntnis vorausgesetzt, den Stakeholderprozess zu leiten. Über den ausgearbeiteten Kriterienentwurf stimmt das European Union Eco-labelling

⁵⁴ R. Engelhardt (BMU) und W. Plehn (UBA), Juli Bonn 2012, mündl. Mitteilung.

⁵⁵ Elke Kreowski (UBA), 06.05.2013, mündl. Mitteilung

⁵⁶ http://www.eu-ecolabel.de/produktgruppen-kriterien.html?&no_cache=1 für gültige Produktgruppen und http://susproc.jrc.ec.europa.eu/product_bureau/projects.html für Produktgruppen in Vorbereitung

Board (EUEB) ab. Bei einer positiven Entscheidung für das Label werden die Kriterien für die neue Produktgruppe im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht.

Stiftung Warentest und Ökotest

Die Stiftung Warentest arbeitet grundsätzlich unabhängig. Von externer Seite können zwar Testvorschläge gemacht werden. Ob und wann bestimmte Produkte getestet werden, entscheidet allerdings die Redaktion der Stiftung Warentest. Gleiches gilt für den Öko-Test. Da die Entscheidung zur Umsetzung einer solchen Maßnahme von Akteuren außerhalb der Bundesregierung getroffen wird, werden die Erfolgsaussichten als gering eingeschätzt.

Umsetzungskosten:

Zur Berechnung der Umsetzungskosten werden für die Erarbeitung der Vergabegrundlagen 15.500 € pro Monat veranschlagt. Die Erarbeitung der Vergabegrundlagen dauert ca. 1 bis 3 Monate, je nach Komplexität der zu betrachteten Anwendung. Da es bei Raumklimageräten um die Erarbeitung einer neuen Vergabegrundlage geht, werden 3 Monate veranschlagt. Für die Überarbeitung der existierenden Vergabegrundlage für Wärmepumpen werden 2 Monate angenommen. Reisekosten für Fachgespräche und Expertenanhörungen werden für 30 Personen mit jeweils 400 € pro Person berücksichtigt.

Damit ergeben sich absolute Gesamtkosten von 70.500 € für Raumklimageräte und 55.000 € für Wärmepumpen. Die Umsetzungsdauer liegt in der Größenordnung von einem Jahr.

Nach der Verabschiedung der Vergabegrundlage von der Jury Umweltzeichen entstehen dem Vergabeinstitut RAL GmbH laufende Kosten (v. a. Personalkosten) durch die Prüfung der Zeichenbenutzungsvergabe. Diese laufenden Kosten werden allerdings durch Firmen über das Jahresentgelt für die Zeichenbenutzung gedeckt⁵⁷ und müssen an dieser Stelle nicht weiter berücksichtigt werden.

M11: Druck und Verbreitung von Informationsbroschüren zum sicheren Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln und zu deren Vorteilen

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahme ist die Verbreitung von Informationsbroschüren an Klima- und Kältetechniker sowie Heizungsbauer in Deutschland und dient der Sensibilisierung und Aufklärung hinsichtlich des Einsatzes von KW-Kältemitteln. Ergebnisse aktueller Studien zur Brennbarkeit, zu Leckagemengen und zur Energieeffizienz (s. M19) sollten sich in der Informationsbroschüre wiederfinden und an alle Betriebe im Bereich Sanitär, Heizung und Klima versendet werden.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Hohe Relevanz besteht für Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze, geringe Relevanz für Raumklimageräte und Transportkälte (s. Tabelle 40). Den Service für Kühl-Lkw-Anlagen übernehmen in der Regel KFZ-Mechaniker mit entsprechenden Zusatzausbildungen, die von den Fachwerkstätten der großen Hersteller angeboten werden⁵⁸.

Diskussion:

⁵⁷ http://www.blauer-engel.de/de/unternehmen/kosten_vergabe/kosten_entgeltordnung.php

⁵⁸ H. König, 30.09.2013, mündl. Mitteilung

Diese Maßnahme ist v. a. sinnvoll für Personen, deren Ausbildung längere Zeit zurückliegt, und die damit nicht optimal über derzeitige Trends und Entwicklungen im Bereich natürlicher Kältemittel informiert sind.

Umsetzungskosten:

Die drei wesentlichen Kostenpunkte dieser Maßnahme entstehen durch Recherche, Redaktion und Layout, Druck des Informationsmaterials und Versand (Tabelle 15). Für Recherche, Redaktion und Layout zur Erstellung einer Broschüre werden je sechs Tage, also insgesamt ca. 18 Personentage, benötigt. Die Anzahl der zu druckenden Exemplare bezieht sich auf die Anzahl der Betriebe im Bereich Sanitär, Heizung und Klima, die im Jahr 2012 mit 53.199 angegeben werden (ZVSHK, 2013) und die Betriebe im Bereich der Kältetechnik. Da für Kältetechnikbetriebe keine exakten Zahlen vorliegen, wurde die Anzahl der Betriebe über das nach der Verordnung (EG) Nr. 303/2008 zertifizierte Personal bestimmt (23.800, in Schwarz *et al.*, 2011), unter der Annahme einer durchschnittlichen Mitarbeiterzahl von acht Personen pro Betrieb⁵⁹. Damit wird von 2.975 Betrieben in der Kältetechnik ausgegangen. Das Informationsmaterial wird somit an insgesamt 56.174 Betriebe versendet. Die Druckkosten werden mit 2.200 € (Auflage 5.000) berechnet. Die Versandkosten ergeben sich wiederum aus der Anzahl der Gesamtbetriebe. Damit entstünden absolute Gesamtkosten von 117.400 € (gerundet) für die Umsetzung dieser Maßnahme.

Tabelle 15: Kosten (€) für die Erstellung und Verbreitung von Informationsbroschüren

Kosten für Recherche, Redaktion und Grafik	Kosten für Druck	Kosten für Versand	Gesamtkosten (gerundet)
€	€	€	€
10.800	24.640	81.952	117.400

M12: Erarbeitung einer juristisch geprüften Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahme ist die Erarbeitung einer juristisch geprüften Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes. Das Produkthaftungsgesetz wird subjektiv häufig als schwerwiegendes Hindernis für den Einsatz von KW gesehen und entsprechend dargestellt. Im Rahmen dieses Projektes wurde die Problematik erläutert und zusammengefasst, welche Einschränkungen durch das Produkthaftungsgesetz tatsächlich gegeben sind (siehe Kapitel 5).

Relevanz für Hauptanwendungen:

Diese Maßnahme ist für alle Anwendungen gleichermaßen relevant.

Diskussion:

Aus einer Literaturrecherche (siehe Kapitel 5) ging hervor, dass der Konstruktionsfehler einer der wichtigsten Fehler ist, der zu einer verschuldensunabhängigen Gefährdungshaftung führen kann, und damit von zentraler Bedeutung für Produkthaftungsfragen ist. Eine Studie im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energie (Schweizer Bundesamtes für Energie, 1999) kommt zu dem Schluss, dass die Verwendung von KW als Kältemittel an sich kein Konstruktionsfehler ist - auch

⁵⁹ P. Bachmann (BIV), 02.09.2013, mündl. Mitteilung

dann nicht, wenn andere, nicht brennbare Alternativen zur Verfügung stehen. Damit kann es, unter der Voraussetzung, dass entsprechende Standards und Normen eingehalten werden, durch den Einsatz von KW-Kältemitteln nicht zu einer verschuldensunabhängigen Gefährdungshaftung kommen.

Es ist davon auszugehen, dass dieser Sachverhalt auf die Situation in Deutschland übertragbar ist. Zur Klärung des Sachverhalts wird eine juristisch geprüfte Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes als Maßnahme vorgeschlagen.

Umsetzungskosten:

Die Umsetzungskosten dieser Maßnahme sind über die Personalkosten für eine juristische Fachkraft zu erfassen. Nach Auskunft eines Juristen muss mit einem Zeitaufwand von ca. 5 Tagen gerechnet werden. Der Stundensatz einer juristischen Fachkraft liegt derzeit bei ca. 300 €⁶⁰, damit ergeben sich absolute Gesamtkosten von 12.000 €.

M13: Wanderausstellung zum sicheren Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln und zu deren Vorteilen

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel der Maßnahme ist die Organisation einer Wanderausstellung, die als Wissensmedium zur Vermittlung des erfolgreichen Einsatzes von KW-Kältemitteln in der Klima- und Kältetechnik dienen soll. Über eine Wanderausstellung kann die Thematik der KW-Kältemittel an unterschiedliche Zielgruppen herangetragen werden. Mögliche Ausstellungsorte sind z. B. Handwerksmessen und Verbrauchermessen.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Es besteht eine niedrige Relevanz für alle Anwendungen (siehe Tabelle 40).

Umsetzungskosten:

Bei dieser Maßnahme entstehen einmalige Kosten zur Produktion der Wanderausstellung und laufende Kosten, die sich nach dem Umfang der Ausstellung (betreuendes Personal), der Anzahl der Messen und dem Gesamtzeitraum richten.

Unter der Annahme eines Zeitaufwandes von insgesamt 9 Personentagen, davon 3 Tage für Konzeption, 2 Tage für Recherche und die Auswahl der Exponate, 3 Tage für die Neuerstellung von Infographiken o. ä., ergeben sich, bei einem Tagessatz von 600 €, zusammen mit den Kosten von 2.500 € für Druck bzw. Produktion, einmalig Gesamtproduktionskosten von 7.900 € (Tabelle 16).

Zu den laufenden Kosten zählen die Personentage für Projektsteuerung und Organisation (25 Personentage pro Jahr), die sich bei einem Tagessatz von 600 € auf 14.400 € belaufen. Weitere Kosten ergeben sich durch Standgebühren, Logistik, Personal- und Reisekosten. Damit werden die laufenden jährlichen Umsetzungskosten auf eine Höhe von 74.500 € geschätzt (Tabelle 16).

Die geschätzten Gesamtkosten summieren sich mit den einmaligen Kosten von 7.900 € auf 82.400 € für das erste Jahr. In den folgenden Jahren fallen dann jährliche Umsetzungskosten von 74.500 € an.

⁶⁰ Dr. Alexander Hoff (Kanzlei Bartsch, Karlsruhe), 11.03.2014, mündl. Mitteilung

Tabelle 16: Laufende Kosten einer Wanderausstellung pro Jahr

Einmalige Produktionskosten	Kosten für Projektsteuerung und Organisation pro Jahr	Standgebühr auf den Fachmessen, Auf-/Abbau, etc. (5 Veranstaltungen pro Jahr)	Kosten für Logistik, ggf. Versand der Exponate (5 Veranstaltungen pro Jahr)	Personal- und Reisekosten für Standbetreuung (durch je 2 Fachkräfte) 20 Fachkrafttage + Anreise, Unterkunft, Verpflegung	Gesamtkosten im ersten Jahr (gerundet)	Kosten in Folgejahren (gerundet)
€	€/a	€/a	€/a	€/a	€	€/a
7.900	14.400	45.615 ⁶¹	1.500	13.000	82.400	74.500

M14: Workshops zur Abstimmung und ggf. Anpassung von Ausbildungsinhalten von Klima- und Kältetechnikern

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahme ist eine bundesweite Abstimmung von Ausbildungsinhalten für Klima- und Kältetechniker. Relevante Ausbildungseinheiten und Innungsverbände eruieren in Workshops, ob die Thematik KW-Kältemittel (Vorteile, Sicherheit) derzeit in ausreichendem Maße Gegenstand der Ausbildung ist, ob ein Anpassungsbedarf der Ausbildungsinhalte besteht und ob es auf Länderebene Diskrepanzen bezüglich der Ausbildungsinhalte gibt, die ausgeglichen werden müssen.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Betroffen von dieser Maßnahme wären alle Anwendungen, mit Ausnahme der Transportkälte (siehe auch M11).

Diskussion:

Die Fach-Innungen bzw. Landesinnungen für Kälte- und Klimatechnik haben Ausschüsse, z. B. den Gesellenprüfungsausschuss oder den Berufsbildungsausschuss, innerhalb derer Ausbildungsinhalte diskutiert werden⁶². Außerdem gibt es zur Abdeckung eines qualifizierten Aus- und Weiterbildungswesens in Deutschland sieben innungseigene Fachschulen. Unter der Federführung des Bundesinnungsverbandes könnten die Landesinnungen und Vertreter von Fachschulen eingeladen werden, um sich hinsichtlich der KW-Ausbildungsinhalte auszutauschen.

Laut Herrn Bachmann⁶³ ist diese Maßnahme allerdings wenig relevant, da es, mit Ausnahme der Innung „Thüringen, Baden-Württemberg, Hessen“, einen bundesweiten Austausch der Landesinnungen gibt. Darüber hinaus werden jährliche Lehrertreffen und Schulleitertreffen der innungseigenen Schulen organisiert, bei denen ein regelmäßiger Austausch des Lehrangebotes stattfindet. Weiterhin ist die Fachgruppe FSKZ (Schulen und Kompetenzzentrum) zu erwähnen. Die FSKZ ist ein Arbeitskreis der innungseigenen Fachschulen. Im Rahmen der jährlichen

⁶¹ Die Kosten beziehen sich auf einen 24qm-Eckstand auf der „Chillventa“ für 3 Tage. Der Auf- und Abbau des Standes beläuft sich auf 3.500 €.

⁶² Thorsten Lerch (BFS Kälte Klima), 14.05.2013, mündl. Mitteilung.

⁶³ Peter Bachmann (BIV), 02.09.2013, mündl. Mitteilung.

Fachgruppensitzungen der BIV-Fachgruppe FSKZ werden u. a. aktuelle Trends und Entwicklungen diskutiert.

Bezüglich der Ausbildungsinhalte können die Landesinnungen zwar eigene Ausbildungsakzente setzen, der Rahmen ist allerdings durch die Ausbildungsverordnung vorgegeben, die die Lehre von natürlichen Kältemitteln vorschreibt. Auch eine Anpassung der Ausbildungsinhalte und stärkere Berücksichtigung von KW ist laut Herrn Bachmann nicht notwendig. Dieser Prozess findet derzeit auch ohne externe Intervention statt, da das Interesse an KW-Kältemitteln in den letzten Jahren stark gestiegen ist. Ausbildungsinhalte werden, forciert durch den Bundesinnungsverband, entsprechend angepasst.

Umsetzungskosten:

Die Umsetzungskosten dieser Maßnahme lassen sich über die Anzahl an Workshops bzw. die Anzahl an Workshoptagen berechnen, die notwendig wären, um einen entsprechenden Austausch zu initiieren. Die Workshopkosten belaufen sich auf ca. 6.700 €, ein Workshop erscheint ausreichend um den Anpassungsbedarf zu erörtern. Eine Aufschlüsselung der Kostenpunkte zur Organisation und Durchführung eines beispielhaft gewählten 2-tägigen Workshops mit 50 Personen in einem Tagungshotel findet sich in Tabelle 17. Für die Moderation wurden drei Personentage (inkl. Vor- und Nachbereitung) mit einem Tagessatz von 500 € veranschlagt. Für Konzeption, Logistik und Organisation rechnen wir mit vier Personentagen pro Workshop (Tagessatz von 345,20 €).

Falls ein Anpassungsbedarf von Ausbildungsinhalten festgestellt wird, müssen mehrere Workshops folgen, die genaue Anzahl kann derzeit allerdings nicht festgelegt werden.

Tabelle 17: Aufschlüsselung der Kosten für einen zweitägigen Workshop

Kosten für Veranstaltungsräume und -technik im Tagungshotel	Kosten für Catering (Mittagessen und Kaffeepause)	Kosten für Moderation inkl. Vor- und Nachbereitung	Materialkosten (Agenda, Einladungen, Porto)	Kosten für Dienstleistung: Konzeption, Logistik, Organisation	Kosten für Auslegematerial: Kugelschreiber, Notizblock, USB-Stick etc.	Gesamtkosten pro Workshop (gerundet)
€	€	€	€	€	€	€
2.300	1.200 ⁶⁴	1.500	100	1.381	250	6.700

M15: Schaffung einer fachlichen Anlaufstelle/Ansprechpartner, die als unabhängige Kompetenz- und Beratungsstelle für Kohlenwasserstoff-Kältemittel genutzt wird

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Ziel dieser Maßnahme ist es, eine fachliche Anlaufstelle zu schaffen, die als unabhängige Kompetenz- und Beratungsstelle für KW-Kältemittel in Anspruch genommen werden kann.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Diese Maßnahme wird als hochrelevant für Raumklimageräte, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen bewertet, da es bisher kein unabhängiges, objektives Beratungsangebot für den

⁶⁴ Das Reisekostenrecht (Stand: 2014) erlaubt Tagespauschalen für Verpflegung von 12 €, ab 8-24 Stunden (<http://www.reisekostenabrechnung.org/verpflegungsmehraufwand-2014/>).

Einsatz von KW-Kältemitteln gibt. Da sich das Angebot in erster Linie an Endanwender richtet ist es im Bereich Transportkälte, wo die Abnehmer der Kühlaggregate gewerbliche und industrielle Kunden (z. B. Bofrost, REWE) sind, weniger relevant.

Diskussion:

Informative Webseiten stehen bereits zur Verfügung (z. B. www.eurammon.com), die zur Verbreitung von Informationen hinsichtlich KW-Anwendungen/KW-Kältemittel dienen können. Diese Informationsseiten könnten verlinkt werden mit den Kontaktdaten entsprechender Ansprechpartner und Fachexperten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Anzeigen in namhaften Fachzeitschriften zu inserieren (z. B. „KK Die Kälte & Klimatechnik“ und „cci Zeitung“), um über KW-Anwendungen zu informieren oder auf die oben genannte zentrale Anlaufstelle aufmerksam zu machen.

Umsetzungskosten:

Die Gesamtkosten dieser Maßnahme setzen sich zusammen aus der Schaffung einer Vollzeitstelle, die beratend zur Verfügung steht, Kosten für Webseite/Online-Portal und den Kosten für entsprechende Anzeigen (Tabelle 18).

Die Vollzeitstelle wird mit 100.000 € pro Jahr angesetzt und stellt den größten Kostenpunkt innerhalb dieser Maßnahme dar. In die Berechnung der Kosten für die Webseite/Online-Portal fließen 2 Personentage für die jährliche Pflege ein, basierend auf einem Tagessatz von 600 €, sowie 8 Personentage zum selben Tagessatz als einmalige Kosten (4.800 €) für Recherche und Redaktion. Von diesen 8 Tagen entfallen 4 Tage für Recherche, Aufbereitung vorhandener Daten und Inhalte, sowie die Auswahl geeigneter Referenzprojekte. Die restlichen 4 Tage werden für die Redaktion der Inhalte benötigt.

Die Kosten für Anzeigen in Fachzeitschriften von 56.000 € setzen sich aus Inseratkosten von 4.000 € zusammen (eine einseitige Anzeige in der „cci Zeitung“ kostet beispielsweise 3.987 € in schwarz/weiß und in Farbe 5.167 €), und der Anzahl an Ausgaben pro Jahr (14 Ausgaben pro Jahr im Falle der cci-Zeitschrift).

Damit ergeben sich Gesamtkosten zur Umsetzung dieser Maßnahme von 162.000 € im ersten Jahr, und 157.200 € für die folgenden Jahre (Tabelle 18).

Tabelle 18: Kostenpunkte zur Schaffung einer fachlichen Anlaufstelle/Ansprechpartner inklusive der Gesamtkosten der Maßnahme

Kosten für Vollzeitstelle	Webseite/Online-Portal: Kosten für Recherche und Redaktion	Webseite/Online-Portal: Laufende Kosten für die Pflege der Webseite	Kosten für Anzeigen	Gesamtkosten im ersten Jahr (gerundet)	Kosten in Folge- jahren (gerundet)
€/a	€	€/a	€/a	€	€/a
100.000	4.800	1.200	56.000	162.000	157.200

M16: Workshops zu Fördermöglichkeiten (z. B. BAFA) für energieeffiziente Anlagen unter Berücksichtigung natürlicher Kältemittel

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahme besteht darin, über aktuelle Fördermöglichkeiten hinsichtlich des Einsatzes von energieeffizienter Technologie auf Basis natürlicher Kältemittel zu informieren.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Die Maßnahme ist für alle Anwendungen hochrelevant, für die bereits Fördermöglichkeiten bestehen, d. h. für Wärmepumpen, Raumklimageräte und Flüssigkeitskühlsätze. Die letztgenannten Anwendungen werden fallen unter das Förderprogramm für gewerbliche Klima- und Kälteanlagen.

Diskussion:

Neben den genannten Förderprogrammen gibt es auch zinsgünstige Darlehen und Tilgungszuschüsse von der KfW-Förderbank, im Rahmen des KfW-Programms „Erneuerbare Energien - Premium“. Der Bekanntheitsgrad wird allerdings eher gering eingestuft, was wiederholt bemängelt wurde⁶⁵. Aufklärungsworkshops bieten eine geeignete Möglichkeit, den Bekanntheitsgrad zu erhöhen.

Umsetzungskosten:

Die Kosten zur Veranstaltung von Workshops wurden bereits unter M14 aufgeführt (6.731 € pro Workshop). Die vorerst grobe Kostenschätzung kann auch hier als Richtwert verwendet werden. Es sollten mindestens zwei Workshop pro Jahr stattfinden, womit sich die Gesamtkosten auf 13.500 € (gerundet) pro Jahr belaufen.

M17: Einrichten eines KW-Forums analog zu „Runder Tisch Supermarktkälte“ (Veranstaltungsreihe vom UBA)

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Ziel dieser Maßnahme ist die Einrichtung eines KW-Forums, analog zum „Runder Tisch Supermarktkälte“. Dies soll als Informationsplattform zum sicheren Einsatz von KW-Kältemitteln in der Klima- und Kältetechnik dienen.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Es besteht eine niedrige Relevanz für alle Anwendungen (s. Tabelle 40). Es ist davon auszugehen, dass diese Maßnahme im Vergleich zu den anderen Maßnahmen weniger relevant ist, da kein tiefgreifender Austausch von Informationen zu erwarten ist, der die Teilnehmer zu einem Umdenken und damit Handeln bewegen würde. Erfahrungen aus der Veranstaltungsreihe „Runder Tisch Supermarktkälte“ haben gezeigt, dass es schwierig sein kann, die KW-Thematik adäquat in diesem Rahmen zu diskutieren.

Diskussion:

Mit der Einrichtung der Veranstaltungsreihe „Runder Tisch Supermarktkälte“ von BMUB und UBA ist es gelungen, unterschiedliche Interessengruppen aus Handwerk, Industrie, Handel, Betreiber, Wissenschaft und Bildungsinstitutionen für einen Interessen- und Informationsaustausch

⁶⁵ S. Stahl (BMU), 26.09.2013, mündl. Mitteilung.

zusammenzubringen. Im Vordergrund des jährlich stattfindenden Treffens stehen: Stand der Technik und neue Entwicklungen, Angebot und Nachfrage im Bereich der Supermarktkälte sowie aktuelle beeinflussende politische Regelungen und Hindernisse für den Einsatz natürlicher Kältemittel. Die Erfahrungen, die im Rahmen dieser Veranstaltungsreihe gesammelt wurden, können zur Ausgestaltung der Maßnahme verwendet werden.

Umsetzungskosten:

Die Umsetzungskosten lassen sich durch die Erfahrungen der Veranstaltungsreihe „Runder Tisch Supermarktkälte“ ableiten. Es werden pro Veranstaltung (jährlicher Turnus) 10 Personentage mit einem Stundensatz von 800 € berechnet. Diese schlüsseln sich folgendermaßen auf:

- Zusammenstellung des Programms (3 Tage)
- Organisation der Anmeldungen (2 Tage)
- Organisation von Raum, Technik und Verpflegung (2 Tage)
- Durchführung der Veranstaltung (1 Tag)
- Nachbereitung und Zusammenfassung der Ergebnisse (2 Tage)

Aus den Personentagen ergeben sich damit Kosten von 8.000 €. Hinzu kommen Verpflegungskosten von 300 € und Reisekosten für 2 Referenten mit insgesamt 500 €. Die Umsetzungskosten dieser Maßnahme liegen damit bei insgesamt 8.800 € pro Jahr.

M18: 60 %-Teilfinanzierung von Fortbildungsseminaren für Klima-und Kältetechniker und Heizungsbauer hinsichtlich des Einsatzes von KW-Kältemitteln

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Ziel dieser Maßnahme ist die Teilfinanzierung von Fortbildungsseminaren für Klima-und Kältetechniker und Heizungsbauer hinsichtlich des Einsatzes von KW-Kältemitteln. Durch das Bildungsangebot wird das Handwerk im Umgang mit KW-Kältemitteln geschult, womit ein sicherer Umgang gewährleistet wird.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Die Maßnahme ist hochrelevant für die Anwendungen Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze (siehe Tabelle 40).

Diskussion:

Sicherheitsaspekte stehen immer im Vordergrund, wenn es um den Umgang mit flammbaren Kältemitteln geht. Das Sicherheitsrisiko im Umgang mit KW-Geräten lässt sich durch ein entsprechendes Maß an Training minimieren. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, Fortbildungsseminare für Klima-und Kältetechniker hinsichtlich des Einsatzes von KW-Kältemitteln finanziell zu fördern. Bildungsangebote dieser Art werden häufig, aufgrund der hohen Kosten der Seminare und der finanziellen Verluste der Betriebe durch den Verdienstausschlag der Techniker, nicht wahrgenommen. Eine finanzielle Unterstützung der Betriebe verringert diese Hemmschwelle und fördert die Sektorqualifizierung.

Angesprochen von dem Bildungsangebot sind v. a. Kältetechniker, die vor längerer Zeit ihre Ausbildung absolviert haben, zu einer Zeit in der KW-Kältemittel eine untergeordnete Rolle spielten. Inhalte derartiger Seminare sind Kenntnisse über die Eigenschaften von KW-Kältemitteln, der Umgang und der Kreisprozess von KW-Kältemitteln, Sicherheitsmaßnahmen und Regelungen des Explosionsschutzes sowie gesetzliche Regelungen, Normen und Richtlinien.

Fortbildungsseminare im Bereich natürlicher Kältemittel werden derzeit sehr gut angenommen⁶⁶. Die hohen Kosten sind allerdings ein Hindernis, gerade für kleinere Betriebe⁶⁷.

Umsetzungskosten:

Die Umsetzungskosten ergeben sich aus den Kosten der Fortbildungsseminare, die in der Größenordnung von 700 bis 1.200 € liegen. Hinzu kommen die Kosten zur Erstattung finanzieller Verluste der Betriebe durch den Verdienstausschlag der Techniker.

Wir gehen für die Berechnung von 1.000 € für ein 2- bis 3-tägiges Fortbildungsseminar aus. Diese Kosten sollen zu 60 % finanziert werden. Wie bereits erwähnt, gibt es in Deutschland derzeit 56.174 Betriebe im Bereich Sanitär, Heizung, Klima- und Kältetechnik. Würde jeweils einem Mitarbeiter pro Betrieb dieses Bildungsangebot gewährt, würden sich die Umsetzungskosten auf einen zweistelligen Millionenbetrag belaufen. Da Gelder in dieser Höhe nicht zur Verfügung gestellt werden können, wird ein realistisches Budget von 6 Mio. € pro Jahr angenommen, womit ca. 5.480 Techniker ausgebildet werden können. Die Kosten setzen sich zusammen aus der 60 %-Teilfinanzierung der Fortbildungskosten, in Höhe von 3.288.000 €, und den Kosten zur Erstattung der finanziellen Verluste der Betriebe durch den Verdienstausschlag, in Höhe von 2.712.600 €.

Für die Berechnung des Verdienstausschlages wird das Monatsbrutto eines Technikers mit 3.300 € herangezogen. Der betriebliche Verlust durch Verdienstausschlag eines Technikers beläuft sich, für die Dauer eines dreitägigen Seminars, auf 495 €.

M19: Vergleichende Studie (Referenztechnologie und Alternativtechnologie) zur Untersuchung von Energieeffizienz, Brennbarkeit und Explosionsgefahr sowie Risikoabschätzung und anschließende Publikation der Ergebnisse

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Ziele dieser Maßnahme sind Untersuchungen KW-Geräte im Hinblick auf das Entstehen explosiver Atmosphären, Kältemittelverluste bei Defekten, assoziierte Risikoabschätzungen und Energieeffizienz sowie vergleichende Analysen zu Standard-HFKW-Anlagen. Diese Ergebnisse sollten in Peer Reviews überprüft (Institute for Scientific Information, ISI) und in entsprechenden Journalen oder anderen namhaften Fachzeitschriften der Klima- und Kältetechnik, wie beispielsweise die „KK Die Kälte & Klimatechnik“, „cci Zeitung“ oder „RAC Magazine“, publiziert werden, um sie einem breiten Publikum im nationalen und internationalen Kontext zur Verfügung zu stellen.

Diese Maßnahme im Bereich Forschung und Entwicklung steigert die Transparenz: Vorteile von KW-Anwendungen werden sichtbar gemacht; des Weiteren kann das tatsächlich bestehende Sicherheitsrisiko realistischer eingeschätzt werden als es derzeit der Fall ist.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Die Maßnahme ist für alle Hauptanwendungen gleichermaßen relevant (s. Tabelle 40). Im Bereich Wärmepumpen sind zwar kürzlich mehrere Studien zu dieser Thematik erschienen (z. B. Müller, Röllig, & Paatzsch, 2013), dabei wurden allerdings nur energetische, ökologische und ökonomische Vergleiche durchgeführt. Die oben genannten Aspekte waren nicht Gegenstand der Untersuchungen.

⁶⁶ P. Bachmann (BIV), 02.09.13, mündl. Mitteilung.

⁶⁷ R. Hühren, 03.05.13, mündl. Mitteilung.

Diskussion:

Die Verwendung von KW-Kältemitteln in den Hauptanwendungen ist im Hinblick auf das Entstehen explosiver Atmosphären, Kältemittelverlusten bei Defekten, assoziierte Risikoabschätzungen und Energieeffizienz bisher wenig untersucht worden. Es besteht ein großer Bedarf an wissenschaftlich fundierten Ergebnissen. Diese wären ebenfalls eine wichtige Hintergrundinformation für Anpassungsvorschläge von Normen (siehe M8, M9). Die Berechnungsgrundlage für konservative Füllmengenempfehlungen in Normen basieren beispielsweise auf der Annahme eines Kältemittelverlustes der gesamten Füllmenge. In wissenschaftlichen Forschungsarbeiten (siehe Zhang *et al.*, 2013) wurde allerdings festgestellt, dass selbst bei einem Rohrbruch nicht die gesamte Füllmenge austreten kann. Der starke Abfall der Druckdifferenz zwischen Umgebungsdruck und dem Kältemitteldruck im System sorgt dafür, dass in der Regel nur ca. 80 % der Füllmenge austritt.

Forschungsbedarf besteht ebenso im Hinblick auf die Energieeffizienz. Wie bereits erwähnt, kann der tatsächliche Energieverbrauch mehr als 50 % über den Herstellerangaben liegen (Tsurusaki, Iwafune, Shibata, Murakoshi und Nakagami, 2006). Für einen Vergleich von KW-Geräten und Standard-HFKW Geräten sind die Herstellerangaben somit nur bedingt verwendbar.

Umsetzungskosten:

Die Umsetzung dieser Maßnahme kann beispielsweise über die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) erfolgen, die auf derartige Untersuchungen spezialisiert ist. Die Umsetzungskosten ergeben sich aus der Präzisierung der Forschungsfragen zusammen mit Experten, der Ausschreibung der Studie und den Personalkosten zur Durchführung der Untersuchungen. Für die Ausschreibung werden 4 Tage angenommen, womit Kosten von 4.384 € entstehen. Die Kosten ergeben sich bei einem Stundensatz für, auf explosive Stoffe spezialisierte, BAM-Mitarbeiter von 137 €⁶⁸ und einem 8-Stunden-Tag. Zur Durchführung der Untersuchungen werden nach Schätzungen eines Fachexperten vom BAM⁶⁹ 40 Personentage benötigt. Der Personalaufwand bezieht sich auf das Versuchsdesign für die Untersuchung von Raumklimaanlagen und wird näherungsweise auch für Kühl-Lkw und Flüssigkeitskühlsätzen verwendet. Für die Untersuchungen ergeben sich Personalkosten von 43.840 €. Unter Berücksichtigung der Ausschreibungskosten sind absolute Gesamtkosten von 48.224 pro Anwendung zu erwarten.

Hinzu kommen die Kosten für die Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften. Unter der Annahme von zwei Publikation pro Jahr (Zeitaufwand pro Publikation 30 Tage inkl. Revision) ist zusätzlich mit 20.712 € pro Jahr zu rechnen, vorausgesetzt es fallen keine Journalgebühren an.

Die Gesamtkosten der Maßnahme belaufen sich damit absolut auf ca. 68.900 €.

M20: Erarbeitung eines Handlungsleitfadens zum Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in Wärmepumpen und zum Einsatz bisher nicht für diese Kältemittel zertifizierter Komponenten

Zielsetzung und allgemeine Beschreibung der Maßnahme:

Das Ziel dieser Maßnahme ist die Erstellung einer Handlungsleitfadens zum Einsatz von KW-Kältemitteln in Wärmepumpen und bisher nicht zertifizierten Komponenten. Aus dem Leitfaden

⁶⁸ <http://www.gesetze-im-internet.de/bamkosto/BJNR017480970.html>

⁶⁹ Hr. Holtappelt (BAM), 16.07.2013, mündl. Mitteilung.

soll hervorgehen, wie KW-Wärmepumpen mit mehr als 150 g Kältemittel, nach den derzeit gültigen Standards und Normen gebaut, installiert, betrieben und gewartet werden können. Zudem soll dargestellt werden, wie nicht zertifizierte Komponenten von End- und Teileherstellern zu prüfen sind, um einen Konflikt mit dem Produkthaftungsgesetz zu vermeiden.

Relevanz für Hauptanwendungen:

Hohe Relevanz besteht für die Anwendung Wärmepumpen

Diskussion:

Wie bereits in Kapitel 6.4 erläutert, stellen Normen und Standards derzeit keine zentrale Barriere für den Einsatz von KW-Kältemitteln in Wärmepumpen dar. Dennoch wird von Seiten der Hersteller argumentiert, dass Standards und Normen ein zentrales Hindernis sind. Aus diesem Grund soll ein Handlungsleitfaden erstellt werden, aus dem hervorgeht, wie KW-Wärmepumpen mit mehr als 150 g Kältemittel, gemäß der gültigen Normen und Standards gebaut, installiert, betrieben und gewartet werden können.

Eine weitere Barriere für den Einsatz von KW-Kältemitteln, die von Herstellern genannt wird, ist der Mangel an zertifizierten Komponenten. Deshalb sollte in dem Handlungsleitfaden dargestellt werden, ob diese Hürde tatsächlich besteht. Bei Kompressoren für Wärmepumpen beispielsweise muss unterschieden werden, ob es sich um voll- oder semihermetische Verdichter handelt. In den letzten Jahren sind zahlreiche semihermetische Verdichter auf Propanbasis freigegeben worden. Falls diese Hürde also nicht besteht, werden verfügbare und freigegeben Komponenten mit Angaben zu den Herstellern aufgelistet, andernfalls werden detaillierte Schritte angegeben, wie nicht zertifizierte Komponenten durch Teile- und Endhersteller zu prüfen sind, um nicht in den Konflikt mit dem Produkthaftungsgesetz zu kommen.

Umsetzungskosten:

Zur Berechnung der Umsetzungskosten werden die Personentage zur Erstellung des Leitfadens, sowie anschließende Kosten für Graphik und Layout, Druck und Versand berücksichtigt. Zur Erstellung des Leitfadens werden 260 Arbeitstage (ca. 1 Jahr) benötigt, bei einem Bruttotagesatz von 830 € ergeben sich damit Kosten von 216.580 €. Die Kosten für die Durchsicht und Prüfung durch den TÜV werden mit 20.000 € angesetzt. Kosten für Graphik und Layout belaufen sich auf 2.000 €; die Druckkosten belaufen sich auf 66.000 €, wenn 55.000 Exemplare gedruckt werden (für jeden Betrieb im Bereich Sanitär Heizung Klima ein Exemplar). Die Versandkosten machen 77.139 € aus, womit sich die absoluten Gesamtkosten der Maßnahme auf ca. 381.700 € belaufen (gerundet).

6.3 Zusammenfassende Darstellung der Umsetzungskosten

Die Umsetzungskosten der verschiedenen Maßnahmen sind in Tabelle 19 zusammengefasst. Die Umsetzungskosten der Maßnahmen entstehen vielfach für jede der betrachteten Anwendungen. Ausnahmen bilden die Maßnahmen M8, M12, M14, M15, M17 und M18, wo keine eindeutige Zuordnung zu einer Anwendung vorgenommen werden kann. Die Erarbeitung einer juristisch geprüften Rechtsauffassung des Produkthaftungsgesetzes würde sich beispielsweise auf alle Anwendungen auswirken. In dieser Übersichtstabelle wird nicht unterschieden, ob die Maßnahmen hochrelevant oder weniger relevant sind. Leere Felder zeigen an, dass die Maßnahme für keine der Anwendungen relevant ist.

Bei der derzeitigen Gestaltung der Maßnahmen entstehen die höchsten Umsetzungskosten bei Umsetzung der Maßnahmen M3 und M18. Bei dieser Betrachtung muss allerdings beachtet werden, dass es sich um jährliche Umsetzungskosten handelt. Einige Maßnahmen werden nach

einem Jahr abgeschlossen sein, andere sollten mehrere Jahre fortgeführt werden (z. B. M8 Anpassung von Normen).

Tabelle 19: Umsetzungskosten (€, gerundet) vorgeschlagener Maßnahmen in den vier Hauptanwendungen (Aufschlüsselung der Kosten, s. Kapitel 6.2). Bei den Umsetzungskosten handelt es sich teils um einmalig zu leistende Kosten und teilweise um jährliche Umsetzungskosten.

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahmen	Raum- klimageräte	Haushaltswärme- pumpen	Transport- kälte	Flüssigkeits- kühlsätze
M1	MAP Neuinstallation				
M2	MAP Altbestand				
M3	Kältemittelbonus (Wärmepumpe)		1.475.200		
M4	Deklaration des Kältemittels in der BAFA-Liste (Wärmepumpe)		3.500		
M5	Umweltfreundliche Beschaffung		39.500		39.500
M6	Vergünstigte Kredite				
M7	Selbstverpflichtung		20.200	20.200	20.200
M8	Anpassung von Normen	19.000*			
M9	Produktnormentwicklung	140.200	140.200	140.200	140.200
M10	Förderung von Qualitäts- und Umweltprüfung zur Kennzeichnung von KW-Geräten	70.500	55.000	70.500	70.500
M11	Informationsbroschüren für Klima- und Kältetechniker	117.400	117.400	117.400	117.400
M12	Rechtsauffassung über ProdHaftG	12.000*			
M13	Wanderausstellung	82.400	82.400	82.400	82.400
M14	Abstimmung von Ausbildungsinhalten	6.700*			
M15	Kompetenz - und Beratungsstelle	162.000*			
M16	Workshops zu Fördermöglichkeiten		13.500		13.500
M17	KW-Forum	8.800*			
M18	Finanzierung von Fortbildungsseminaren	6.000.000*			
M19	Vergleichende Studien: RefTech - und AT-Technologie und Publikation der Ergebnisse	68.900	68.900	68.900	68.900
M20	Handlungsleitfaden zum Einsatz von KW-Kältemitteln und bisher nicht zertifizierter Komponenten		381.700		

* Die Umsetzungskosten können keiner einzelnen Anwendung zugeordnet werden. Werden diese Maßnahmen umgesetzt, werden KW-Kältemittel in mehreren oder allen Anwendungen gefördert.

6.4 Entwicklung der Strategie, Maßnahmen und Instrumente

In diesem Kapitel wird das entwickelte Ablaufschema angewendet, das in Kapitel 6.1 vorgestellt wurde.

In einem ersten Schritt wurde eine umfassende Liste möglicher Maßnahmen zur Förderung von KW-Kältemitteln erstellt (Tabelle 14).

Der zweite Schritt bestand aus der Identifizierung der wichtigsten Barriere je Anwendung (siehe Kapitel 6.1.2). Tabelle 20 zeigt die wichtigsten Barrieren für den Einsatz von KW-Kältemitteln in Deutschland für die vier Hauptanwendungen.

Tabelle 20: Wichtigste Barriere für den Einsatz von Kohlenwasserstoff-Kältemitteln in Deutschland für die vier Hauptanwendungen

Zentrale Barriere	Investitions-kosten	Sektor-qualifizierung (Qualifizierung des Handwerks)*	Standards, Normen und Produkthaftungs-fragen	Wahrnehmung und Akzeptanz	Produkt-verfügbarkeit
Raumklimageräte			x		
Haushaltswärmepumpen				x	
Transportkühlung LKW			x		
Flüssigkeitskühlsätze	x			x	

* Es ist bekannt, dass die suboptimale Qualifizierung des Handwerks im Umgang mit natürlichen Kältemitteln eine Barriere in Deutschland darstellt, es fehlt allerdings an belastbaren Daten.

Im Gegensatz zur Situation in vielen Entwicklungsländern stellen Sektorqualifizierung und Produktverfügbarkeit in Deutschland nicht die größten Barrieren für die vier Anwendungen dar. Die Ausbildungsverordnung zum Mechatroniker für Kältetechnik schreibt vor, dass Lehrinhalte zu natürlichen Kältemitteln während der Ausbildung vermittelt werden müssen. Auch wenn dies in den letzten 20 Jahren nicht optimal in die Praxis umgesetzt wurde, wurden gerade in den letzten Jahren neue Akzente gesetzt und natürliche Kältemittel, inklusive KW, stärker in den Lehrplan integriert⁷⁰. Die treibende Kraft hierfür ist der Bundesinnungsverband (BIV). Im Bundesinnungsverband werden aktuelle Entwicklungen reflektiert. Unterstützt wird dies durch die Rückmeldungen aus den Betrieben, die ein steigendes Interesse an KW-Kältemitteln konstatieren. In den vier näher betrachteten Anwendungen stehen bereits heute KW-Geräte zur Verfügung oder könnten zeitnah serienmäßig produziert werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Barrieren für die Hauptanwendungen erläutert:

Raumklimageräte: KW-Geräte sind in Deutschland derzeit zwar nicht am Markt verfügbar⁷¹, dennoch ist die Produktverfügbarkeit nicht die größte Barriere, da Komponenten und Produkte in anderen Ländern, produziert und verkauft werden, wie beispielsweise durch die Firma Godrej in Indien. Aber auch andere Firmen wie GREE verfügen über KW-Geräte, wobei es sich im Falle der

⁷⁰ P. Bachmann (BIV), mündl. Mitteilung, 02.09.2013.

⁷¹ Eine Ausnahme bilden die mobilen Raumklimageräte, z. B. PAC WE 111/126, mit dem Kältemittel Propan von De'Longhi.

Split-Geräte auf R-290 Basis von GREE sogar um CE-gekennzeichnete Geräte handelt. Aus Kapitel 4 ging hervor, dass die konservativen Füllmengen, die für Raumklimageräte in bestehenden Normen empfohlen werden, die derzeit wichtigste Barriere für den vermehrten Einsatz von KW-Kältemittel in Raumklimageräten ist.

Haushaltswärmepumpen: KW-Kältemittel werden bereits in Haushaltswärmepumpen eingesetzt, z. B. von der Firma Hautech GmbH. Normen und Standards stellen keine zentrale Barriere für den Einsatz von KW dar, da bei entsprechender Belüftung und Einhausung Füllmengen von bis zu 5 kg zulässig sind, auch unter Erdgleiche. Dies entspricht einer Wärmeleistung von bis zu 50 kW und liegt damit sogar über dem Leistungsbereich einer konventionellen Haushaltswärmepumpe. Hier mangelt es allerdings vielen Herstellern an Bewusstsein, häufig werden Normen und Standards als die wichtigste Barriere genannt (ILK, 2013). Weitere Barrieren, die von Herstellern genannt werden, sind mangelnde Komponentenverfügbarkeit (v. a. Verdichter), die fehlende Freigabe der Komponenten für KW-Kältemittel und eine geringe Kundenakzeptanz aufgrund hoher Investitionskosten (ILK, 2013).

Die zentrale Barriere ist damit mangelnde Wahrnehmung und Akzeptanz bei Herstellern und in der Bevölkerung.

Kühl-Lkw: Wie bei Raumklimageräten sind KW-Produkte nicht auf dem deutschen Markt erhältlich. Es gibt eine KW-Pilotanlage der FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH. Eine Produktverfügbarkeit könnte auf dieser Basis aufgebaut werden. Die größte Barriere liegt aber im Bereich der Standards, Normen und Produkthaftungsfragen, sowie im bisher noch mangelnden Anreiz für die Hersteller zur Umstellung auf HFKW-freie Techniken. Dies belegen u. a. die Ergebnisse aus den Kapiteln 4 und 5.

Die DIN EN 378 wird zwar zur Beurteilung bei der Planung der Anlagen herangezogen, wurde allerdings für stationäre Kälteanlagen entworfen⁷². Fachexperten sind sich darüber einig, dass ein eigener Standard für den Bereich Transportkälte entwickelt werden sollte. Ebenso muss klargestellt werden, dass der Einsatz von KW-Kältemitteln nicht im Konflikt mit dem Produkthaftungsgesetz steht.

Marktanreizprogramme könnten zu einem späteren Zeitpunkt, wenn KW-Kühlaggregate erhältlich sind, zusätzlich dazu beitragen, dieser Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. Abzuwarten bleibt auch, wie sich die Verknappungsmaßnahmen für HFKW der neuen F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014), die ab 2015 gilt, auf die Innovationsanstrengungen der Anbieter auswirken.

Flüssigkeitskühlsätze: Ähnlich wie bei Haushaltswärmepumpen sind alternative Technologien mit KW-Kältemitteln in Deutschland erhältlich. Um den derzeitigen Empfehlungen durch Normen und Standards gerecht zu werden, sind allerdings zahlreiche Sicherheitsvorkehrungen wie Ventilation, Gasdetektoren etc. notwendig. Diese Sicherheitsvorkehrungen führen zu deutlich höheren Nettoinvestitionskosten. Die zusätzlichen Investitionskosten liegen bei mehr als 9.000 € pro Gerät und stellen damit die wichtigste Barriere für diese Anwendung dar. Es existiert bereits ein Marktanreizprogramm zur Förderung gewerblicher Klima- und Kälteanlagen⁷³. Dies umfasst ebenfalls Flüssigkeitskühlsätze⁷⁴. Aus diesem Grund werden keine weiteren Maßnahmen zum

⁷² M. Burke (FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH), 13.05.2013, mündl. Mitteilung.

⁷³ <http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kaelteanlagen/>

⁷⁴ <http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kaelteanlagen/index.html>

Abbau dieser Barriere vorgeschlagen. Die Barriere zweiter Priorität ist die mangelnde Akzeptanz und Wahrnehmung sowie die mangelnde Motivation führender Hersteller, sich mit dieser KW-Technologie auseinanderzusetzen. Existierende Normen könnten angepasst werden, stellen aber keine zentrale Barriere für den Einsatz von KW-Kältemitteln dar (siehe Kapitel 4).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass einem vermehrten Einsatz von KW-Kältemitteln im Wesentlichen zwei Barrieren im Wege stehen: Standards und Normen sowie Produkthaftungsfragen, außerdem mangelnde Wahrnehmung und Akzeptanz. Maßnahmen, um diesen Barrieren zu begegnen, stehen somit im Fokus dieses Vorhabens.

6.4.1 Maßnahmenbündel für die vier Hauptanwendungen

Durch die Anwendung des Ablaufschemas konnten Maßnahmen identifiziert werden, die zum Abbau der oben genannten Barrieren führen (Schritt 2). Nach Filterung der hochrelevanten Maßnahmen (Schritt 3) wurden Maßnahmenbündel für die vier Hauptanwendungen gebildet, die im Folgenden tabellarisch dargestellt sind. Unter Berücksichtigung der Kriterien Zeitpunkt der Wirksamkeit, Umsetzungsunsicherheit, Wirkungsabschätzung im Hinblick auf die Marktdurchdringung und damit den Klimaeffekt, sowie die Umsetzungskosten, wird eine finale Auswahl an Maßnahmen getroffen. Diejenigen Maßnahmen, die nicht weiter betrachtet werden, sind in den folgenden Tabellen in grauer Schrift dargestellt.

Raumklimageräte

Tabelle 21 zeigt das Maßnahmenbündel für Raumklimageräte. Die identifizierten Maßnahmen sind nur in ihrem Zusammenwirken sinnvoll: Um Normenarbeit aktiv mitzugestalten und Veränderungsvorschläge für den Bereich Raumklimageräte in relevante Gremien einzubringen, sind wissenschaftliche Untersuchung im Vorfeld zielführend. Die Ergebnisse sind für Veränderungsvorschläge existierender Normen nicht essenziell, können allerdings den Überarbeitungsbedarf untermauern, wenn bestimmte Textabschnitte und Empfehlungen nicht dem Stand der Technik entsprechen. Produkthaftungsfragen sind eng verknüpft mit dem Stand der (Sicherheits-) Technik, daher sollte auch diese Maßnahme parallel zur Normenarbeit stattfinden.

Tabelle 21: Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Raumklimageräte, zum Abbau der größten Barriere, die durch Standards, Normen und Produkthaftungsfragen gegeben ist

Klassifikation der Maßnahmen	Abkürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Zeitpunkt der Wirksamkeit ¹	Unsicherheit ²	Wirkungsabschätzung in Hinblick auf die Marktdurchdringung und damit den Klimaeffekt	Umsetzungskosten
Regulierung	M8	Anpassung von Normen	langfristig	***	hoch	19.000 €/a
Information/Regulierung	M12	Rechtsauffassung über ProdHaftG	mittelfristig	*	hoch	12.000 €
Forschung und Entwicklung	M19	Vergleichende Studien: RefTech - und AT-Technologie und Publikation der Ergebnisse	kurzfristig	*	mittel	68.900 €

¹ kurzfristig: in ca. 1 bis 2 Jahren, mittelfristig: in ca. 3 bis 5 Jahren, langfristig: > 5 Jahre

² im Hinblick auf erfolgreiche Umsetzung (* gering, ** mittel, *** hoch)

Dieses Maßnahmenbündel sollte begleitet werden von Maßnahmen zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz. Die Anwendung des Ablaufschemas führt zu folgender Vorauswahl (Tabelle 22):

Tabelle 22: Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Raumklimageräte zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz

Klassifikation der Maßnahmen	Abkürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Zeitpunkt der Wirksamkeit ¹	Unsicherheit ²	Wirkungsabschätzung in Hinblick auf die Marktdurchdringung und damit den Klimaeffekt	Umsetzungskosten
Information	M10	Förderung von Qualitäts- und Umweltprüfung zur Kennzeichnung von KW-Geräten	kurzfristig	**	mittel	70.500 €
Information/Bildung	M15	Kompetenz - und Beratungsstelle	kurzfristig	**	hoch	162.000 € ³

¹ kurzfristig: in ca. 1-2 Jahren, mittelfristig: in ca. 3 bis 5 Jahren, langfristig: > 5 Jahre

² im Hinblick auf erfolgreiche Umsetzung (* gering, ** mittel, *** hoch)

³ Diese Kosten fallen im ersten Umsetzungsjahr an, in den Folgejahren sind es 157.200 €/a. Des Weiteren entfallen die Kosten nicht alleine auf die Anwendung Raumklimageräte, zwei weitere Hauptanwendungen werden von dieser Maßnahme erfasst.

Der Effekt der Umsetzung von M15 (Kompetenz - und Beratungsstelle) auf die Marktdurchdringung wird höher eingeschätzt als bei M10 (Förderung von Qualitäts- und Umweltprüfung zur Kennzeichnung von KW-Geräten), womit M10 nicht bei der finalen Auswahl berücksichtigt wird. Die Umsetzungskosten von M15 sind zwar mehr als doppelt so hoch wie bei M10, die Umsetzung dieser Maßnahme M15 erfasst allerdings ebenfalls die Anwendungen Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze.

Haushaltswärmepumpen

Die wichtigste Barriere, die im Bereich Haushaltswärmepumpen identifiziert wurde, ist der Mangel an allgemeiner Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz. Tabelle 23 zeigt die möglichen Maßnahmen, die zum Abbau dieser Barriere führen.

Tabelle 23: Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Wärmepumpen, zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz

Klassifikation der Maßnahmen	Abkürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Zeitpunkt der Wirksamkeit ¹	Unsicherheit ²	Wirkungsabschätzung in Hinblick auf die Marktdurchdringung und damit den Klimateffekt	Umsetzungskosten
Fiskalisch	M3	Kältemittelbonus (Wärmepumpe)	kurzfristig	*	hoch	1.475.200 €/a
Fiskalisch/ Information	M4	Deklaration des Kältemittels in der BAFA-Liste (Wärmepumpe)	kurzfristig	*	gering	3.500 €
Fiskalisch	M5	Umweltfreundliche Beschaffung	kurzfristig	*	hoch	39.500 €
Information/ Bildung	M15	Kompetenz- und Beratungsstelle	kurzfristig	*	hoch	162.000 € ³
Information/ Bildung	M16	Workshops zu Fördermöglichkeiten	kurzfristig	*	mittel	13.500 €/a
Forschung und Entwicklung	M19	Vergleichende Studien: RefTech- und AT-Technologie und Publikation der Ergebnisse	kurzfristig	*	mittel	68.900 €
Information/ Bildung	M20	Handlungsleitfaden zum Einsatz von KW-Kältemitteln und bisher nicht zertifizierter Komponenten	kurzfristig	*	hoch	381.700 €

¹ kurzfristig: in ca. 1 bis 2 Jahren, mittelfristig: in ca. 3 bis 5 Jahren, langfristig: > 5 Jahre

² im Hinblick auf erfolgreiche Umsetzung (* gering, ** mittel, *** hoch)

³ Diese Kosten fallen im ersten Umsetzungsjahr an, in den Folgejahren sind es 157.200 €/a. Des Weiteren entfallen die Kosten nicht alleine auf die Anwendung Wärmepumpen, zwei weitere Hauptanwendungen werden von dieser Maßnahme erfasst.

Die Maßnahmen M3, M15, M16, M19 und M20 werden als finale Auswahl vorgeschlagen.

Die Maßnahmen mit dem zu erwartenden größten Effekt auf die Marktdurchdringung sind M3 (Einführung eines Kältemittelbonus), M5 (Umweltfreundliche Beschaffung), M15 (Kompetenz- und Beratungsstelle) und M20 (Handlungsleitfaden zum Einsatz von KW-Kältemitteln und bisher nicht zertifizierter Komponenten). Diese Maßnahmen weisen allerdings auch, mit Ausnahme von M5, die höchsten Umsetzungskosten auf. Die Maßnahme M15 geht von der Nutzung eines

existierenden Internetauftritts aus (z. B. Eurammon-Webseite). Die Schaffung eines eigenen Internetauftritts zum Thema KW-Kältemittel und deren Anwendungen ist zwar ebenso möglich, würde die bereits hohen Umsetzungskosten aber weiter steigern. Bei der Bewertung der Kosten ist darauf hinzuweisen, dass die Umsetzung von M15 auch zwei weitere Anwendungen abdeckt (Raumklimageräte und Flüssigkeitskühlsätze).

Sämtliche vorgeschlagenen Maßnahmen wirken kurzfristig und es besteht eine geringe Unsicherheit bei der Umsetzung der Maßnahmen.

Die Maßnahme M4 (Deklaration des Kältemittels in der BAFA-Liste) und M5 (Umweltfreundliche Beschaffung) werden bei der finalen Auswahl nicht berücksichtigt: M4 zeigt einen geringen Klimaeffekt und sollte eher begleitend zu M3 (Einführung eines Kältemittelbonus) umgesetzt werden. M5 ist für Flüssigkeitskühlsätze noch relevanter als für Wärmepumpen, und wird dort bereits bei der finalen Auswahl berücksichtigt.

Alle verbleibenden Maßnahmen bilden das vorgeschlagene Maßnahmenbündel.

Kühl-Lkw:

Die wichtigste Barriere für den vermehrten Einsatz von KW-Kältemitteln ist die Barriere „Standards, Normen und Produkthaftungsfragen“. Die Anwendung des Ablaufschemas führt zu folgender Vorauswahl an Maßnahmen, um dieser Barriere zu begegnen (Tabelle 24):

Tabelle 24: Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Kühl-Lkw, zum Abbau der größten Barriere, die durch Standards, Normen und Produkthaftungsfragen gegeben ist

Klassifikation der Maßnahmen	Abkürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Zeitpunkt der Wirksamkeit ¹	Unsicherheit ²	Wirkungsabschätzung in Hinblick auf die Marktdurchdringung und damit den Klimaeffekt	Umsetzungskosten
Regulierung	M8	Anpassung von Normen	langfristig	***	hoch	19.000 €/a
Regulierung	M9	Produktnormentwicklung	mittelfristig	**	hoch	140.200 €
Information/Regulierung	M12	Rechtsauffassung über ProdHaftG	mittelfristig	*	hoch	12.000 €
Forschung und Entwicklung	M19	Vergleichende Studien: RefTech - und AT-Technologie und Publikation der Ergebnisse	kurzfristig	*	mittel	68.900 €

¹ kurzfristig: in ca. 1 bis 2 Jahren, mittelfristig: in ca. 3 bis 5 Jahren, langfristig: > 5 Jahre

² im Hinblick auf erfolgreiche Umsetzung (* gering, ** mittel, *** hoch)

Die finale Auswahl sollte sich auf M9, M12 und M19 beschränken. M8 wird nicht für die finale Auswahl vorgeschlagen, da die Unsicherheit zur erfolgreichen Umsetzung dieser Maßnahme sehr hoch und der Umsetzungsprozess sehr langwierig ist, d. h. die Maßnahme erst langfristig wirkt. Dies liegt an langwierigen Abstimmungs- und Einigungsprozessen hinsichtlich der DIN EN 378 und ISO 5149, die entsprechend angepasst werden müssten. Auf der anderen Seite bleibt ungewiss, ob nötige Anpassungsvorschläge tatsächlich umgesetzt werden, da die Gremien aus diversen Interessensvertretern bestehen, die teilweise kein Interesse zeigen, KW-Kältemitteln vermehrt

in der Klima- und Kältetechnik einzusetzen. Das vorgeschlagene Maßnahmenbündel sollte, wie auch bei den Raumklimageräten, von Maßnahmen zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz begleitet werden. Die Anwendung des Ablaufschemas führt zu Vorauswahl lediglich einer Maßnahme: M19. Diese Maßnahme umfasst eine Studie zur Untersuchung von Energieeffizienz, Brennbarkeit und Explosionsgefahr von KW-Kältemitteln sowie Risikoabschätzung und anschließender Publikation der Ergebnisse. Die Maßnahme kann zeitnah umgesetzt werden. Die Umsetzungsunsicherheit dieser Maßnahme wird als gering eingestuft. Die Umsetzungskosten belaufen sich auf 68.900 €.

Flüssigkeitskühlsätze:

Die größte Barriere für einen vermehrten Einsatz von KW-Kältemitteln im Bereich der Flüssigkeitskühlsätze sind die hohen Investitionskosten. Da es bereits Förderprogramme wie MAPs und vergünstigte Darlehen gibt, sowie Bonusförderung von KW-Kältemitteln, wird diese Barriere im Rahmen des Projektes nicht weiter behandelt. Die Barriere mit zweiter Priorität ist der Mangel an allgemeiner Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz. Tabelle 25 zeigt die Vorauswahl an Maßnahmen zum wirksamen Abbau dieser Barriere.

Tabelle 25: Auswahl geeigneter Maßnahmen für die Anwendung Flüssigkeitskühlsätze, zur Förderung der allgemeinen Bewusstseinsbildung, Wahrnehmung und Akzeptanz

Klassifikation der Maßnahmen	Abkürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Zeitpunkt der Wirksamkeit ¹	Unsicherheit ²	Wirkungsabschätzung in Hinblick auf die Marktdurchdringung und damit den Klimaeffekt	Umsetzungskosten
Fiskalisch	M5	Umweltfreundliche Beschaffung	kurzfristig	**	hoch	39.500 €
Verpflichtungserklärungen	M7	Selbstverpflichtung	kurz bis langfristig	***	hoch	20.200 €/a
Information	M11	Informationsbroschüren für Klima- und Kältetechniker	kurzfristig	*	gering	117.400 €
Information/Bildung	M15	Kompetenz- und Beratungsstelle	kurzfristig	**	hoch	162.000 € ³
Information/Bildung	M16	Workshops zu Fördermöglichkeiten	kurzfristig	*	mittel	13.500 €/a
Forschung und Entwicklung	M19	Vergleichende Studien: RefTech- und KW-Technologie und Publikation der Ergebnisse	kurzfristig	*	mittel	68.900 €

¹ kurzfristig: in ca. 1-2 Jahren, mittelfristig: in ca. 3-5 Jahren, langfristig: > 5 Jahre

² im Hinblick auf erfolgreiche Umsetzung (* gering, ** mittel, *** hoch)

³ Diese Kosten fallen im ersten Umsetzungsjahr an, in den Folgejahren sind es 157.200 €/a. Des Weiteren entfallen die Kosten nicht alleine auf die Anwendung Flüssigkeitskühlsätze, zwei weitere Hauptanwendungen werden von dieser Maßnahme erfasst.

Für die finale Auswahl werden die Maßnahmen M5, M15 und M16 vorgeschlagen. Die Maßnahmen M7, M11 und M19 werden als nicht prioritär eingestuft.

Dies liegt an der hohen Umsetzungsunsicherheit für M7. Die Erfolgsaussichten einer Selbstverpflichtung hängen maßgeblich von der Motivation der Hersteller ab. Derzeit gibt es einige große Hersteller von Flüssigkeitskühlsätzen, die kein Interesse am Einsatz von KW-Kältemitteln haben. Wenn allerdings einzelne Hersteller bei Selbstverpflichtungen nicht beteiligt sind, ist eine Umsetzung in der Regel schwierig.

Positiv wirkt sich eine geringe Zahl von betroffenen Herstellern aus, die bestenfalls bereits in einem Verband organisiert sind. Die Kosten für eine Selbstverpflichtung für die öffentliche Hand sind zwar verhältnismäßig gering, da die Hauptarbeit durch den Verband und die Hersteller geleistet wird. Andererseits kann die Politik eine solche Maßnahme allenfalls anstoßen oder ggf. durch die Androhung anderer, beispielsweise ordnungsrechtlicher Maßnahmen forcieren. Ein erfolgreiches Beispiel aus der Praxis ist mit der Erarbeitung der freiwilligen Selbstverpflichtung der Halbleiterindustrie gegeben. Dieser Prozess dauerte ca. drei Jahre und involvierte zwölf Hersteller, die im Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) organisiert sind. Die eigentliche Arbeit wurde erst nach der Unterzeichnung geleistet. Seit 2007 trafen sich die 4 größten Hersteller ca. 25 mal, um die notwendigen Maßnahmen zur Emissionsreduzierung zu erarbeiten⁷⁵.

Ein anderes Beispiel aus der Praxis, das potenzielle Probleme bei der Umsetzung aufzeigt, liegt mit der Selbstverpflichtung zum Verzicht auf R-23 (teilfluorierte Kohlenwasserstoffe) im Brandschutz vor. Hier kam das Kartellamt zu der Ansicht, dass die Selbstverpflichtung andere Firmen „unbillig behindern“ könnte und es sich außerdem um einen Wettbewerb beschränkender Vereinbarung im Sinne von § 1 GWB und Art. 81 EGV handeln könnte.

Aus oben genannten Gründen wird eine Selbstverpflichtung nicht als Maßnahme vorgeschlagen.

M11 ist als eine optionale begleitende Maßnahme zu betrachten, die allerdings keinen großen Einfluss auf die Marktdurchdringung haben wird und daher keine Priorität hat.

M19 würde den Mangel an wissenschaftlichen Untersuchungen im Hinblick auf Leckagen, Risikoabschätzung und Energieeffizienz abdecken. Diese Untersuchungen sind allerdings für Flüssigkeitskühlsätze nicht so essenziell wie bei Raumklimageräten oder Kühl-Lkw, außerdem finden bei Flüssigkeitskühlsätzen Einzelabnahmen, die einen sicheren Betrieb garantieren. KW-Flüssigkeitskühlsätze werden bereits erfolgreich eingesetzt. Aus diesen Gründen wird die Maßnahme M19 nicht in die finale Auswahl übernommen.

Es verbleiben die Maßnahmen M5, M15 und M16, wobei erwähnt sei, dass die Maßnahme M15 (Kompetenz - und Beratungsstelle) in drei der vier Hauptanwendungen vorgeschlagen wurde.

⁷⁵ Dr. Markus Dietrich (ZVEI; Arbeitsgruppe zur Selbstverpflichtung in der Halbleiterindustrie), mündl. Mitteilung.

6.4.2 Bewertung der Maßnahmenbündel

Das CO₂-Reduktionspotenzial, das durch Umsetzung der im vorherigen Kapitel beschriebenen Maßnahmenbündel erreicht werden kann (ohne grau dargestellte Maßnahmen), wurde unter Verwendung der potenziellen Marktdurchdringungsraten berechnet und ist in Tabelle 26 dargestellt. Die größten Emissionsreduktionen sind bei den Anwendungen Raumklimageräte (hier v. a. VRF-Geräte) und Wärmepumpen gegeben, wobei für Wärmepumpen das maximale Wachstums-Szenario angenommen wurde, das dem Energieziel 2050 entspricht (siehe Kapitel 3).

Für einige Anwendungen ist das Einsparpotenzial im Jahr 2030 größer als im Jahr 2050. Dies ergibt sich durch unterschiedliche Marktdurchdringungsraten der KW-Technologie in Kombination mit der Lebensdauer der Geräte und der Größe des Bestandes. Die ersten beiden Faktoren beeinflussen die Geschwindigkeit mit der KW-Technologie Teil des Bestandes wird; der Bestand an sich entscheidet über die absolute Anzahl von KW-Geräte und damit über das Emissionseinsparpotenzial. Die größten Emissionseinsparungen ergeben sich aus vermiedenen Emissionen fluorierter Kältemittel. Die Einsparungen über den verminderten Energieverbrauch sinken bis 2050 kontinuierlich auf null, unter der Annahme, dass zu diesem Zeitpunkt der Strom in Deutschland aus regenerativen Quellen gewonnen wird. Kommen KW-Geräte nun zu einem frühen Zeitpunkt auf den Markt und werden damit Teil des Bestandes, können die Emissionseinsparungen im Jahr 2030 größer als im Jahr 2050 sein, da es zum ersten Zeitpunkt noch indirektes Emissionseinsparpotenzial gibt, im Jahr 2050 nicht mehr.

Dies kann an zwei Beispielen illustriert werden: Stagniert der Bestand und wird die technisch mögliche Marktdurchdringung der KW-Technologie bereits 2030 erreicht (z. B. mobile, steckerfertige Klimageräte), dann sinkt auch das Einsparpotenzial nach 2030. Steigt der Bestand stark an und wird die technisch mögliche Marktdurchdringung im Jahr 2030 noch nicht erreicht, steigt auch das Einsparpotenzial nach 2030 weiter an (z. B. Wärmepumpen).

Tabelle 26: Klimateffekt durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmenbündel, dargestellt durch das Emissionsreduktionspotenzial (direkte und indirekte Emissionen) für die Jahre 2030 und 2050

	Geräte und Anlagen	Jährliches Emissionsreduktionspotenzial im Jahr 2030 (tausend t CO ₂ -Äq.)	Jährliches Emissionsreduktionspotenzial im Jahr 2050 (tausend t CO ₂ -Äq.)
Raumklimageräte	mobile, steckerfertige Systeme	78,6	72,8
	Einfach-Split-Geräte	292,3	385,1
	Multi-Split- Geräte	90,9	111,6
	VRF-Geräte	340,2	616,5
Wärmepumpen	Heiz-Wärmepumpen	490,2	1211,4
Transportkälte	Kühl-Lkw	209,6	229,4
Flüssigkeitskühlsätze	Flüssigkeitskühlsätze (klein)	81,0	38,6
	Flüssigkeitskühlsätze (groß)	189,4	194,4

Die Emissionsreduktionen richten sich nach der derzeitigen Gestaltung des Referenzszenarios und des KW-Szenarios, den wiederum die aktuelle F-Gas Verordnung zugrunde liegt. Durch die kürzlich verabschiedete neue F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) kann eine Anpassung des Referenz- und des KW-Szenarios notwendig werden, was wiederum Auswirkungen auf die Emissionsreduktion hat. Die Auswirkungen zentraler Elemente der neuen F-Gas

Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) auf das Referenzszenario und das KW-Szenario werden in dieser Studie qualitativ diskutiert (siehe Anhang III).

Zur abschließenden Bewertung der Maßnahmenbündel sind in Abbildung 22 die Kosten-Nutzen-Effekte, sowie die Umsetzungskosten grafisch dargestellt (Schritt 6, Abbildung 21). Die Umsetzungskosten spiegeln den Aufwand der Maßnahmenbündel dar.

Die Gesamtvermeidungskosten sind für die Mehrzahl der Anwendungen negativ, d. h. aus ökonomischer Sicht sind die KW-Anwendungen zu bevorzugen. Lediglich Wärmepumpen und VRF-Geräte weisen positive Vermeidungskosten in einer Größenordnung von 20 bis 60 €/t CO₂ auf.

Durch das Wirken der in Kapitel 6.4.1 vorgestellten Maßnahmenbündel können im Jahr 2030 jährlich ca. 1.800 kt CO₂-Äq. eingespart werden (Abbildung 22). Der größte Anteil entfällt dabei auf die Anwendungen mit positiven Vermeidungskosten (Wärmepumpen und VRF-Geräte). Große Emissionsreduktionen können außerdem durch die Anwendungen Einfach-Split-Geräte, Kühl-Lkw und große Flüssigkeitskühlsätze erreicht werden. Hier liegt das jährliche Einsparpotenzial im Jahr 2030 für jeden Gerätetyp in der Größenordnung von 200 bis 300 kt CO₂-Äq.

Die höchsten jährlichen Umsetzungskosten ergeben sich bei dem Maßnahmenbündel zu Wärmepumpen (ca. 2 Mio €), gefolgt von den Maßnahmenbündeln der Anwendung Kühl-Lkw (212.000 €), Raumklimageräte (145.000 €) und Flüssigkeitskühlsätzen (107.000 €). Es ist zu beachten, dass Umsetzungskosten, die keiner einzelnen Maßnahme zugeordnet werden können (z. B. M12, Rechtsauffassung über ProdHaftG), anteilig angerechnet werden. Im Falle von M12 werden die Umsetzungskosten demnach gleichermaßen auf alle vier Anwendungen aufgeteilt, da M12 für alle Anwendungen relevant ist.

Die höchsten Kosten, sowohl Vermeidungs- als auch Umsetzungskosten, finden sich demnach, mit Ausnahme der VRF-Geräte, bei der Anwendung Wärmepumpe. Allerdings ist hier auch der größte Effekt im Sinne einer Emissionsreduktion zu erwarten.

Wesentlich geringere Vermeidungs- und Umsetzungskosten finden sich bei den restlichen Anwendungen, mit Ausnahme der VRF-Geräte: es können bei negativen Vermeidungskosten und Umsetzungskosten in Höhe von 107.000 bis 212.000 € pro Jahr insgesamt ca. 1.000 kt CO₂-Äq. pro Jahr reduziert werden.

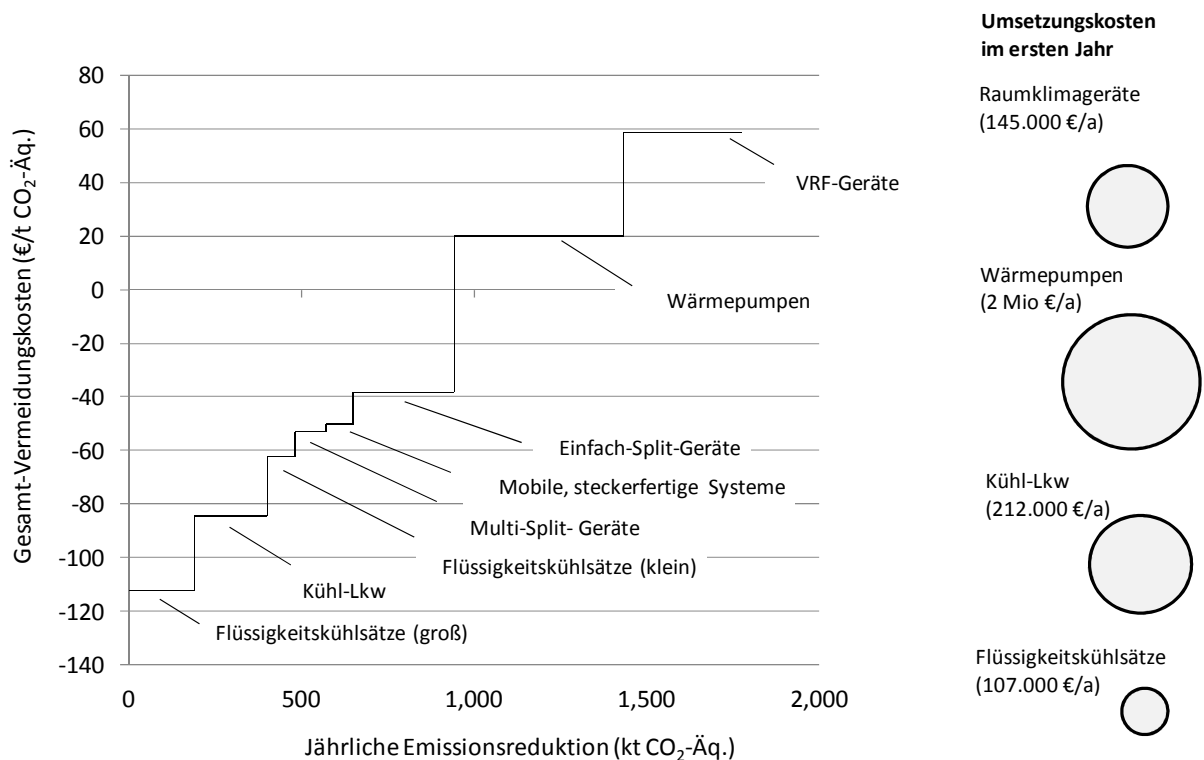


Abbildung 22: Grenzkostenkurve im Jahr 2030 für die Hauptanwendungen inklusive der Umsetzungskosten (rechts), die sich durch die Maßnahmenbündel ergeben. Die Größe der Kreise symbolisiert die Höhe der im ersten Jahr anfallenden Umsetzungskosten. In den Folgejahren ergeben sich geringere Umsetzungskosten.

Die Grenzkostenkurve für das Jahr 2050 zeigt ein ähnliches Ergebnis und wurde deshalb nicht dargestellt. Der einzige Unterschied besteht in dem jährlichen Emissionsreduktionspotenzial (x-Achse der Abbildung 22). Dieses steigt von jährlich ca. 1.800 kt CO₂-Äq. im Jahr 2030 auf ca. 2.900 kt CO₂-Äq. im Jahr 2050. Die relativen Beiträge der einzelnen Anwendungen bleiben erhalten.

7 Quellenverzeichnis

- Aynur, T.N. (2010): Variable refrigerant flow systems: A review. *Energy and Buildings*, Vol. 42(7).
- ADAC (2013): Kraftstoff Durchschnittspreise. <http://www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/kraftstoffpreise/kraftstoff-durchschnittspreise/default.aspx>. (Stand: 22.04.2013).
- AHT (2013): Natural Refrigerant Cost Saving Solution for commercial freezers. <http://www.hydrocarbons21.com/knowledge/papersView/1426> (Stand: 27.08.2013).
- Burke, M., Grosskopf, P. (2011): Development of environmentally friendly transport refrigeration machines. The 23rd IIR international congress of refrigeration (ICR), Prag, Tschechien.
- BWP (2011): BWP-Branchenstudie 2011 - Szenarien und politische Handlungsempfehlungen. http://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bwppublication/2012-08-23_MK_Branchenprognose2011.pdf.
- BWP (2012): Pressemitteilung Absatzzahlen 2012. http://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bwppublication/2013-01-17_BWP-PI_Absatzzahlen_2012_BDH.pdf.
- BWP (2013): BWP-Branchenstudie 2013 - Szenarien und politische Handlungsempfehlungen. http://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bwppublication/2013-11-20_Branchenprognose_2013.pdf
- Carrier (2013): Efficient and sustainable container refrigeration applications using CO₂. Presentation for the Umweltbundesamt, Dessau.
- Colbourne, D. (2008): Some aspects related to the application of hydrocarbon refrigerants, Conference Talk UNEP ECA Meeting, 2008, Tirana.
- Colbourne, D. *et al.* (2010): Guidelines for the Safe use of Hydrocarbon Refrigerants, GIZ Proklima, Eschborn. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3962.pdf>.
- Colbourne, D., Hasse, V., Usinger, J. & Grammig, T. (unpublished): Options and implications of replacing HCFCs with natural refrigerants in China.
- DfT (2010): Freight Best Practice - Cooling cost and boosting Efficiency through Eco-friendly Refrigeration. Department for Transport, Government of the United Kingdom.
- EcoDesign 2008 Draft Lot 10 Task 2 (2008): Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation) - Draft Report of Task 2, July 2008 - Economic and Market analysis. Adnot J., Grignon-Masse L., Legendre S., Marchio D., Nermond G., Rahim S., Riviere P., Andre P., Detroux L., Lebrun J., L'Hoest J., Teodorose V., Alexandre J.L., Sa E., Conroy A., Hitchin R., Pout C., Thorpe W., Karatasou S. Im Auftrag von Directorate General Enterprise, Europäische Kommission.
- EcoDesign (2012): Sustainable Industrial Policy - Building on the Ecodesign Directive - Energy-using product group analysis/2. Lot 6 Air-conditioning Systems; Final report of Task 2 - Air-conditioning products July 2012. Adnot J., Riviere P., Spadaro J., Hitchin R., Pout C., Kemna R., Van Elburg M., Van Holstein R. Im Auftrag von Directorate General Enterprise, Europäische Kommission.
- EHPA (2012): Outlook 2012 - European Heatpump Statistics. Preview. European Heat Pump Association.
- European Commission (2011): Impact Assessment Board.
- Ewert, T. (2013): Natürliche Emissionsminderung. CCI Zeitung, Ausgabe 04/2013.

- FNKä (2012): Jahresbericht 2012. Normenausschuss Kältetechnik (FNKä). DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- Godrej (2013): Development and Handling of Hydrocarbon Air-conditioners - The Godrej Experience. <http://www.hydrocarbons21.com/knowledge/papersView/1434> (Stand: 27.08.2013).
- Greenpeace (2010): Cool Technologies: Working without HFCs-2010. http://www.totalaction.com.au/wp-content/uploads/2011/01/GREENPEACE_COOL-TECHNOLOGIES-2010-Dec.pdf.
- Gschrey, B., Schwarz, W., Kimmel, T., Jörß, W., Schumacher, K., Cludius, J. (2014): Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006. Entwurf des Abschlussberichtes (unveröffentlicht). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungskennzahl FKZ 3711 43 324.
- GZB (2010): Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes - Bestandsaufnahme und Trends. Geothermiezentrum Bochum - Hochschule Bochum, Studie im Auftrag des Zentrums für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).
- Haier (2013): R-290 R&D Report, Haier Air Conditioners. <http://www.hydrocarbons21.com/knowledge/papersView/1435> (Stand: 27.08.2013).
- Hasse, V. (2008): Natural Refrigerants. GIZ Proklima, Eschborn.
- Hermann, A. (2012): Rechtsgutachten Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung. Öko-Institut e.V. im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungskennzahl 3709 95 301.
- Hopf, Jens- Uwe (2013): BISTECH Fachinformationen, Beratungs- und Informationssystem für Technologietransfer im Handwerk, <http://fachinfo.bistech.de/drucken/727/Begriffe+der+Normung>
- ILK (2013): Institut für Luft- und Kältetechnik Gemeinnützige Gesellschaft mbH, Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungskennzahl (UFOPLAN) 3709 41 319/2.
- IPCC Report (2007): Climate Change 2007. Working Group I: The Physical Science Basis. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html.
- Jwo, C-S., Ting, C-C., Wang, W-R. (2009): Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants. Measurement, Vol. 42(5): 697-701.
- KBA (2011): Fachartikel: Emissionen und Kraftstoffe. Kraftfahrt-Bundesamt. http://www.kba.de/nn_1157760/DE/Statistik/Fahrzeuge/Publikationen/Fachartikel/emission__20110315,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/emission_20110315.pdf.
- Kauffeld, M. (2011): Refrigeration Technologies for the 21st Century, Presentation, Karlsruhe University of Applied Sciences.
- Kauffeld, M. (2012): Availability of low GWP alternatives to HFCs, Environmental Investigation Agency.
- Kauffeld, M. (2014): Dezentrale steckerfertige Kühlgeräte: Vergleich von Energieeffizienz, Sicherheit, Kosten und Zuverlässigkeit sowie Bewertung der Marktverfügbarkeit von Geräten ohne fluorierte Kältemittel als Basis für die Revision der Verordnung (EG) 842/2006. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. In Bearbeitung.

- Matthes, F. Chr., Gores, S., Harthan, R.O., Mohr, L., Penninger, G., Markewitz, P., Hansen, P., Martinsen, D., Diekmann, J., Horn, M., Eichhammer, W., Fleiter, T., Köhler, J., Schade, W., Schlomann, B., Sensfuß, F., Ziesing, H.-J. (2009): Politiksznarien für den Klimaschutz V - auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030, FKZ 206 42 106, UBA-FB 001308.
- Müller, M., Röllig, P., & Paatzsch, R. (2013): Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln. Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige GmbH, Dresden. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Aufgabenschwerpunkt - Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungskennzahl (UFOPLAN) 3709 41 319/2 Wärmepumpen.
- Schwarz W., Gschrey B., Leisewitz A., Herold A., Gores S., Papst I., Usinger J., Oppelt D., Croiset I., Pedersen P.H., Colbourne D., Kauffeld M., Kaar K., Lindborg A. (2011): Preparatory Study for a review of Regulation (EC) 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, http://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/docs/2011_study_en.pdf.
- Schwarz, W., Gschrey, B., Kimmel, T., Leisewitz, A., Sauer, J. (2013): Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen - Modelle zur Ermittlung der Inventardaten für die Emissionsberichterstattung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF₆) in ausgewählten Quellgruppen. Im Auftrag des Umweltbundesamts, FKZ 363 01 351.
- Schweizer Bundesamt für Energie (1999): Ammoniak und Kohlenwasserstoffe als Kältemittel: Risikoanalyse, Produkthaftpflicht und Strafrecht.
- Shecco (2012): Natural refrigerants market growth for Europe.
- Tsurusaki, T., Iwafune, Y., Shibata, Y., Murakoshi, C., & Nakagami, H. (2006): Actual Energy Consumption of Top-Runner Refrigerators in Japan. In P. Bertoldi, B. Kiss, & B. Atanasiu (Eds.), Energy efficiency in domestic appliances and lighting - Proceedings of the 4th international conference EEDAL 2006 (Vol. 1).
- UBA, (2010): Fluorierte Treibhausgase vermeiden - Wege zum Ausstieg.
- UBA (2012): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>.
- UNEP (2003): Report of the Refrigeration, Air-Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (TOC), 2002 Assessment.
- UNEP (2010): Report of the Refrigeration, Air-Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (TOC), 2010 Assessment.
- UNEP (2010): Alternatives to HCFCs in the refrigeration and air conditioning sector.
- UNFCCC (2000): UNFCCC Guidelines, FCCC/CP/1999/7, February 2000.
- Vollmann, M. (1996): Einsatz natürlicher Kältemittel und Risiken einer Produkthaftung. Ki Luft- und Kältetechnik, Jg.:32, Nr. 12.
- WWF (2009): Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: vom Ziel her denken. Erstellt von Prognos, Öko-Institut e.V. Basel/ Berlin 2009.
- Zhang, W., Yang, Z., Li, J., Ren, C.-x., Lv, D., Wang, J., Zhang, X., Wu, W. (2013): Research on the flammability hazards of an air conditioner using refrigerant R-290. International Journal of Refrigeration, Vol 36(5): 1483-1494.

Anhang

I. Weiterführende Informationen zu den Anwendungsbereichen

Die folgenden Kapitel geben Informationen zu diesen Aspekten der Anwendungsbereiche:

- a. Einsatzbereiche
- b. Standardmäßig verwendete Kältemittel
- c. Emissionsbeitrag
- d. Alternative Kältemittel
- e. Marktsituation heute und zukünftig
- f. Bewertung

I.1 Haushaltskälte

Diese Anwendung umfasst Kühlschränke und -truhen. Sämtliche deutsche Hersteller von Geräten in der Haushaltskälte verwenden bereits KW als Kältemittel (R600a). Nur ein geringer Anteil von importierten Geräten (geschätzt ca. 1 %) enthält noch HFKW.

Die Kältemittlemissionen betrugen im Jahr 2011 1,8 kt CO₂-Äq. (Daten Öko-Recherche)

Die Umstellung auf KW führt zwar zu Mehrkosten durch zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen aufgrund der Flammbarkeit, andererseits ist die Entsorgung der Geräte kostengünstiger, sowie die KW-Kältemittel an sich. Kühlschränke und -truhen benötigen relativ geringe Füllmengen; daher ist das Problem der Brennbarkeit von KW gut handhabbar. Des Weiteren weisen KW-Geräte eine bessere Energieeffizienz auf (Jwo, 2009).

Daher und vor dem Hintergrund des im Rahmen der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 geplanten Verbots für HFKW-haltige Haushaltsgeräte muss der Einsatz von KW in diesem Bereich nicht weiter gefördert werden.

I.2 Gewerbekälte

Die Gewerbekälte kann in drei Unterbereiche aufgeteilt werden: steckerfertige Systeme, Gewerbekälte-Zentralanlagen und Verflüssigungsätze.

Steckerfertige Systeme liefern geringe Kälteleistungen und werden beispielsweise als Getränkeautomaten oder Flaschenkühler verwendet. Steckerfertige Geräte enthalten momentan noch überwiegend R134a als Kältemittel, insbesondere außerhalb des Lebensmitteleinzelhandels und der Gastronomie (Kauffeld, 2014). Werden niedrigere Temperaturen benötigt, kommen auch R404A oder R507A als Kältemittel zum Einsatz. KW-Geräte sind erhältlich und werden zunehmend eingesetzt.

Die durch diese Geräte verursachten direkten Emissionen sind, relativ zu den Emissionen der Gewerbekälte, gering. Allerdings steigt der Bestand steckerfertiger Systeme; im Jahr 2008 wurden in Supermärkten 385.000 Stück (UBA, 2010) installiert. Die gesamten Kältemittlemissionen von steckerfertigen Geräten beliefen sich im Jahr 2011 auf 61,67 kt CO₂-Äq. (Daten Öko-Recherche).

KW-Geräte sind bereits auf dem Markt verfügbar und führende Unternehmen haben sich selbst verpflichtet ihren Bestand umzustellen (beispielsweise im Rahmen der Selbstverpflichtung des

Consumer Goods Forums). Es ist davon auszugehen, dass sich die auf KW basierende Technologie in den kommenden Jahren durchsetzen wird. Die erwartete Marktdurchdringung für die KW-Technologie schätzen Experten für das Jahr 2015 bereits auf etwa 50 %. Zusätzliche Maßnahmen für den vermehrten Einsatz von KW werden daher als nicht erforderlich bewertet. Deshalb wird diese Anwendung nicht als Zielanwendung in diesem Projekt bearbeitet.

Gewerbekälte-Zentralanlagen werden meistens in Supermärkten eingesetzt und sind charakterisiert durch ein verzweigtes Leitungssystem, zahlreiche Verbindungsstellen und damit relativ hohe Kältemittelverluste. Die Anlagen in Supermärkten oder Discountern unterscheiden sich unter anderem durch ihre Größe. Das Standard-Kältemittel dieser Anlagen ist R404A.

Die Kältemittlemissionen betrugen im Jahr 2011 1877,1 kt CO₂-Äq. (Daten Öko-Recherche).

Es gibt die Möglichkeit, KW als alternative Kältemittel in Kombination mit CO₂ oder Sole als Kälte-träger einzusetzen. Grundsätzlich stellen Gewerbekälteanlagen mit zentraler Kälteanlage eine sinnvolle und lohnende Anwendung für KW dar. Zudem begünstigt die einfache Anlagentechnik eine Verbreitung durch das Handwerk. Die KW-Technologie ist bei einigen Supermarktbetreibern bereits erprobt, auch wenn es noch Unsicherheiten und damit Hemmnisse für die Marktdurchdringung durch regulative und haftungsrelevante Vorgaben bei KW gibt. Des Weiteren stehen diese Anlagenkonzepte aktuell in Konkurrenz zu CO₂-Anlagen. CO₂-Anlagen werden in zahlreichen Supermärkten bereits eingesetzt und haben sich als effiziente und sichere Alternative zu HFKW behauptet.

Alternative CO₂-Anlagen mit Kaskade weisen zwei Kreisläufe auf. Ein erster Kältekreislauf kühlt CO₂ als Kältemittel. Kälte-träger ist eine Sole, die die Kälte an die NK-Möbel verteilt sowie den zweiten Kältekreislauf vorkühlt. Im zweiten Kältekreislauf wird CO₂ als direkt verdampfendes Kältemittel für die Tiefkühlung eingesetzt.

Aufgrund der sich in diesem Bereich bereits vorhandenen Marktdynamik und dem verbreiteten Einsatz natürlicher Kältemittel in Neuanlagen werden die gewerblichen KW-Zentralanwendungen nicht als Schwellentechnologie eingestuft und eine weitergehende Untersuchung im Rahmen der Studie wird nicht vorgenommen.

Verflüssigungssätze werden beispielsweise in Fleischereien, Bäckereien oder Restaurants verwendet. Die installierte Kühlleistung ist geringer als die der Gewerbekälte-Zentralanlagen. Als Kältemittel werden R404A und 134a zu gleichen Teilen eingesetzt.

Die direkten Emissionen aus dem Einsatz von HFKW in Verflüssigungssätzen haben mit geschätzten 335 kt CO₂-Äq. einen signifikanten Anteil an den Kältemittlemissionen des Kältesektors in Deutschland. Deshalb bietet die Umstellung auf KW ein hohes Reduktionspotenzial.

Die Anwendung von KW ist bei direkten Systemen⁷⁶ aufgrund von Sicherheitsaspekten bei der Füllmenge auf kleinere Systeme begrenzt. Falls Sicherheitsaspekte durch neue Techniken oder Sicherheitskonzepte verbessert würden, könnte ein größeres Spektrum mit KW abgedeckt werden. Auch indirekte Systeme können eingesetzt werden, wobei KW als primäre Kältemittel in Kälteaggregaten eingesetzt werden können (Schwarz *et al.*, 2011, Annexes).

⁷⁶ Direkte Systeme: Verdampfer befindet sich im zu kühlenden Raum.

Die Anlagen sind keine fabrikfertigen Systeme, sondern sie werden vor Ort montiert. Verbunden mit den Anforderungen an die Sicherheitstechnik wird dadurch eine Umstellung auf KW erschwert. Aus diesem Grund werden Verflüssigungssätze nicht als Hauptanwendung betrachtet.

Verschiedene Geräte für den kommerziellen Bereich gibt es unter anderem von AFM, AHT UK, Carrier, Husky, TECO SRL und Vestfrost⁷⁷.

I.3 Transportkälte

Transportkälte wird benötigt, um Lebensmittel auf Transportwegen zu kühlen oder tiefgefroren zu halten. Dieser Sektor gliedert sich in die Bereiche kleinere Kühlfahrzeuge vom Typ Transporter und größere Lkw und Anhänger mit eigenem Kälteaggregat, sowie Kühlcontainer, die hauptsächlich im internationalen Schiffsverkehr eingesetzt werden⁷⁸.

Die Kältemittlemissionen von gekühlten Straßenfahrzeugen (Kleine Kühlfahrzeuge, größere Lkw und Anhänger) sind relativ hoch, sie betragen im Jahr 2011 243,82 kt CO₂-Äq. (Daten Öko-Recherche).

Kleinere Kühlfahrzeuge (Transporter), bei denen die Kompressoren der Kälteanlagen über den Motor angetrieben werden, verwenden ein Antriebskonzept wie im Pkw. Das Standardkältemittel ist R134a. Wie auch im Pkw bestehen Sicherheitsbedenken beim Einsatz von KW. Die Autoindustrie hat sich derzeit gegen den Einsatz von KW als Kältemittel ausgesprochen, was die Chancen einer Markteinführung von KW-Technologie für Transporter belastet. Allerdings wird dabei oft übersehen, dass bei getrennten Systemen die Verwendung von KW zur Kühlraumkühlung weniger Sicherheitsrelevanz hat, als der Passagierraum. Derzeit wird nicht an einer Erprobung von KW für Transporter gearbeitet, damit handelt es sich nicht um eine Schwellentechnologie.

Größere Lkw und Anhänger mit eigenem Kälteaggregat (Kühl-Lkw) sind innerhalb des Transportsektors für den Hauptteil der Kältemittlemissionen verantwortlich. In Deutschland waren 2013 etwa 72.900 temperaturgeführte Lkw (über 2 t) und Anhänger zugelassen⁷⁹. Als Kältemittel werden hauptsächlich R410A und R404A verwendet. Lkw haben getrennte Kreisläufe für Klimatisierung der Fahrgastzelle und Kühlung des Transportkühlraumes, deshalb stehen Sicherheitsbedenken für den Einsatz von KW für die Kühlung nicht im Vordergrund (KW zirkulieren nicht im Motor- oder Passagierraum). Nach Expertenschätzungen ist mit 80 % eine hohe Marktdurchdringung von KW-Techniken bis zum Jahr 2030 möglich. Maßnahmen zur Sicherheit im Kühlaufbau sind bereits erprobt oder in vergleichbaren stationären Anwendungen im Einsatz. Deshalb wird die Kühlung mit KW als Schwellentechnologie eingestuft.

Kühl-Lkw mit Fahrzeugkälteanlagen, die mit KW betrieben werden, werden von der deutschen Firma FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH angeboten.

⁷⁷ Eine ausführliche Auflistung von verschiedenen Herstellern für die verschiedenen Anwendungsfelder ist in Greenpeace (2010) zu finden.

⁷⁸ Da sich Kühlcontainer (reefer) während ihrer Nutzungsdauer überwiegend auf Schiffen auf hoher See befinden, ist eine direkte Zuordnung ihrer Kältemittelverluste zu bestimmten Ländern nicht möglich. Im Zentralen System Emissionen (ZSE) wird eine quantitative Zuordnung zu Deutschland über den Anteil am Welthandel praktiziert

⁷⁹ Daten vom VDKL (Verband Deutscher Kühlhäuser und Logistikunternehmer e.V.): <http://www.vdkl.de/branchen-infos/kuehltransport.html>

Fahrzeugkälteanlagen mit dem Kältemittel CO₂ wurden in den letzten Jahren in wenigen Prototypen erprobt. Derzeit läuft ein Versuch in Großbritannien bei einem Discounter⁸⁰.

In Kühlcontainern werden hauptsächlich R134a und zum geringen Anteil R404A als Kältemittel eingesetzt. Kältemittlemissionszahlen für Deutschland liegen nicht vor, da Kühlcontainer international transportiert werden.

In den letzten Jahren wurden CO₂-Kälteanlagen als Alternative in mehreren Containern im regulären Schiffsbetrieb verschiedener Schiffsgesellschaften getestet. CO₂ hat bei den Temperaturbedingungen auf See in der Gesamtbilanz den gleichen Energieverbrauch wie R134a Anlagen (Carrier, 2013).

Da Kühlcontainer über nationale Grenzen hinweg und meist auf internationalen Gewässern transportiert werden, gelten internationale Regeln und Vorschriften für den Einsatz von Kältemitteln. Die Einführung von KW als Kältemittel ist im Rahmen einer nationalen Strategie aufgrund der vorhandenen Komplexität schwierig umzusetzen. Von Seiten der Schiffsgesellschaften bestehen zudem Sicherheitsbedenken gegen den Einsatz von brennbaren Kältemitteln in Containern. Kühlcontainer werden deshalb nicht in die nähere Betrachtung einbezogen.

1.4 Flüssigkeitskühlsätze

Flüssigkeitskühlsätze sind in der Regel standardisierte, kompakte Systeme, die nicht wie Verflüssigungssätze vor Ort aus Einzelkomponenten zusammengebaut werden.

Flüssigkeitskühlsätze decken einen breiten Bereich von möglichen Kälteleistungen ab, von 1 kW bis über 3.000 kW. Die Kältemittlemissionen der Flüssigkeitskühlsätze betrugen im Jahr 2011 299,48 kt CO₂-Äq. (Daten Öko-Recherche).

Etwa drei Viertel der Geräte werden zur Klimatisierung verwendet, und das verbleibende Viertel zur Prozesskühlung⁸¹. Als Kältemittel werden vorwiegend R134a, R407C und R410A, zu einem geringen Anteil auch NH₃ verwendet.

Die Kältemittlemissionen im Jahr 2011 werden mit 299,48 kt CO₂-Äq. angegeben (Daten Öko-Recherche).

Eine Umstellung auf KW lässt sich bei entsprechender Anwendung von Maßnahmen zur Aufstellung und Einhausung sicherheitstechnisch gut realisieren. Alle zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen beim Einsatz von KW Kältemitteln (z. B. Explosionsschutzmaßnahmen) erhöhen allerdings die Investitionskosten von KW- Flüssigkeitskühlsätzen. Auch die momentan geringe Stückzahl der produzierten Anlagen verteuert ihre Anschaffung.

Im Leistungsbereich über 200 kW Kälteleistung ist NH₃ zwar eine erfolgreich genutzte Alternative zu HFKW, aus Kostengründen wird Ammoniak aber hauptsächlich in höheren Leistungsbereichen (über ca. 750-1200 kW Kälteleistung) eingesetzt. In den Leistungsbereichen unter 750 kW Kälteleistung könnten preisgünstigere KW-Flüssigkeitskühlsätze einen signifikanten Marktanteil erreichen. Obwohl teilweise schon im Markt, zählen Flüssigkeitskühlsätze mit KW-Technologie

⁸⁰ http://www.carrier.com/carrier/en/us/news/news-article/sainsbury_s_trials_world_s_first_naturally_refrigerated_trailer.aspx

⁸¹ UBA-Expertengespräch, BMU Bonn, 2012

immer noch zu den Schwellentechnologien und könnten mit besserer Marktdurchdringung einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung der direkten und indirekten Emissionen im Kälte- und Klimatisierungssektor beitragen. Eine mögliche Förderung von KW-Flüssigkeitskühlsätzen ist daher im unteren Leistungsbereich sinnvoll. Die Grenze wird bei 1 MW gezogen, weil ab diesem Bereich Ammoniak eine konkurrenzfähige Alternative darstellt.

Hersteller für Flüssigkeitskühlsätze, in denen KW zum Einsatz kommen, sind u.a. Frigoteam, Bundgaard Køleteknik A/S, HKT Goeldner, SRS Frigadon und York (Johnson Controls).

1.5 Raumklimageräte

Die Verbreitung von Raumklimageräten in Form kompakter Geräte oder Split-Klimageräte nimmt schnell zu und führt momentan bereits zu verhältnismäßig hohen Kältemittlemissionen in Deutschland (Jahr 2011: 326,41 kt CO₂-Äq.; Daten Öko-Recherche), die in Zukunft weiter steigen werden. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Systeme, je nach Größe und Verwendungszweck.

Für die unteren Leistungsklassen mit Kälteleistungen bis 4,8 kW werden bereits Geräte mit KW produziert (Godrej, 2013), leistungstärkere Geräte sind in der Entwicklung. Die Kältemittelfüllmengen können in hohen Leistungsklassen durch entsprechendes Design der Geräte stark reduziert werden. Damit sinkt gleichzeitig das Sicherheitsrisiko. Entsprechende Anpassungen von Normen und Standards könnten den Einsatz von KW Kältemitteln weiter steigern. Sogenannte „Alternative Sicherheitsmaßnahmen“ (s. DIN EN 378-1) für A3-Kältemittel könnten in Zukunft eine wie derzeit bei den A1- und A2-Kältemitteln praktizierte Absperrung von Anlagebereichen und Komponenten erlauben.

Mobile Klimageräte sind steckerfertige Systeme, die mit einem Abluftschlauch ausgestattet sind und mobil zwischen Räumen bewegt werden können. Momentan wird hauptsächlich R410A eingesetzt. Da hier relativ kleine Füllmengen (ca. 350 g) benötigt werden, ist der Einsatz von KW (z. B. R290) gut möglich.

Split-Geräte werden in Wohnhäusern oder in kleinen kommerziellen Gebäuden (z. B. Büros) eingesetzt. Sie bestehen aus zwei Elementen: der Verdampfer befindet sich im Inneren der Gebäude, Kompressor und Kondensator außerhalb der Gebäude. Split-Geräte können unterteilt werden in „Einfach-Split-“ und „Multi-Split-“Geräte, je nachdem ob ein oder mehrere Verdampfer (Innengeräte) angeschlossen sind. Als Kältemittel wird derzeit überwiegend R410A eingesetzt. Geräte mit R290 als Kältemittel sind bereits produziert. Raumklimageräte werden zum größten Teil aus Asien importiert. Dort wurden mit technischer Unterstützung der HEAT GmbH im Rahmen eines durch die Internationale Klimaschutzinitiative (IKI) des BMUB geförderten Projekts, unter Führung der GIZ, jeweils eine Produktionslinie der größten Hersteller in China und Indien umgestellt. Die Umstellung weiterer 18 Produktionslinien in China ist bereits geplant. Auf diese Weise wurde durch den chinesischen Hersteller Gree ein Einfach-Split-Gerät auf R290 Basis mit einer Leistung von etwa 3 kW entwickelt und produziert. Diese Erfahrungen werden bei der zu entwickelnden Strategie von großem Nutzen sein. Aus den genannten Gründen wird dieser Sektor als eine der Hauptanwendungen ausgewählt.

Aufgrund der durchschnittlich größeren Füllmengen bei Multi-Split-Geräten sollten beim Einsatz von KW-Kältemittel sekundäre Kreisläufe mit Sole genutzt werden. Unter Multi-Split-Geräte fallen auch VRF-Geräte (variable refrigerant flow). Dies sind Multi-Split-Geräte, die durch die Möglichkeit einer variablen Kältemittelverteilung bei Teillastbetrieb ein erhebliches Energieeinsparpotenzial aufweisen (Aynur, 2010).

Geräte zur stationären Klimatisierung mit KW werden z. B. von Benson, deLonghi, Futron, Godrej, Gree und Johnson Controls hergestellt und vertrieben.

I.6 Heiz-Wärmepumpen

Heiz-Wärmepumpen sind ein expandierender Bereich in Deutschland. Im Jahr 2012 wurden etwa 59.500 Anlagen installiert, das entspricht etwa einem Viertel der Heizungssysteme in Neubauten. Der vermehrte Einsatz von Wärmepumpen wird außerdem mit dem Energieziel 2050 der Bundesregierung forciert und durch das sogenannte Marktanreizprogramm⁸² gefördert. Beim Verdampfungsprozess des Kältemittels in Heiz-Wärmepumpen wird die Wärme dem Erdreich, der Umgebungsluft oder dem Grundwasser entzogen. In Ein- oder Zweifamilienhäusern werden in der Regel Wärmepumpen kleinerer Leistung bis maximal 35 kW eingesetzt. Als Kältemittel kommen vorwiegend R410A und R407C zum Einsatz, in geringen Anteilen auch R4104 und R134a zum Einsatz. Die Emissionen fluorierte Kältemittel aus Heiz-Wärmepumpen betrugen im Jahr 2011 65,7 kt CO₂-Äq. (Daten Öko-Recherche). Allerdings weisen Heiz-Wärmepumpen ein technisch hohes Potenzial für den Einsatz von KW auf. Diese Anwendung ist für eine Umstellung auf KW zudem interessant, da die Füllmengen vielfach unter 1,5 kg liegen⁸³. Die sicherheitsrelevanten Bedingungen für Installation und Wartung der Anlagen sind bekannt. Werden die Systeme im Keller (also unter der Erde) installiert, ist der Einsatz von KW gemäß der derzeitigen Regelung und ohne maschinelle Belüftung nur in geringen Füllmengen (<1 kg) erlaubt. Mit einer Außenaufstellung der Geräte kann diese Limitierung umgangen werden. Bei Installation unter der Erde können Gaswarngeräte die Sicherheit verbessern. Die technisch maximale Marktdurchdringung KW-Wärmepumpen liegt im Jahr 2030 bei 80 %. Seit 2012 sind für alle Wärmequellen (Wasser, Luft, Erdreich) KW-Geräte auf dem deutschen Markt erhältlich, deren Jahresarbeitszahlen (JAZ) vergleichbar sind mit den derzeit besten HFKW-Geräten. Sicherheitsrelevante Bedingungen für Installation und Wartung der Anlagen sind bekannt. Deshalb wurde die Förderung der Wärmepumpen als Hauptanwendung von KW-Techniken festgelegt.

Wärmepumpen mit KW als Kältemittel werden unter anderem von Hauteq GmbH, Acalor, Bundgaard Køleteknik A/S, De'Longhi, HKT Goeldner, Mayekawa und Nibe vertrieben.

I.7 Industrielle Kälte

In diesem Bericht sind in der Anwendung „industrielle Kälte“ Anlagen in der lebensmittelverarbeitenden Industrie und Prozesskälteanlagen erfasst.

In der industriellen Kälte werden momentan hauptsächlich Ammoniak (häufig in Verbindung mit CO₂) und HFKW mit sehr geringem Anteil als Kältemittel eingesetzt. KW spielen in ausgewählten Bereichen eine Rolle, beispielsweise in Chemieanlagen bei der Chlorverflüssigung und dem Flüssiggastransport. Entsprechende Anlagen sind Stand der Technik. NH₃-Kälteanlagentechnik wird derzeit weiterentwickelt und vermutlich werden sich in der industriellen Kälte keine wesentlichen Marktverschiebungen ergeben. Folglich wird diese Anwendung nicht weiter betrachtet.

⁸² Informationen zur Förderung energieeffizienter Wärmepumpen unter http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/waermepumpen/index.html.

⁸³ Die in Tabelle 29 angegebene Durchschnittsfüllmenge von 1,9 kg ergibt sich aus der Verteilungskurve der Füllmengen. Vor allem kleinere Heiz-Wärmepumpen bleiben aber unter 1,5 kg Füllmenge

Kohlenwasserstoffe sicher als Kältemittel einsetzen

Tabelle 27: Übersicht über Kosten und Kältemittlemissionen verschiedener Referenzgeräte- und anwendungen sowie deren Kohlenwasserstoff-Alternativen (Daten Öko-Recherche, 2013)

	Geräte und Anlagen	Kältemittel Referenz-technik	KW-Kältemittel Alternative Technik	Lebensdauer [Jahre]	Leckage-rate im Betrieb	Referenz Technologie							Alternatives KW-System							Direkte und indir. Emissions-einsparungen bei Umstellung auf alternatives System [t CO ₂ -Äq./a]
						Betriebskosten [€/a]	Investitionskosten [€/a]	Gesamtkosten [€/a]	Direkte Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -Äq./a]	Energieverbrauch [kWh/a]	Indirekte Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -Äq./a] bei 0,58 kg CO ₂ /kWh	Direkte und indir. Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -Äq./a]	Betriebskosten [€/a]	Investitionskosten [€/a]	Gesamtkosten [€/a]	Direkte Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -Äq./a]	Energieverbrauch [kWh/a]	Indirekte Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -Äq./a] bei 0,58 kg CO ₂ /kWh	Direkte und indir. Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -Äq./a]	
Gewerbekälte	Steckerfertige Systeme	R134a	R600a / R290	10	1,0%	380	120	500	0,04	1.800	1,0	1,1	370	140	510	0	1.800	1,0	1,0	0,04
	Gewerbekälte-Zentralanlagen (Supermarktanlagen)	R404A / R134a	KW + CO ₂ + CO ₂ -Kaskade KW + Sole + CO ₂ -Kaskade	14	8,1%	38.000	30.700	68.700	70,00	175.200	100	170,0	34.200	36.400	70.600	25	162.100	94	94,0	75,96
						38.000	30.700	68.700	68,30	175.200	100	168,3	35.800	35.000	70.800	10	169.900	99	98,6	69,75
	Gewerbekälte-Zentralanlagen (Diskounteranlagen)	R404A / R134a	KW + CO ₂ Kälte-träger KW + Sole	10	8,1%	15.500	10.400	25.900	23,40	70.100	41	64,1	13.700	12.300	26.000	18	64.800	38	37,6	26,46
						15.500	10.400	25.900	23,40	70.100	41	64,1	14.700	11.800	26.500	18	69.400	40	40,3	23,79
	Verflüssigungs-sätze	R404A / R134a	R290 KW + Sole	12	5,0%	3.100	410	3.510	0,70	14.600	8	9,2	3.000	590	3.590	0	14.200	8,2	8,2	0,93
						3.100	410	3.510	0,70	14.600	8	9,2	3.000	550	3.550	0	14.500	8,4	8,4	0,76
Transportkälte	Lkw	R404A / R410A	R290	10	10,5%	11.200	2.500	13.700	2,30	29.000	17	19,1	10.700	2.800	13.500	1	28.000	16	16,2	2,88
Flüssigkeitskühlsätze	Verdichter (klein)	R410A	R290	15	2,8%	11.100	1.900	13.000	2,20	52.100	30	32,4	10.100	2.700	12.800	1	46.900	27	27,2	5,21
	Verdichter (groß)	R134a	R290	15	2,8%	50.800	6.500	57.300	8,70	240.000	139	147,9	45.700	9.100	54.800	8	216.000	125	125,3	22,61
	Turboverdichter	R134a	R290	15	2,8%	109.200	9.400	118.600	19,30	600.000	348	367,3	108.300	11.000	119.300	33	600.000	348	348,0	19,29
Raumklimageräte	mobile, steckerfertige Geräte	R134a	R600a / R290	10	2,5%	120	40	160	0,12	580	0,3	0,5	120	40	160	0,1	550	0,3	0,3	0,14
	Einfach-Split-Geräte	R410A	R290	10	5,0%	320	110	430	0,27	1.500	0,9	1,1	300	120	420	0,2	1.400	0,8	0,8	0,32
	Multi-Split-Geräte	R410A	R290	13	4,5%	1.000	500	1.500	0,30	4.700	2,7	3,0	970	530	1.500	0,3	4.500	2,6	2,6	0,42
	VRF-Geräte	R410A	R290 + indirekt (Sole)	13	4,6%	5.800	2.600	8.400	3,70	26.000	15	18,8	5.500	3.000	8.500	1	26.000	15	15	3,70
Wärmepumpen	Wärmepumpen (Heizen)	R407C / R410A / R134a	R290	15	2,5%	1.300	760	2.060	0,21	6.300	3,7	3,9	1.200	870	2.070	0,3	5.800	3,4	3,4	0,50

II. Annahmen für die Emissionsberechnungen

Für die Erstellung der beiden Szenarien Referenzszenario (RS) und Kohlenwasserstoff-Szenario (KWS) werden für die vier ausgewählten Anwendungen verschiedene Annahmen zur technischen Weiterentwicklung sowie zu Kosten und direkten als auch indirekten Emissionen für den Zeitraum bis 2050 getroffen. Basis für diese Annahmen sind Expertenbefragungen und Literaturrecherchen.

Die betrachteten Anwendungen und Unter-Anwendungen sind:

- Wärmepumpen
- Raumklimageräte
- mobile Raumklimageräte
- Einfach-Split-Geräte,
- Multi-Split-Geräte
- VRF-Geräte⁸⁴
- Flüssigkeitskühlsätze
- Geräte mit durchschnittlicher Kälteleistung 80 kW (bis 100 kW)
- Geräte mit durchschnittlicher Kälteleistung 400 kW (100 kW bis 1 MW)
- Kühl-Lkw und Auflieger

Diese Struktur der kälte- und klimatechnischen Anwendungen stimmt mit dem für die UNFCCC-Emissionsberichterstattung des UBA entwickelten Kältemittelmodell für HFKW-Anwendungen (Schwarz *et al.*, 2013) überein.

Die Analysen und Berechnungen wurden für jede Anwendung und ihre Unteranwendungen separat durchgeführt. Innerhalb einer Anwendung, wie auch in deren Unteranwendungen, existieren Geräte mit unterschiedlichen Eigenschaften. Diese wurden in einem generischen Modellgerät zusammengefasst, das die Eigenschaften verschiedener Geräte in dem Maße wiedergibt, wie diese derzeit auf dem Markt vertreten sind. Zum Beispiel unterscheiden sich die mittlere Wärmeleistungen von Luft-Wasser und Sole-Wasser-Wärmepumpen, im ersten Fall sind es 10 kW und im zweiten 12 kW, so wurde bei Marktanteilen von 65 % bzw. 35 %, der gewichtete Mittelwert von 11 kW genutzt.

Für die oben gelisteten Anwendungen wurden folgende Daten ermittelt und Berechnungen durchgeführt:

Projektionen der Bestandsentwicklung bis 2050: Zunächst wurden Projektionen zur künftigen Entwicklung der Bestände der Geräte der vier betrachteten F-Gas-Anwendungen erstellt. Ausgangspunkte hierfür waren zum einen die jährliche Emissionsberichterstattung und zum

⁸⁴ VRF-Geräte sind ein Sonderfall, weil sie direktverdampfende Systeme sind, die häufig großen Kältemittelfüllmengen enthalten. Aus Sicherheitsgründen sind sie somit problematisch für den Einsatz von KW. An dieser Stelle wurden deshalb Flüssigkeitskühlsätze als Alternativtechnologie betrachtet. Flüssigkeitskühlsätze sind indirekte Systeme und enthalten deshalb geringere Kältemittelfüllmengen.

anderen konnten für alle vier Anwendungen Angaben zu zukünftigen Bestandsentwicklungen aus der Studie „Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ (UBA 2010) und dem Bericht des WWF „Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: vom Ziel her denken“ (2009) genutzt werden⁸⁵. In diesen Studien sind Größen aufgeführt, z. B. Kältebedarf, aus denen sich Bestandszahlen ableiten lassen. Diese Datengrundlage wurde ergänzt durch Forschungsergebnisse aus Studien von Industrieverbänden (BWP 2012, EHPA 2012) und Berichten, die im Rahmen der Ökodesign-Gesetzgebung erstellt wurden (EcoDesign 2008, EcoDesign 2012) sowie den „Politikszenerarien V“ (UBA (2009)).

Marktdurchdringungsraten bis 2050. Marktdurchdringungsraten drücken die Marktverfügbarkeit der Alternativtechnologie als Prozentsatz der jährlich insgesamt installierten Neuanlagen aus. Die Entwicklung der Marktverfügbarkeit bis 2050 wurde mit Experten für die verschiedenen Anwendungen diskutiert. Abbildung 23 zeigt eine schematische Darstellung der verschiedenen Marktdurchdringungsraten, die absoluten Werte sind in Tabelle 28 angegeben.

Technisch mögliche Marktdurchdringungsrate

Für die Berechnung der möglichen Emissionseinsparungen wird die technische Umsetzbarkeit von KW-Alternativen betrachtet. Dafür wird die Marktdurchdringungsrate nur einer einzigen alternativen Technologie bestimmt, nämlich diejenige, in der KW als Kältemittel eingesetzt werden.

Zwei Aspekte sind neben der reinen technischen Umsetzbarkeit berücksichtigt worden. Erstens die Energieeffizienz dieser Technologie ist mindestens gleichhoch wie die der HFKW-Standardtechnologie. Zweitens, von der alternativen Technologie geht keine unverhältnismäßige Gefährdung aus, auch wenn es Abweichungen von den derzeit formulierten Standards und Normen gibt. Der Einsatz der alternativen Technologie erfordert mitunter andere Aufstellungsbedingungen, z. B. kann die Aufstellung im Freien oder in einem Maschinenraum notwendig werden.

Es wird keine Kostenschwelle gesetzt. Die Emissionsvermeidungskosten werden zwar berechnet, ihre Höhe spielt aber für die technisch mögliche Marktdurchdringung keine Rolle.

Erwartete Marktdurchdringungsrate:

Diese Werte berücksichtigen nicht nur eine Alternative, wie oben, sondern es werden zusätzlich Marktdurchdringungsraten für Ammoniak, CO₂ und auch ungesättigte HFKW betrachtet.

Aufgrund der Bandbreite der Einsatzbereiche einer Anwendung sind teils mehrere Alternativen für eine einzelne Anwendung sinnvoll. In der Modellierung werden die kostengünstigeren Alternativen bevorzugt.

⁸⁵ Die Studie „Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen“ (UBA 2010) nimmt verschiedene Grundlagen des Berichtes des WWF „Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: vom Ziel her denken“ (2009) unter anderem auch die Projektionen des Wärme- und Kältebedarfes in Deutschland.

Auch hier gilt, dass die Energieeffizienz der alternativen Technologie mindestens gleich sein muss damit diese berücksichtigt werden kann. Die erwarteten Marktdurchdringungsraten stammen aus der Studie „Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006.“

Potenzielle Marktdurchdringungsrate:

Das Wirken der in diesem Projekt vorgeschlagenen Maßnahmenbündel führt zur potenziellen Marktdurchdringungsrate, die über der erwarteten Marktdurchdringungsrate für KW-Technologie liegt. Die Umsetzung der Maßnahmenbündel führt zu einer Erhöhung der erwarteten Marktdurchdringungsrate, da KW-Technologie spezifisch gefördert wird. Es kommt somit zu einer Verschiebung der Marktverhältnisse zugunsten der KW-Technologie. Wir nehmen an, dass die potenzielle Marktdurchdringungsrate 30 % über der erwarteten Marktdurchdringungsrate für KW-Technologie liegt. Eine derartige Erhöhung scheint angemessen, da es sich bei den vorgeschlagenen Maßnahmenbündeln überwiegend um moderate Fördermechanismen im Bereich Bildung und Information handelt. Maßnahmen wie Verbote von HFKW oder eine Einführung von Marktanreizprogrammen könnten sich durchaus gravierender auf Marktdurchdringungsraten auswirken. Derartige Maßnahmen werden im Rahmen des Projektes allerdings nicht betrachtet. Besteht ein vorgeschlagenes Maßnahmenbündel im Wesentlichen aus Maßnahmen im Bereich technischer Standards, Normen und Produkthaftungsfragen, wie im Falle der Kühl-Lkw, entspricht die potenzielle Marktdurchdringungsrate der erwarteten Marktdurchdringungsrate. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass eine Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Standards und Normen bereits angenommen wird, um die erwartete Marktdurchdringungsrate zu erreichen (Gschrey *et al.*, 2014).

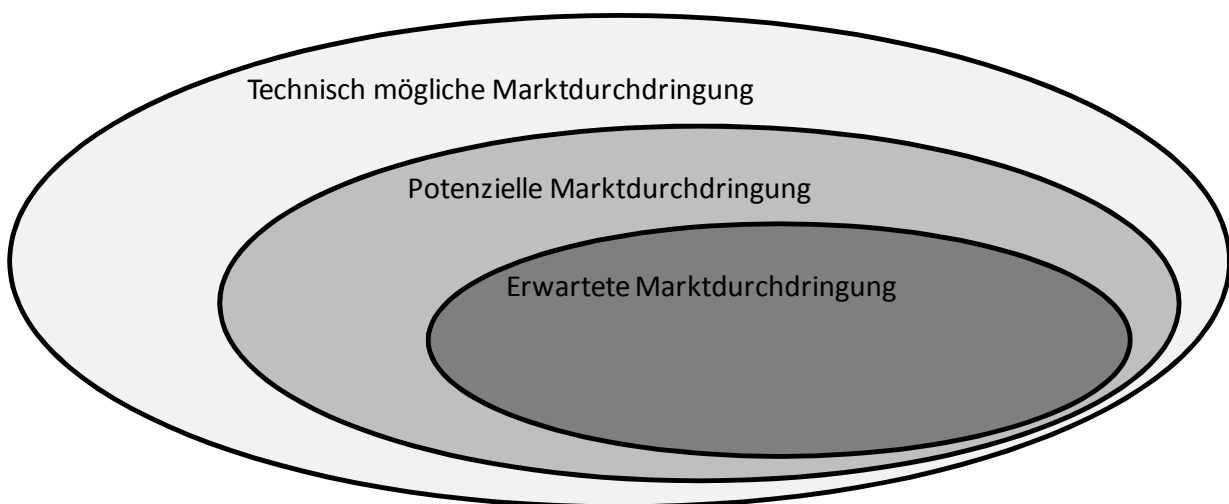


Abbildung 23: Schematische Darstellung der verschiedenen Marktdurchdringungsraten, wobei sich die Marktdurchdringungsraten auf Kohlenwasserstoff-Technologie beziehen.

Tabelle 28 gibt einen Überblick über die absoluten Werte der verschiedenen Marktdurchdringungsraten.

Tabelle 28: Technisch mögliche, erwartete und potenzielle Marktdurchdringungsraten im Jahr 2030 für die vier Hauptanwendungen. Durch die Umsetzung der Maßnahmenbündel erhöhen sich die erwarteten Marktdurchdringungsraten und führen zu den potenziellen Marktdurchdringungsraten.

Anwendungsfelder	Geräte und Anlagen	KW-Kältemittel Alternative Technologie	Technisch mögliche Marktdurchdringung (2030)	Erwartete Marktdurchdringung (2030) unter Berücksichtigung konkurrierender, alternativer Technologien ¹	Potenzielle Marktdurchdringung (2030, s. Erklärung im Text, Werte gerundet)
Raumklimageräte	mobile, steckerfertige Systeme	R290	100	60	80
	Einfach-Split-Geräte	R290	99	40	50
	Multi-Split- Geräte	R290	95	60	80
	VRF-Geräte	R290 + indirekt (Sole)	90	60	80
Wärmepumpen	Wärmepumpen (heizen)	R290	80	70	80
Transportkälte	Kühl-Lkw	R1270	100	60 ⁸⁶	60
Flüssigkeitskühlsätze	klein (80 kW)	R290	90	40	45
	groß (400kW)	R290	70	35	50

¹ Werte aus Gschrey *et al.*, 2014.

Technische Daten der sektortypischen HFKW-Referenzanlagen (RefTech) und ihrer Kohlenwasserstoff-Alternativen (abgekürzt AT):

- Mittlere Kälte- oder Wärmeleistung
- elektrische Antriebsleistung⁸⁷
- EER, SEER bzw. JAZ
- Laufzeit pro Jahr
- Füllmengen und eingesetzte Kältemittel
- Lebensdauer
- GWP der Kältemittel (bei Einsatz mehrerer Kältemittel wird entsprechend der Verbreitung der Typen („Kältemittel-Split“) ein durchschnittlicher Wert genutzt⁸⁸)

⁸⁶ Holger König, 30.09.2013, mündl. Mitteilung

⁸⁷ Aus mittlerer Kälte- oder Wärmeleistung und eingesetzter elektrischer Leistung ergibt sich der EER (Energy Efficiency Ratio).

⁸⁸ Wenn z. B. R404A und R410A gleich häufig in Geräten einer Anwendung eingesetzt werden, wird das mittlere GWP der beiden Kältemittel für die Berechnung genutzt.

- Kältemittel-Emissionsfaktoren (für Befüllung, Betrieb und Entsorgung)

Technisch tolerabler Verlust⁸⁹ (zwecks Ermittlung der jährlichen Nachfüllmenge sowie der effektiven Entsorgungsmenge am Lebensende einschließlich der Entsorgungsemissionen).

Daten zu Kosten der sektortypischen HFKW-Referenzanlage und der KW-Alternativen. Preise der Kältemittel, Strom (Privatkunden und Industriekunden) bzw. Diesel für die Erzeugung von Strom für Kälteanlagen. Die Kosten für Dichtheitskontrollen, die für HFKW-Anwendungen gesetzlich verpflichtend sind, wurden auch für KW-Anlagen angenommen, da diese mindestens gleichermaßen dicht sein sollen.

Reduktionsberechnungen für das KW-Szenario: Berechnungen der Reduktion der direkten und indirekten Emissionen in Abhängigkeit von der technisch möglichen Marktdurchdringung der einzelnen alternativen Technologien (AT).

In den Beschreibungen der einzelnen Anwendungen sind diese Daten tabellarisch aufgeführt und gegebenenfalls näher beschrieben.

Berechnungsweise der Reduktionen direkter und indirekter Emissionen und der Vermeidungskosten

Wie oben bereits geschrieben, ist die Basis des Referenz-Szenarios das bis 2050 projizierte Kältemittel-Modell. Die Reduktionen der direkten Emissionen im KW-Szenario werden darauf bezogen. Dazu wird ein **statisches Rechenmodell** genutzt.

Die Funktionsweise des statischen Modells ist folgende: Jeder neue Jahrgang („Neuzugang“) wird mit 100 Einheiten angesetzt und die Anteile der alternativen Kältemittel fließen, entsprechend der Marktdurchdringungsraten, darin ein. Die Zwischenstufen werden linear interpoliert. Das erste Jahr für die eine Marktdurchdringungsrate ermittelt wurde ist 2015. Die gegenwärtigen Anteile der KW-Geräte an den Beständen sind sehr gering und können vernachlässigt werden. Der Bestand umfasst den Altbestand und die Neuzugänge jeden Jahrgangs für die Zeitspanne der Lebensdauer. Zum Beispiel: Bei 10 Jahren Lebensdauer sind es also 1.000 Einheiten (in 10 Jahren sind jeweils 100 Einheiten hinzugekommen). Es wird konsequenterweise angenommen, dass jedes Jahr ein gleich großer Anteil des Bestandes ausgetauscht wird. Hierbei handelt es sich um Anlagen, die ihre Lebensdauer überschritten haben. Im gleichen Umfang, wie zum Beispiel die alternative Technologie zum Bestand hinzukommt (entsprechend der Marktdurchdringungsraten für Neuanlagen für 2015, 2020, 2030 und 2050), steigt zeitversetzt (Lebensdauer) auch der Anteil der zu entsorgenden KW-Geräte. Kältemittlemissionen, die in jeder Anwendung bei Befüllung, Betrieb und Entsorgung auftreten, können so - entsprechend der Marktdurchdringungsraten der alternativen Technologie - berechnet werden. Die Kältemittlemissionen bleiben mengenmässig im RS und KWS gleich und im KWS werden diese Mengen nur für die jeweiligen Anteile von RefTech und AT mit den GWPs von HFKW und KW-Kältemitteln multipliziert. Die Kältemittel-Betriebsemissionen wurden berechnet, indem zunächst der Anteil der alternativen Technologie

⁸⁹ Unter technisch tolerablem Verlust versteht sich der Anteil der Füllmenge eines Kältemittels, der aus einem Gerät maximal entweichen kann, ohne dass es aufhört zu funktionieren.

im Bestand ermittelt wurde. Im Jahr 2015 sind das bei 10 Jahren Lebensdauer und 20 % Marktdurchdringung 2 %. Denn 10 % neue Geräte kommen hinzu und 20 % davon entsprechen 2 % des neuen Gesamtbestandes. 2 % der Kältemittel-Betriebsemissionen stammen also nicht von F-Gasen, sondern von KW.

$$\begin{aligned} \text{Treibhauseffekt Kältemittel – Emissionen}_{\text{KW-Szenario}} \\ = \text{absolute Kältemittel – Emissionen}_{\text{RS}} \times \text{Anteil}_{\text{RefTech.}} \times \text{GWP}_{\text{HFKW-Mix}} \\ + \text{absolute Kältemittel – Emissionen}_{\text{RS}} \times \text{Anteil}_{\text{AT}} \times \text{GWP}_{\text{KW}} \end{aligned}$$

Zur Berechnung der **Vermeidungskosten pro Tonne CO₂-Äq.** müssen die **direkten Kältemittlemissionen und indirekten Emissionen der Energiebereitstellung (EM_{KM} und EM_E)** pro Gerät sowie die Kostenunterschiede zwischen RefTech und AT bestimmt werden. Grundlage hierfür sind die oben genannten technischen Daten der anwendungstypischen HFKW-Referenzanlage und ihrer KW-Alternativen.

Die **direkten Kältemittlemissionen** pro Jahr berechnen sich aus der Füllmenge der Geräte multipliziert mit dem Bestand, den anwendungsspezifischen Emissionsfaktoren (EF) (1. der Befüllung, 2. des Betriebs (Leckagerate) und 3. der Entsorgung) sowie der Lebensdauer. Die Lebensdauer ist wichtig für Befüllungs- und Entsorgungsemissionen⁹⁰, da diese auf die Jahre des Betriebs umgelegt werden (Annualisierung). Ausnahmen sind mobile Raumklimageräte, die gegenwärtig vorgefüllt importiert werden und keine inländischen Befüllungsemissionen verursachen⁹¹. Auch Split-Klimageräte werden vorgefüllt importiert, aber ein kleiner Teil des Kältemittels wird vor Ort bei der Erstinstallation aufgefüllt. Hier beziehen sich die Befüllungsemissionen nur auf den aufgefüllten Anteil. Ähnlich ist es bei Flüssigkeitskühlsätzen, die zu 70 % importiert werden und für die deshalb nur für den nicht-importierten sondern hier befüllten Anteil der Anlagen auch Befüllungsemissionen berechnet werden. Bei Transportkälte-Lkws werden pauschal 5 g Kältemittelverlust pro Befüllungsvorgang angenommen.

Befüllung und Leckage beziehen sich, bis auf die beschriebenen Ausnahmen, auf die gesamte Füllmenge, während die Entsorgungsemissionen sich nur auf den Restfüllstand am Lebensende beziehen. Das erklärt sich dadurch, dass die Geräte permanent etwas Kältemittel verlieren. Teilweise wird dieses wieder aufgefüllt, im Schnitt fehlt jedoch bei Betriebsende ein Teil der Füllmenge, aber maximal so viel, dass ein Funktionieren gewährleistet bleibt. Die Bezeichnung für diese fehlende Menge ist der technisch tolerable Verlust (Schwarz *et al.*, 2013). Der Restfüllstand bei Entsorgung wird - mit Ausnahme der mobilen Klimageräte, die weniger Verlust aufweisen - pauschal auf 87,5 % der regulären Füllmenge veranschlagt.

Berechnung der Kältemittlemissionen pro Jahr absolut und nach GWP des Kältemittels⁹²:

$$\text{Jährliche Kältemittel-Em}_{\text{Befüllung}} = \text{Füllmenge} * \text{EF}_{\text{Befüllung}} / \text{Lebensdauer}$$

⁹⁰ Für Lkw fallen keine inländischen Entsorgungsemissionen an.

⁹¹ Bei mobilen Klimageräten wird außerdem keine Nachfüllung während der Lebensdauer angenommen, da die Leckagen sehr gering sind und die Funktion der Geräte nicht merklich beeinträchtigen.

⁹² Im Gegensatz zum TEWI-Ansatz werden hier auch die Befüllungsemissionen berücksichtigt.

$$\text{Jährl. Kältemittel-Em}_{\text{Entsorgung}} = \text{Restfüllstand} * \text{EF}_{\text{Entsorgung}} / \text{Lebensdauer}$$

$$\text{Kältemittel-Em}_{\text{gesamt}} = \text{KM-Em}_{\text{Befüllung}} + \text{KM-Em}_{\text{Betrieb}} + \text{KM-Em}_{\text{Entsorgung}}$$

$$\text{Kältemittel-Em}_{\text{gesamt (GWP)}} = \text{KM-Em}_{\text{gesamt}} * \text{GWP}_{(\text{Kältemittel})}$$

Em = Emissionen

KM = Kältemittel

GWP = Global Warming Potential

Die **indirekten Emissionen** der Energiebereitstellung (Em_E) pro Jahr werden berechnet, indem der Bestand der Geräte aus dem KM-Modell mit den elektrischen Antriebsleistungen (unter Berücksichtigung von Teillasten) der einzelnen anwendungstypischen Geräte, CO_2 -Emissionsfaktoren für Netzstrom bzw. Diesel und der jährlichen Laufzeit multipliziert wird.

Die zukünftigen CO_2 -Emissionsfaktoren der elektrischen Energie können sehr unterschiedlich sein, je nachdem, wie erfolgreich das Klimaschutzziel von 100 % erneuerbarer Stromerzeugung in Zukunft umgesetzt wird. Der CO_2 -Emissionsfaktor im Jahr 2009 betrug 0,58 kg/kWh für den Strominlandsverbrauch in Deutschland (UBA 2012)⁹³. Dies ist der vom UBA typischerweise verwendete Emissionsfaktor, er berücksichtigt allerdings nicht die Vorkette. Für das Jahr 2050 verwenden wir den Faktor 0 kg/kWh. Die dazwischen liegenden Werte wurden interpoliert⁹⁴.

Für die Transportkälte-Lkw wird analog der projizierte Dieselkraftstoffverbrauch bzw. der Energieverbrauch für die Kälteleistung berechnet und dargestellt. Es wird jedoch kein Volumen oder Gewicht berechnet, da verschiedene Dieseltypen, also mineralischer Diesel und Diesel verschiedenen pflanzlichen Ursprungs, verschiedene Energiegehalte aufweisen und dementsprechend mehr oder weniger Diesel verbraucht werden wird (UBA 2009). Für Diesel wird angenommen, dass Biodiesel in einem Umfang eingesetzt werden wird, dass es zu Emissionsminderungen von 3 % im Jahr 2015, 4,5 % im Jahr 2017 und 7 % im Jahr 2020 kommt⁹⁵. Weitere mögliche Emissionsminderungen über 2020 hinaus werden nicht dargestellt. Nach Angaben des Kraftfahrtbundesamtes (KBA 2011) entstehen bei der Verbrennung pro Liter Diesel 2,65 kg CO_2 ⁹⁶. Bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 40 % ergibt sich ein CO_2 -Emissionsfaktor von 0,67 kg/kWh elektrischer Antriebsenergie.

⁹³ Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011. Für spätere Jahrgänge finden sich in der Publikation lediglich Hochrechnungen.

⁹⁴ Kai Kuhnnehn, UBA erklärte, dass diese Vorgehensweise durchaus plausibel wäre, allerdings wäre es natürlich möglich, dass der Strom im Jahr 2050 nur zu 80 % aus erneuerbaren Quellen kommen wird (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 23.09.2013).

⁹⁵ <http://dejure.org/gesetze/BImSchG/37a.html>; Da die Verringerung der Treibhausgasemissionen sich im Gesetzestext auf den Energiegehalt bezieht, ist eine Berücksichtigung verschiedener Energiegehalte und Emissionsfaktoren von Bio- und mineralischem Diesel unnötig.

⁹⁶ Im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 bis 2011 wird ein Emissionsfaktor von 74 t CO_2 pro TJ genannt (entsprechend den revised 1996 IPCC Guidelines), dies sind 0,27 kg CO_2 pro kWh. Dieser thermische Energiegehalt kann zu rund 40 % in elektrische Energie überführt werden, woraus sich 0,67 kg pro kWh el. Dieser Wert wird sowohl vom KBA als auch von Burke und Großkopf (2011) genutzt.

Die Antriebsleistung steht über die SEER (seasonal energy efficiency ratio) bzw. die JAZ (Jahresarbeitszahl bei Wärmepumpen) in Beziehung zur Kälte bzw. Wärmeleistung. Für Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze standen ausreichende Angaben von Herstellern zur Verfügung. Für Raumklimageräte wurde eine vom Fachverband Gebäude-Klima e.V. (2012) empfohlene Faustregel zur Berechnung des SEER aus dem EER genutzt. Im Fall der Kühl-Lkw wurden Angaben zur Leistungszahl von Experten genannt, die sich auf das Verhältnis von aufgenommener Leistung zur Kälteleistung im tatsächlichen Einsatz bezogen. Insgesamt sind die Angaben zu Leistung und Aufnahme von Antriebsenergie wenig eindeutig; so streuen z. B. die JAZ von Luft-Wasser-Wärmepumpen von 2,9 (Messwert aus ISE in verschiedenen Publikationen (Fraunhofer ISE 2011)) bis zu 3,7 (mittlerer Standard nach **DIN V 4701-10 berechnet** (ILK Dresden, unveröffentlicht)). Geräte, die nur im weiteren Sinne zu den Anlagen gehören, wie etwa Pumpen, die zum Beispiel Wasser oder Sole befördern (indirekte Systeme), sind aus den Berechnungen ausgenommen.

Es werden nur alternative Technologien betrachtet, für die auf Basis von Hersteller- oder Expertenaussagen eine mindestens gleichwertige Energieeffizienz wie für die Referenztechnologie angenommen wird. Dies geschieht um einen Anstieg der indirekten Emissionen zu vermeiden und so tatsächlich auch insgesamt Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Das gleiche Vorgehen wurde auch in anderen Studien angewendet (z. B. Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006; Schwarz *et al.* 2011).

$$Em_E = \text{Bestand} * \text{Leistung} * \text{Laufzeit/Jahr} * CO_2EF_{(\text{Netzstrom} / \text{Diesel})}$$

E = Energiebereitstellung

Die Gesamtemissionen sind Kältemittlemissionen und Emissionen der Energiebereitstellung aufaddiert.

$$Em_{\text{gesamt}} = KM-Em + Em_E$$

Die Differenz der Lebenszykluskosten zwischen der Alternativtechnologie und der Referenztechnologie werden durch die vermiedenen direkten und indirekten Emissionen dividiert, um die Vermeidungskosten pro Tonne CO₂-Äquivalent zu errechnen.

$$VK_{\text{gesamt}} = \frac{(\text{Invest}K_{AT} - \text{Invest}K_{Ref}) + (\text{Betrieb}K_{AT} - \text{Betrieb}K_{Ref})}{Em_{\text{ges Ref}} - Em_{\text{ges AT}}}$$

VK.: Vermeidungskosten

K.: Kosten

AT: Alternativtechnologie

Ref: Referenztechnologie

ges = gesamt

Die Kosten beider Technologietypen, der Referenztechnologie und der KW-Alternative, ergeben sich aus Betriebs- und Investitionskosten.

Investitionskosten setzen sich grundsätzlich aus Entwicklungs-, Rohstoff- und Technologiekosten zusammen. Eine Umstellung der Produktion auf KW-Geräte erzeugt ebenfalls Kosten, wie auch die Neuanschaffung von Maschinen, Anpassung von Logistik und Bildung von Personal. Unter

Umständen kann eine Umstellung auch höhere Kosten erzeugen, wenn dem Hersteller beispielsweise im Gerätesektor zusätzliche Verpflichtungen zur Qualifizierung von Personal und Vertragspartnern, Zertifizierung oder auch der Rückbau und Entsorgung im Falle der Produzentenhaftung entstehen. Diese Mehrkosten, die der Industrie durch die Umstellung auf KW-Technologie entstehen, werden auf die Produktpreise (Investitionskosten) umgelegt. Die Investitionskosten der KW-Technologie und der Referenztechnologie finden sich ebenfalls im Anhang, Kapitel II.1 ff.

Zur gesamtwirtschaftlichen Betrachtung der Anwendungen, die zur Berechnung der Vermeidungskosten relevant ist, werden neben den diskontierten Investitionskosten und den Kosten für die Kältemittelerstbefüllung folgende Betriebskosten betrachtet:

- Kosten durch Artikel 3⁹⁷ und 4⁹⁸ (F-Gas Verordnung, für F-Gas basierte Technologie)
- Zusätzliche Wartungskosten
- Energiekosten
- Kosten für Kältemittel-Nachfüllung (aufgrund von Leckagen)

Dadurch lassen sich jährliche Betriebskosten ermitteln. Zusammen mit den annualisierten Investitionskosten ergeben sich daraus die jährlichen Gesamtkosten, die zur Berechnung der Vermeidungskosten verwendet werden.

Zur Ermittlung der Investitionskosten wurden vorzugsweise echte Preise möglichst verschiedener Anbieter genutzt. Sie beziehen sich nur auf die Geräte selbst und nicht auf Installation oder Erschließung von Wärmequellen. Zukünftige Preisentwicklungen, z. B. durch Produktion im größeren Maßstab (Skaleneffekte), werden hier nicht berücksichtigt.

Alle Kostenarten werden annualisiert. Bei den Investitionskosten erfolgt dies über den sich aus dem Diskontsatz ergebenden Annuitätsfaktor und die Lebensdauer. Der Diskontsatz ist mit 4 % bei allen Anwendungen gleich.

Die Strom-, Kältemittel- und Diesel-Preise entsprechen dem aktuellen Stand des Jahres 2013. Für die Strompreise werden in Anlehnung an die Studie des ILK Dresden (unveröffentlicht), zusätzlich zwei mögliche Entwicklungen angenommen⁹⁹: Erstens ein gemäßigter Anstieg auf 0,27 € pro kWh und zweitens ein starker Anstieg auf 0,50 € pro kWh im Jahr 2050. Die deutsche Energie-Agentur (dena) hält z. B. aufgrund der Kosten für die Energiewende einen Anstieg bis 2020 um 20 % für realistisch, dies entspricht der stärkeren Verteuerung. Der Strompreis wird für nicht-industrielle Nutzung auf 0,21 € gesetzt. Industriebetriebe zahlen zwischen 0,12 € und 0,18 € pro Kilowattstunde Strom. Für industrielle Anwendungen nehmen wir deshalb einen mittleren Preis von 0,15 € an. Für Diesel gehen wir vom durchschnittlichen und gerundeten Preis in 2012 aus, nämlich 1,50 € (ADAC 2013). Für die Zukunft ist auch aufgrund der Beimischung von Biodiesel mit höheren Preisen zu rechnen. Ausgehend von Prognosen der International Energy Agency ist 2050 mit einem Rohölpreis von ca. 120 US\$ pro Barrel zu rechnen (EIA 2010). Dementsprechend dürfte

⁹⁷ Maßnahmen zur Verringerung von Leckagen und damit Emissionen.

⁹⁸ Maßnahmen zur Rückgewinnung von HFKW-Kältemittel.

⁹⁹ Entsprechend Absprache auf Arbeitstreffen am 13.06.13 im UBA, Dessau-Roßlau.

sich der Dieselpreis maximal verdoppeln¹⁰⁰. Die für die Berechnung veranschlagten Emissionsfaktoren sinken etwas und zwar im Jahr 2020 wie gesetzlich vorgeschrieben auf 93 % des aktuellen Wertes¹⁰¹.

II.1 Annahmen für Haushaltswärmepumpen

Es existieren verschiedene Typen von Heiz-Wärmepumpen, die sich zunächst dadurch unterscheiden, welche Umweltenergiequelle zur Wärmeerzeugung genutzt wird (Luft, Wasser oder Erdwärme¹⁰²). Die Wärmepumpencharakteristika wie JAZ und Füllmengen variieren je nach Wärmequelle. Für die Berechnungen werden die wärmequellenabhängigen Charakteristika je nach Verbreitungsgrad gewichtet und in einer generischen Wärmepumpe zusammengeführt. Die Gewichtung entspricht dabei dem jeweiligen Marktanteil des Wärmepumpentyps (65 % Luft-Wasser, 35 % Sole-Wasser, Wasser-Wasser ist vernachlässigbar). Neben Geräten mit einem hermetischen Kältekreislauf kommen zunehmend auch Split-Wärmepumpen auf den Markt, bei Luft-Wärmepumpen beträgt ihr Anteil inzwischen 40 % (BWP 2012). Auch Split-Wärmepumpen fließen in unsere Betrachtung ein.

In Tabelle 29 sind die technischen und Kosten-Daten für die Referenztechnologie (RefTech) und der KW-Technologie gelistet, deren Festlegung nachfolgend erläutert ist.

Tabelle 29: Technische und Kostendaten für die generischen Wärmepumpen

		RefTech R410A: 93 % R407C: 2 % R134a: 5 %	KW-Alternative R290
Install. Wärmeleistung	kW	11	11
El. Aufnahme	kW	3,1	2,9
JAZ		3,5	3,8
Laufzeit pro Jahr	h/y	2.000	2.000
Investitionskosten Anlage	€	8.400	9.600
Kältemittelfüllmenge	kg	2,4	1,9
GWP des generierten Kältemittels		2.049	3
Lebensdauer	Jahre	15	15

¹⁰⁰ Die Steuern beziehen sich auf den Produktpreis, der etwa dem Rohölpreis entspricht.

<http://www.mvw.de/index.php/daten/statistikenpreise/?loc=2&jahr=2013>

¹⁰¹ Bundes-Immissionsschutzgesetz: <http://dejure.org/gesetze/BImSchG/37a.html>

¹⁰² Im Folgenden werden diese Grund-Typen von Wärmepumpen als Erdreich-(Sole)-Wasser-Wärmepumpen, Wasser-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen bezeichnet. Wärmepumpen, die die Wärme des Erdreichs nutzen, funktionieren mit Sole, die diese Wärme aufnimmt. Daher steht Sole in Klammern. Wasser steht bei jeder Wärmepumpe an zweiter Stelle, weil Wasser der Wärmeträger ist, mit dem die Flächenheizung/Heizflächen erwärmt werden.

Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für RefTech)	€/a	5,67	5,67
Leckrate	%	2,5	2,5
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	0,06	0,05
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	0,21	0,0
Energieverbrauch	kWh/a	6.250	5.800
Preis kWh el	€	0,21	0, 21
Energiekosten	€/a	2.500	2.300
Jährliche Gesamtkosten	€/a	3.260	3.200
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	20
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	50
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	80
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	80

Mittlere installierte Wärmeleistung: Es wird ein Mittelwert von 11 kW angenommen. Das ist nach BWP (2011) die mittlere Heizleistung der abgesetzten Geräte in 2020 (10 kW bei Erdreich-(Sole)-Wasser und 12 kW bei Luft-Wasser-Wärmepumpen). Zurzeit liegt die mittlere Heizleistung der abgesetzten Wärmepumpen bei 12 kW (BWP 2011). Nach einer Studie des Geothermiezentrums Bochum liegen die mittleren Heizleistungen bei Einfamilienhäusern ebenfalls zwischen 5 und 18 kW, bei Mehrfamilienhäusern zwischen 18 und 35 kW. Leistungen über 35 kW sind keine Haushaltswärmepumpen. Desweiteren machen Wärmepumpen für Einfamilien-Häuser 88 % des Absatzes aus. 10 % werden in Zweifamilien-, und 2 % in Mehrfamilienhäusern installiert. In der BWP Studie (2011) wird aufgrund der zunehmenden Wärmedämmung von Gebäuden und aufgrund des dadurch begründeten sinkenden Heizbedarfs davon ausgegangen, dass die durchschnittliche Wärmeleistung der einzelnen Geräte nach 2020 etwas abnimmt. Wir gehen nicht von einem Rückgang der Wärmeleistungen aus, da zunehmend auch größere Gebäude mit größerem Heizbedarf als die bisher typischen Ein- und Zweifamilienhäuser mit Wärmepumpen ausgestattet werden.

JAZ: Abhängig von der Wärmequelle sind die Wirkungsgrade von Wärmepumpen verschieden. Deshalb werden die Jahresarbeitszahlen anhand der Marktanteile von Luft-Wasser und Sole-Wasser-Wärmepumpen gewichtet. Auch das verwendete Arbeitsmittel spielt eine große Rolle für die JAZ und damit für die Energieeffizienz (Tabelle 30).

Tabelle 30: Jahresarbeitszahlen von Luft-Wasser und Sole (Erdreich)-Wasser-Wärmepumpen

	RefTech		R290	
	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
JAZ nach ILK Dresden (2013)	Minimal: 3,34 Mittel: 3,65 Maximal: 4,06 (VDI 4650, Blatt 1)	Minimal: 4,63 Mittel: 4,95 Maximal: 5,34 (VDI 4650, Blatt 1)	3,94 (theoretischer Wert, „Propan-Opti“)	Mittel: 5,39 (VDI 4650, Blatt 1)
JAZ Fraunhofer ISE (2011)	2,9 (Messwert erste Phase) 3,0 (Messwert zweite Phase)	3,9 (Messwert erste Phase) 4,1 (Messwert zweite Phase)	-/-	-/-
Eigene Schätzung	3,5		3,8	

In der Studie des ILK Dresden (2013) wird für Propan Sole-Wasser-Wärmepumpen eine um 9 % höhere JAZ genannt. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit R290 ist die JAZ 8 % höher als die des Durchschnitts der HFKW-Wärmepumpen. Die Firma Hautech produziert R290-Luft-Wasser-Wärmepumpen und gibt an, dass diese eine um 16 % bessere JAZ aufweisen als mit HFKW arbeitende Geräte des gleichen Unternehmens¹⁰³. Auch R290 Sole-Wasser und Wasser-Wasser-Wärmepumpen werden von Hautech hergestellt. Bei diesen Geräten liegen die Antriebsenergie-Einsparungen bei 18 % bzw. 16 %.

Wir schätzen die Verbesserung der Energieeffizienz von KW-Wärmepumpen konservativ auf 9 %. Für die Referenztechnologie nehmen wir eine JAZ von 3,5. Die JAZ der Propan-Wärmepumpen beträgt 3,8.

Laufzeit pro Jahr: Nach Geothermie-Zentrum (GZB 2010) ist in Deutschland von etwa 1.950 Stunden pro Jahr auszugehen.

Investitionskosten: Die durchschnittlichen Gerätekosten für die generische Referenz-Wärmepumpe werden auf 8.400 € geschätzt. Basis sind die Preise für Sole-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen von Hautech und GZB (2010), die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind. Da in Zukunft Wasser-Wasser-Wärmepumpen vermutlich nur noch einen verschwindend geringen Anteil ausmachen werden, sind diese nicht in die Berechnung eingeflossen. Die Preisunterschiede für Wärmepumpen mit verschiedenen Ausstattungen bei

¹⁰³ Hr. Heinz, Hautech (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 02.04.13).

demselben Kältemittel sind größere als die Preisunterschiede von Wärmepumpen mit verschiedenen Kältemitteln (siehe Tabelle 31).

Tabelle 31: Preise für HFKW-Wärmepumpen

	Sole-Wasser	Luft-Wasser
GZB (2010)	9.500 €	12.600 €
Hautec	6.900 €	6.500 – 9.900 €
Schätzung	8.400 €	

Auf diesen Grundpreis für die Referenztechnologie wird ein Aufschlag von 15 % für die KW-Alternativtechnologie gerechnet. Basis dafür sind 8 % bis 15 % Mehrkosten bei Hautec und 13 % bis 24 % Mehrkosten nach ILK Dresden (2013) für KW-Wärmepumpen.

Füllmengen: Nach den Angaben von Hautec sind die Füllmengen der R290-Geräte ca. 30 % geringer als die der Referenztechnologie. Dies gilt für alle Wärmepumpen-Typen. Dieser Wert wurde als Basis für unsere Annahme von um 20 % reduzierte Füllmengen genommen. Die absoluten Füllmengen der Hautec-Wärmepumpen sind deutlich geringer als sie in ILK Dresden (2013) und von anderen Firmenvertretern¹⁰⁴ genannt wurden. Deshalb sind unsere Annahmen mit einer durchschnittlichen Füllmenge von 1,9 kg R290 und 2,4 kg für die RefTech im mittleren Bereich angesetzt. Es ist theoretisch möglich, durch den Einsatz von Minichannel-Verdampfern die Füllmenge noch erheblich zu verringern, und zwar auf rund 20 g Propan pro kW Leistung. Dies wurde von Thore Oltersdorf, Fraunhofer ISE zum Beispiel auf der Atmosphere Konferenz 2013 vorgestellt¹⁰⁵.

Leckagen: Die meisten Wärmepumpen sind fabrikgefertigt und verfügen über einen geschlossenen Kältekreislauf. Leckagen sind entsprechend gering, bei Split-Geräten ist die Leckage höher¹⁰⁶. Der Anteil von Split-Geräten bei Luft-Wärmepumpen beträgt inzwischen 40 %, mit steigender Tendenz (zum Vorjahr +23,4 %) (BWP 2012). Wir verwenden wie ILK Dresden (2013) und das Kältemittelmodell für das ZSE eine durchschnittliche Leckagerate von 2,5 %, da dieser Wert auf einem Expertengespräch¹⁰⁷ von ILK Dresden, BMU und UBA angenommen wurde.

¹⁰⁴ Andreas Bühring, Viessmann, Ralph Achtmann, Alpha-Innotec (ISH Messe, Frankfurt 13.03.13).

¹⁰⁵ Thore Oltersdorf GreenHP - next generation heat pump for retrofitting buildings. Atmosphere 2013, Brüssel 15.10.2013. Auf Nachfrage wurde von Thore Oltersdorf ergänzt, dass sich diese Menge nur auf die tatsächlich im Kreislauf verdampfende und kondensierende Kältemittelmenge bezieht und zusätzlich die im Öl gelöste Menge an Kältemittel aufaddiert werden müsste.

¹⁰⁶ Ralph Achtmann, Alpha-Innotec (ISH Messe, Frankfurt 13.03.13), Jan Kröger, Hafner-Muschler (ISH Messe, Frankfurt 13.03.13).

¹⁰⁷ Expertengespräch im Rahmen des Projektes „Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln“ (Forschungskennzahl, UFOPLAN 3709 41 319/2), ILK Dresden, im UBA, Berlin, März 2011.

Lebensdauer: Firmenvertreter von Hautech und ait-Deutschland (Alpha-Innotec) haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 15 Jahren genannt¹⁰⁸, die wir so übernehmen.

Technisch mögliche Marktdurchdringungsraten: Die geschätzte technisch mögliche Marktdurchdringungsraten von 20 % im Jahr 2015 ist durch notwendige logistische Umstellungen z. B. in der Produktion begrenzt. Bis zum Jahr 2020 könnten 50 % und in 2030 und 2050 80 % Marktdurchdringung erreicht werden. Es ist wahrscheinlich und auch politisch gewollt, dass Wärmepumpen zunehmend konventionelle Heizsysteme ersetzen¹⁰⁹ (UBA 2010). Neben der Installation in Neubauten, dem typischen Markt für Wärmepumpen (BWP 2011), wird dann auch der Gebäudebestand mit Wärmepumpen ausgestattet werden. Aufgrund der komplexen Situation bei der Installation von Wärmepumpen im Gebäudebestand ist es unwahrscheinlich, dass eine Marktdurchdringung von 80 % überschritten werden kann. Ein wichtiger Aspekt ist der Aufstellungsort von mit KW gefüllten Wärmepumpen. Der ideale Aufstellungsort ist im Freien; zumindest der Verdampfer von Luft-Wärmepumpen muss sich im Freien befinden. In dichter urbaner Umgebung ist dies nicht immer ohne weiteres möglich. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit einer Aufstellung auf dem Gebäudedach.¹¹⁰ Bei der Aufstellung von KW-Geräten in Kellern, also unterhalb der Erdgleiche, empfiehlt die Norm DIN EN 378, die Menge des eingesetzten KW auf 1 kg zu beschränken. Die durchschnittliche Füllmenge von Haushaltswärmepumpen beträgt aber 1,9 kg Propan. Entsprechend der Norm EN / IEC 60335-2-40 ist es möglich, bis zu 5 kg Kohlenwasserstoff in gelüfteten Maschinenräumen unterhalb der Erdgleiche einzusetzen¹¹¹. Ein Maschinenraum kann, wie etwa bei der Energiestation von Walter Meier, ein Metallkasten sein, der mit entsprechender Sicherheitstechnik versehen ist, also mit Sensoren für die Gaserkennung und Ventilation, bzw. Abluftleitung nach außen¹¹². Allerdings ist dadurch mit zusätzlichen Kosten zu rechnen, die 300 bis 500 € betragen können und es besteht Bedarf an Forschung und Entwicklung¹¹³. Bei Gebäuden ohne Keller und ohne Räumlichkeiten, die für die Aufstellung einer relativ raumgreifenden Anlage inklusive Maschinenraums vorgesehen sind, bleibt die Aufstellung jedoch ein Problem.

Es ist auch möglich, die Geräte auf dem Dach zu installieren. Je nach Größe bzw. Heizbedarfs von Bestandsgebäuden und deren Bauweise sind jedoch Situationen denkbar, in denen eine Aufstellung auf dem Dach und eine Verbindung mit der Heizwasserleitung nicht möglich sind.

Projektionen des Bestandes: Der Bestand an Wärmepumpen in Deutschland könnte sich sehr unterschiedlich entwickeln, deshalb wird mit einer konservativen und eine maximalen Entwicklung gerechnet. Die konservative Annahme orientiert sich an der Branchenstudie des deutschen Wärmepumpenverbandes (BWP 2011). Es werden in dieser Studie zwei Szenarien

¹⁰⁸ Ralph Achtmann, Alpha-Innotec (ISH Messe, Frankfurt 13.03.13) und Hr. Heinz, Hautech (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 02.04.13).

¹⁰⁹ Klassische Wärmeerzeuger werden vollständig verdrängt. TGA Fachplaner Vol 8, 2013, S.16.

¹¹⁰ Katja Becken, UBA und Thore Oltersdorf, Fraunhofer ISE (Mitteilung an Öko-Recherche 21.11.13)

¹¹¹ Daniel Colbourne, Heat (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 29.08.13).

¹¹² Herr Döft, Walter-Meier (Mitteilung an Öko-Recherche 13.03.2013).

¹¹³ Joachim Maul, ait Deutschland (Environment-friendly heating with R290 heatpumps; Vortrag auf Atmosphäre, Brüssel 15.10.2013, zu finden unter: <http://www.atmo.org/media.presentation.php?id=297>)

dargestellt, eines mit höheren und eines mit niedrigeren Wachstumsraten. Da der europäische Verband EHPA (2012) die Aussicht auf positives Wachstum zwar teilt, aber zusätzlich zum deutschen Verband darauf verweist, dass die Gaspreise vermutlich sinken und die Strompreise steigen werden, wird das Szenario mit geringerem Wachstum für wahrscheinlicher erachtet. Die genannten Gründe für diese Preisentwicklungen sind der Bau einer Gaspipeline zwischen Russland und Deutschland durch die Ostsee und die zunehmende Förderung von Schiefergas in Europa. Es wird angenommen, dass der Strompreis aufgrund der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie steigt. Das Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen (UBA 2010) sieht den vollständigen Ersatz aller anderen Wärmeerzeuger durch Wärmepumpen vor. Deshalb wird dem oben beschriebenen, konservativen Szenario ein zweites Szenario gegenübergestellt, das dem Energieziel der Bundesregierung Rechnung trägt. Es wird angenommen, dass durch eine massive Verbesserung des Dämmungsstandards eine elektrische Antriebsenergie von 31 TWh/a ausreichen wird, um 2050 sämtliche private Gebäude zu beheizen (UBA 2010). Multipliziert mit der Jahresarbeitszahl ergibt sich die installierte Wärmeleistung, die mit der Gesamt-Füllmenge in Beziehung steht, womit die verschiedenen Emissionen berechnet werden.

II.2 Annahmen für Flüssigkeitskühlsätze im Leistungsbereich bis 1 MW

Die obere Leistungsgrenze von 1 MW wurde gewählt, da oberhalb davon der Einsatz von Ammoniak als klimafreundliches Kältemittel sinnvoller ist.¹¹⁴ Es werden Flüssigkeitskühlsätze mit durchschnittlich 80 kW Kälteleistung (in EcoDesign 2008 Lot 10, in Englisch auch als „mini-chiller“ bezeichnet) und solche mit mittlerer Leistung von 400 kW unterschieden.¹¹⁵

Für diese Anwendung werden geringere Strompreise als die 0,21 €/kWh bei den übrigen Anwendungen angenommen. Für den für Flüssigkeitskühlsätze verwendeten Strompreis wird von einer Aufteilung von ca. 25 % für Prozesskälte (industrielle Anwendung) und 75 % für Klimatisierung (sonstige Anwendungen) ausgegangen. Da Industriebetriebe zwischen 0,12 €/kWh und 0,18 €/kWh zahlen, also rund 0,15 €/kWh, und alle anderen rund 0,21 €/kWh, wird gemäß obiger Annahme zur Aufteilung ein mittlerer Preis von 0,19 €/kWh verwendet.

In Tabelle 32 sind die technischen und Kosten-Daten für die Referenztechnologie (RefTech) und der Kohlenwasserstoff-Flüssigkeitskühlsätze im Leistungsbereich um 80 kW gelistet. Die meisten dieser Daten wurden im Rahmen des Expertengesprächs zu stationären Kälteanwendungen im BMU, Bonn (18.12.2012) abgestimmt.

¹¹⁴ Die Füllmengen von KW-Anlagen bei über 1 MW Kälteleistung sind so groß, dass ihr Einsatz nur in industriellen Spezialanwendungen sinnvoll ist, vor allem dort, wo Explosionsschutz-Maßnahmen bereits getroffen werden. Thorsten Ewert, Frigoteam (persönliche Mitteilung an Öko-Recherche 25.03.2013).

¹¹⁵ Die Begründung ist vor allem die, dass sich die Referenztechnologien hinsichtlich der gebräuchlichen Kältemittel unterscheiden. In der niedrigeren Leistungsklasse wird für gewöhnlich R410A und in der höheren R134a eingesetzt. Expertengespräch stationäre Kälte Bonn 2012.

Tabelle 32: Technische- und Kostendaten für Flüssigkeitskühlsätze mit einer mittleren Kälteleistung von 80 kW

		ReffTech R410A	KW-Alternative R290
Install. Kälteleistung	kW	80	80
El. Aufnahme	kW	28	25
SEER		2,9	3,2
Laufzeit pro Jahr	h/y	1.860	1.860
Investitionskosten Anlage	€	21.000	30.000
Kältemittelfüllmenge	kg	26	9
GWP des generierten Kältemittels		2.088	3
Lebensdauer	Jahre	15	15
Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für ReffTech)	€/a	258,00	258,00
Leckrate	%	2,8	2,8
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	0,73	0,25
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	2,19	0,00
Energieverbrauch	kWh/a	52.100	46.900
Preis kWh el	€	0,19	0,19
Energiekosten	€/a	9.900	8.900
Jährliche Gesamtkosten	€/a	12.100	11.900
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	20
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	50
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	90
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	90

SEER (80 kW): Experten haben bessere Effizienzen für die Geräte mit R290 von 10 % bis 15 %¹¹⁶ genannt. Unsere konservative Schätzung beträgt 10 %.

Investitionskosten (80 kW): Die Mehrkosten für die R290 Geräte wurden im Vergleich zu den auf dem Expertentreffen stationäre Kälteanwendungen (BMU, Bonn 2012) akzeptierten Preisen um 3 % hochgesetzt (von 40 % auf 43 %). Auch der Preis der Referenztechnologie wurde erhöht, um die Vergleichbarkeit der Systeme zu gewähren. Der Grund dafür ist, dass die Reduzierung der KW-Füllmenge durch die Aneinanderreihung mehrerer Kältekreisläufe, wie etwa in Anlagen der Firma Frigoteam, nur zu höheren Kosten möglich ist¹¹⁷ (siehe nächster Punkt).

Füllmengen (80 kW): Die Füllmengen der Frigoteam-Anlagen liegt pro Kreislauf bei nur 5 kg¹¹⁸. Der gerundete Mittelwert aus dieser Füllmenge und den auf dem Expertentreffen angenommen Füllmengen beträgt 9 kg.

¹¹⁶ Thorsten Ewert 25.03.13, Jan Kröger, Hafner-Muschler (Email 04.04.13) und Alexander Cohr Pachai, Johnson Controls (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 05.04.13).

¹¹⁷ Thorsten Ewert, Frigoteam (persönliche Mitteilung an Öko-Recherche 25.03.13).

¹¹⁸ Thorsten Ewert, Frigoteam (persönliche Mitteilung an Öko-Recherche 25.03.13).

Technisch mögliche Marktdurchdringungsraten (80 kW): Der Wert für 2015 wurde von einem Experten für den Einsatz natürlicher Kältemittel bei Flüssigkeitskühlsätzen¹¹⁹ auf 10 % geschätzt. Ein anderer Experte hingegen geht davon aus, dass bei ausreichend konsequenten politischen Vorgaben eine sehr viel höhere bzw. komplette Umstellung möglich sei¹²⁰. Wir verwenden die konservativere Annahme von 10 % für 2015 und 25 % für 2020. Bis 2030 sollte nach Ansicht beider Experten eine vollständige Umstellung möglich sein, denn durch eine Außenaufstellung der KW-Anlage wird allen Vorschriften genüge getan. Da jedoch davon auszugehen ist, dass eine Außenaufstellung nicht in jedem Fall möglich und praktikabel sein wird, gehen wir von einer vorsichtigen Schätzung von 90 % Marktdurchdringung in 2030 und 2050 aus. Im Gegensatz zu Wärmepumpen werden Flüssigkeitskühlsätze vor allem für die Klimatisierung von Bürogebäuden, im Gewerbe und in der Industrie eingesetzt, also in Gebäuden, bei denen eine Außenaufstellung auf dem Dach zumeist möglich ist.

In Tabelle 33 sind die technischen und Kosten-Daten für die Referenztechnologie (RefTech) und der KW-Flüssigkeitskühlsätze im Leistungsbereich um 400 kW gelistet.

Tabelle 33: Technische und Kostendaten für Flüssigkeitskühlsätze mit einer mittleren Kälteleistung von 400 kW

		RefTech R134a	KW-Alternative R290
Install. Kälteleistung	kW	400	400
El. Aufnahme	kW	129	116
SEER		3,1	3,4
Laufzeit pro Jahr	h/y	1.860	1.860
Investitionskosten Anlage	€	70.000	100.000
Kältemittel-Füllmenge	kg	150	60
GWP des generierten Kältemittels		1.430	3
Lebensdauer	Jahre	15	15
Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für RefTech)	€/a	258	258
Leckrate	%	2,8	2,8
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	4,2	1,7
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	8,65	0,01
Energieverbrauch	kWh/a	240.000	216.000
Preis kWh el	€	0,19	0,19
Energiekosten	€/a	96.000	86.000
Jährliche Gesamtkosten	€/a	102.600	95.800
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	10
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	25
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	70
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	70

¹¹⁹ Thorsten Ewert, Frigoteam (persönliche Mitteilung an Öko-Recherche 25.03.13).

¹²⁰ Alexander Cohn Pachai, Johnson Controls (05.04.13).

Investitionskosten (400 kW): Wie bei der 80 kW-Anlage wird der Preis für die Geräte mit KW (Propan), im Vergleich zu den auf dem Expertentreffen stationäre Kälteanwendungen (BMU, Bonn 2012) angenommenen Preisen leicht angehoben und auf 100.000 € gesetzt. Der Grund für die Anhebung ist, dass die Bauweise mit mehreren Kreisläufen höhere Kosten verursacht. Für die einzelnen Kreisläufe sind dadurch geringe Füllmengen ausreichend. Diese Methode nutzt z. B. die Firma Frigoteam.

Füllmengen (400 kW): Auf dem genannten Expertentreffen wurden durchschnittlich 75 kg für die KW-Anlagen veranschlagt. Die Füllmengen der Frigoteam-Anlagen liegen bei nur 40 kg¹²¹. Der gerundete Mittelwert aus dieser Füllmenge und den auf dem Expertentreffen angenommenen Füllmengen beträgt 60 kg.

Technisch mögliche Marktdurchdringungsraten (400 kW): Im Jahr 2015 gehen wir von 10 % und im Jahr 2020 von 25% aus. Für 2030 und 2050 schätzen wir die technisch möglichen Marktdurchdringungsraten auf 70 % Bei Kälteleistungen über 800 kW seien relativ große Kältemittelfüllmengen erforderlich und die KW-Anlagen könnten nur noch explosionsgeschützt aufgestellt werden¹²².

Weitere Fachleute¹²³ sehen ab 500 kW Kälteleistung in Ammoniak die bessere Kältemittel-Alternative. Da jedoch die technische Machbarkeit des Einsatzes von KW als Kältemittel im Vordergrund unseres Vorhabens steht, werden diese Einwände nur insofern berücksichtigt, als sie eine Senkung der Marktdurchdringungsraten, die für das gesamte obere Leistungsspektrum gelten, nahelegen. Von den Flüssigkeitskühlsätzen bis 1 MW Leistung, fallen ca. 10 % der Anlagen in den Leistungsbereich zwischen 800 kW und 1.000 kW (Eurovent-Verkaufszahlen 2011). Da Anlagen mit höheren Leistungen auch größere Füllmengen haben und die Berechnungen sich letztlich auf Mengen an Kältemittel beziehen, werden diese 10 % der Anlagen auf 20 % der Kältemittel umgerechnet. Die Marktdurchdringungsraten beziehen sich also nicht auf Geräte, sondern auf Kältemittel-Mengen.

Projektionen: Die Projektionen sind bis 2040 an die Verkaufszahlen der letzten Jahre angelehnt. Wie auch bei der Anwendung Raumklimatisierung flacht die Bestandsentwicklung entsprechend der Studie Energieziel 2050 im Jahr 2040 ab (UBA 2010).

Bei dieser Projektion der Bestände werden KW-Flüssigkeitskühlsätze, die als Ersatz von VRF-Anlagen vorgeschlagen werden, nicht eingerechnet. Alle Daten und Berechnungen dazu finden sich in den entsprechenden Abschnitten zu VRF-Anlagen (Raumklimageräte).

II.3 Annahmen für Raumklimageräte

Vier Untergruppen von Raumklimageräten werden unterschieden:

- Mobile Geräte

¹²¹ Thorsten Ewert, Frigoteam (persönliche Mitteilung an Öko-Recherche 25.03.13).

¹²² Thorsten Ewert, Frigoteam (persönliche Mitteilung an Öko-Recherche 25.03.13).

¹²³ Alexander Cohr Pachai, Johnson Controls (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 05.04.13) und Daniel Colbourne, Heat, Präsentation auf UNEP Chiller Conference, Kairo 2010.

- Einfach-Split (mit Fensterklimageräten¹²⁴)
- Multi-Split (ohne VRF-Funktion)
- VRF-Geräte

Die meisten technischen Daten für Raumklimageräte stammen aus Schwarz *et al.* (2011, Annexes) und wurden im Rahmen des Vorhabens „Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006“ aktualisiert.

Mobile Raumklimageräte

In Tabelle 34 sind die technischen Daten und Kostendaten für die Referenztechnologie (RefTech) und der Kohlenwasserstoff-basierten mobilen Klimageräte gelistet.

Tabelle 34: Technische Daten und Kostendaten für mobile Klimageräte

		RefTech R410A	KW-Alternative R290
Install. Kälteleistung	kW	3	3
El. Aufnahme	kW	1,2	1,1
SEER		2,6	2,7
Laufzeit pro Jahr	h/y	500	500
Investitionskosten Anlage	€	300	300
Kältemittelfüllmenge	kg	0,75	0,38
GWP des generierten Kältemittels		2.088	3
Lebensdauer	Jahre	10	10
Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für RefTech)	€/a	2,50	2,50
Leckrate	%	2,5	2,5
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	0,02	0,01
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	0,12	0,00
Energieverbrauch	kWh/a	580	550
Preis kWh el	€	0,21	0,21
Energiekosten	€/a	200	190
Jährliche Gesamtkosten	€/a	240	230
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	50
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	100
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	100
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	100

¹²⁴ Fensterklimageräte spielen auf dem deutschen Markt nur eine geringe Rolle und werden deshalb mit Einfach-Split-Geräten zusammengefasst.

Befüllungsemissionen werden bei Mobilgeräten nicht eingerechnet, da sie ausschließlich im Ausland hergestellt und befüllt werden.

Laufzeit pro Jahr: Nach EcoDesign (2008) Draft Lot 10 Task 2 (DG TREN) (S. 24) liegt die durchschnittliche Anzahl von Tagen mit Kühlbedarf in Deutschland bei 122 (entsprechend US-Definition¹²⁵). Wenn wir annehmen, dass die Geräte an diesen Tagen zwischen vier und fünf Stunden in Betrieb sind, ergibt sich ein Schätzwert von ca. 500 Stunden im Jahr.

SEER: Wir nehmen einen mittleren saisonalen Wirkungsgrad von mobilen Geräten von 2,6 bei F-Gas-basierten Geräten an. Dieser Wert entspricht dem Mindeststandard nach EU Richtlinie 206/2012 ab 01.01.2014. Die chinesische Firma Gree produziert Geräte mit R410A und Propan. Ihren Angaben nach sind die propanbasierten Klimaanlage 10 % effizienter als die mit 410A gefüllten Geräte. Wir treffen eine konservative Schätzung von 5 % besserer SEERs von R290 Geräten gegenüber HFKW-Klimageräten.¹²⁶

Investitionskosten: Der chinesische Hersteller Gree produziert mobile Klimageräte mit Kohlenwasserstoffen, die ca. 10 % günstiger als HFKW Geräte desselben Herstellers¹²⁷. Als konservative Schätzung nehmen wir gleiche Preise an.

Einfach-Split-Klimageräte

In Tabelle 35 sind die technischen Daten und Kostendaten für die Referenztechnologie (RefTech) und der KW-basierten Einfach-Split-Geräte gelistet.

Tabelle 35: Technische Daten und Kostendaten für Einfach-Split-Geräte

		RefTech R410A	KW-Alternative R290
Install. Kälteleistung	kW	4,5	4,5
El. Aufnahme	kW	1	0,9
SEER		4,6	4,8
Laufzeit pro Jahr	h/y	1.500	1.500
Investitionskosten Anlage	€	900	950
Kältemittelfüllmenge	kg	1,5	0,6
GWP des generierten Kältemittels		2.088	3
Lebensdauer	Jahre	10	10
Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für RefTech)	€/a	8,50	8,50
Leckrate	%	5,0	5,0
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	0,08	0,08
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	0,27	0,00
Energieverbrauch	kWh/a	1.500	1.400

¹²⁵ Tage mit durchschnittlicher Temperatur über 18,5°C.

¹²⁶ Firma Gree, Präsentation in Bangkok 22.07.2012.

¹²⁷ Firma Gree, Präsentation in Bangkok 22.07.2012.

Preis kWh el	€	0,21	0,21
Energiekosten	€/a	315	315
Jährliche Gesamtkosten	€/a	421	416
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	20
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	60
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	99
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	99

SEER: Nach EU Richtlinie 206/2012 müssen Einfach-Split Geräte bis 12 kW ab 01.01.2014 eine Arbeitszahl von 4,6 aufweisen. Dieser Wert wird von uns für die HFKW-Geräte genutzt. Für Propan-basierte Geräte nehmen wir einen um 5 % besseren SEER an.

Investitionskosten: Ein Experte schätzt die Mehrkosten für KW-Geräte auf ca. 6 %¹²⁸.

Füllmenge: Von einem Experten wird für KW-Geräte eine Füllmenge zwischen 0,5 bis 0,6 kg als realistischer mittlerer Wert angenommen. Wir verwenden deshalb 0,6 kg¹²⁹.

Multi-Split-Klimageräte ohne VRF-Funktion

In Tabelle 36 sind die technischen und Kosten-Daten für die Referenztechnologie (RefTech) und der KW-basierten Multi-Split-Geräte gelistet.

Tabelle 36: Technische und Kostendaten für Multi-Split-Geräte

		RefTech R410A direkt	AT R290 direkt
Install. Kälteleistung	kW	7,25	7,25
El. Aufnahme	kW	1,6	1,5
SEER		4,6	4,8
Laufzeit pro Jahr	h/y	3.000	3.000
Investitionskosten Anlage	€	5.000	5.300
Kältemittelfüllmenge	kg	2,5	1,3
GWP des generierten Kältemittels		2.088	3
Lebensdauer	Jahre	13	13
Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für RefTech)	€/a	22,00	22,00
Leckrate	%	4,5	4,5
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	0,11	0,06
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	0,31	0,0
Energieverbrauch	kWh/a	4.700	4.500
Preis kWh el	€	0,21	0,21
Energiekosten	€/a	1.900	1.800

¹²⁸ Daniel Colbourne, Heat (Email 12.04.13).

¹²⁹ Daniel Colbourne, Heat (Email 12.04.13).

Jährliche Gesamtkosten	€/a	2.400	2.350
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	20
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	60
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	95
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	95

Kälteleistung: Die Kälteleistung von Multi-Split-Geräten beginnt bei ca. 4 kW und geht bis ca. 9 oder 12 kW.^{130, 131}

SEER: Nach EU Richtlinie 206/2012 müssen Split Geräte bis 12 kW ab 01.01.2014 eine Arbeitszahl von 4,6 aufweisen. Dieser Wert wird von uns für die HFKW-Geräte genutzt. Für propanbasierte Geräte nehmen wir einen um 5 % besseren SEER an.

Investitionskosten: Die Investitionskosten der AT liegen etwas über denen für die Referenzanlage, da zum Beispiel spezielle Ventile (shut-off valves) notwendig sind, die verhindern, dass größere Mengen Kältemittel austreten, wenn die Anlage ausgestellt ist. Während die Anlage läuft, würde austretendes Kältemittel sofort in der Luft vermischt, wodurch die Konzentration zu gering für eine Entzündung wäre. Plastikboxen, in denen elektrische Kontakte untergebracht werden, um Zündfunken zu vermeiden, tragen hingegen nicht zur Preisdifferenz bei.

Füllmenge: Ein Experte geht für die Referenztechnologie von einer mittleren Füllmenge von 2,5 kg aus. Dieser Wert wird auch von uns genutzt¹³². Die maximale Füllmenge inklusive der Leitungen dürfte bei 3,5 kg liegen.¹³³

Multi-Split-Klimageräte mit VRF-Funktion

VRF-Klimageräte gehören zu Multi-Split-Geräten und bestehen also aus Innen- und Außeneinheiten. Sie zeichnen sich durch die VRF-Funktion aus. VRF steht für „variable refrigerant flow“, also variabler Kältemittelmassenstrom. Diese Variabilität wird durch einen regelbaren Kompressor und elektrische Expansionsventile ermöglicht. Jede Inneneinheit verfügt über ein eigenes solches Ventil (Aynur 2010). VRF-Geräte sind zumeist leistungsstärkere Geräte als Multi-Split Geräte ohne VRF-Funktion. Nach Einschätzung eines Experten liegt die ungefähre Leistungsgrenze zwischen gewöhnlichen Multi-Split und VRF-Geräten bei ca. 12 kW.¹³⁴ Aufgrund der höheren Zahl von Inneneinheiten (Multi-Split bis 8 Inneneinheiten und VRF-Anlagen bis zu 60 Inneneinheiten¹³⁵), entsprechend größeren Kälteleistungen und Füllmengen, ist es nicht möglich, bei gleicher Bauweise KW als Kältemittel einzusetzen. Es können nur indirekte Systeme

¹³⁰ Klaus Tadajewski, Daikin (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 24.05.2013).

¹³¹ Stefan Thie, Fujitsu (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 07.05.2013).

¹³² Daniel Colbourne, Heat (Email 12.04.13).

¹³³ Stefan Thie, Fujitsu (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 07.05.2013).

¹³⁴ Stefan Thie, Fujitsu (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 07.05.2013).

¹³⁵ Stefan Thie, Fujitsu (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 07.05.2013).

(Flüssigkeitskühlsätze) als Alternativtechnologie verwendet werden (siehe Tabelle 37 und Kapitel 1).

Tabelle 37: Technische Daten und Kostendaten für VRF-Geräte und alternativen Flüssigkeitskühlsätzen

		RefTech R410A indirekt	AT R290 indirekt (Sole)
Install. Kälteleistung	kW	38	38
El. Aufnahme	kW	9	9
SEER		4,4	4,4
Laufzeit pro Jahr	h/y	3.000	3.000
Investitionskosten Anlage	€	25.000	30.000
Kältemittelfüllmenge	kg	30	5
GWP des generierten Kältemittels		2.088	3
Lebensdauer	Jahre	13	13
Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für RefTech)	€/a	282,00	75
Leckrate	%	4,6	2,8
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	1,37	0,14
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	3,7	0,0
Energieverbrauch	kWh/a	26.000	26.000
Preis kWh el	€	0,21	0,21
Energiekosten	€/a	5.500	5.500
Jährliche Gesamtkosten	€/a	8.300	8.500
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	40
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	75
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	90
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	90

SEER: Nach Ecodesign (2008) liegt der durchschnittliche COP von VRF-Geräten bei 3,3. Entsprechend der Faustregel des Fachverbandes Gebäude-Klima e.V. (2012) liegt die saisonale Leistungszahl (SEER) etwa 33 % höher und damit bei 4,4. Dieser Wert wird auch für die Flüssigkeitskühlsätze angenommen, die als alternative Technologie in Frage kommen.

Investitionskosten: Bei VRF-Geräten und Flüssigkeitskühlsätzen machen die Installationskosten den größten Teil der Investitionskosten aus. In der EcoDesign-Studie (2009, Lot 6, Task 2; S.57) werden die Gesamtkostenspannen für VRF-Geräte und Flüssigkeitskühlsätze verglichen. Die Spanne bei VRF-Geräten ist deutlich größer als bei Flüssigkeitskühlsätzen. Die Kosten für Flüssigkeitskühlsätze liegen im oberen Bereich der Spanne von VRF-Geräten. Deshalb ist es nicht notwendig, die Installationskosten hier eingehend zu betrachten. Ein Experte gab zudem verschiedene Argumente, weshalb die Installation von Flüssigkeitskühlsätzen auch günstiger sein kann, als die von VRF-Geräten¹³⁶: während bei VRF-Geräten Kältemittelleitungen aus Kupfer oder Stahl verwendet werden, ist es bei Flüssigkeitskühlsätzen möglich, Plastikleitungen zu verlegen.

¹³⁶ Thorsten Ewert, Frigoteam (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 17.05.2013).

Hinzu kommt, dass es weniger aufwendig ist Wasserleitungen zu verlegen als Kältemittelleitungen. Der Grund dafür ist, dass in Kältemittelleitungen Schmiermittel läuft, das sich an keiner Stelle im Kreislauf ansammeln darf, da dies sonst zu technischen Komplikationen führt.

Bei der Bestimmung der Investitionskosten für den Flüssigkeitskühlsatz wurde in zwei Schritten vorgegangen. Erstens wurde der Preis einer Anlage ermittelt, die als solche einen vergleichbaren SEER aufweist. In einem zweiten Schritt wurde berücksichtigt, dass indirekte Systeme aufgrund des doppelten Wärmeübergangs und der notwendigen Pumpsysteme mehr Energie verbrauchen als direkte Systeme, wenn nicht entsprechend effiziente Geräte genutzt werden. Die Kosten für die Inneneinheiten können als gleich angenommen werden.¹³⁷ Ein weiterer Experte hat den gleichen Preis für eine Anlage mit 40 kW Leistung genannt, auch die Pumpen für die Wasser/Soleleitungen sind darin enthalten.¹³⁸

Füllmenge: ein großer Teil der Füllmenge (HFKW) befindet sich in den teils sehr langen Kältemittel-Leitungen (ca. 2/3). Wenn die Anlagen auch zum Heizen eingesetzt werden, erhöht sich die Menge um ca. 30 %, da dafür zusätzliche Leitungen nötig sind. D. Colbourne gab eine typische Spanne von 700 g bis 900 g Kältemitteln pro kW Kälteleistung an. Diese Angaben decken sich auch mit den Angaben eines weiteren Experten¹³⁹. Wir nutzen einen mittleren Wert von 800 g/kW, also 30 kg bei 38 kW Leistung.

Weitere Bemerkungen: In dieser Studie wird primär nur die Kühlfunktion von Klimaanlage betrachtet, dies gilt auch für VRF-Geräte. Auch die betrachteten Flüssigkeitskühlsätze können genauso als Wärmepumpe eingesetzt werden wie VRF-Anlagen. Ausschlaggebend hierfür ist gleichermaßen wie bei VRF-Geräten die Auslegung der Anlagen. Als Beispiel können die Anlagen von Walter-Meier dienen, deren unterer Leistungsbereich bei 40 kW Leistung liegt.¹⁴⁰ Eine weitere Alternative, die aktuell auf den Markt kommt, allerdings bisher nur mit F-Gasen arbeitet, ist das HVRF System von Mitsubishi. Es spricht jedoch nichts dagegen, dass die Anlagen auch mit KW arbeiten können. HVRF ist ein Flüssigkeitskühlsatz mit zusätzlicher Kontrollstation, die erlaubt, Wärmemengen innerhalb eines Gebäudes ähnlich einer VRF-Anlage zu verschieben. Neben einem höheren Komfort ermöglichen die Anlagen den Verzicht auf größere Mengen Kältemittel im Gebäude, das sonst im Falle einer großen Leckage in kleinen Räumen eine Gefahrenquelle sein kann.

Projektionen: Für die stationäre Klimatisierung, also die Anwendungen Raumklima und Flüssigkeitskühlsätze¹⁴¹, wird sowohl allgemein für Europa als auch für Deutschland im Speziellen ein sehr großes Wachstumspotential angenommen (Ecodesign 2008, WWF 2009, UBA 2010). Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass die Zahl der Neuinstallationen bis 2040 dem Trend der Verkaufszahlen zwischen 2000 bis 2011 entspricht.

¹³⁷ Daniel Colbourne, Heat (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 22.05.2013).

¹³⁸ Thorsten Ewert, Frigoteam (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 17.05.2013).

¹³⁹ Michael Lechte, Mitsubishi schätzte die Mengen einer VRf-Anlage mit 35 - 40 kW auf 30-40 kg (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 16.05.2013).

¹⁴⁰ Herr Döft, Walter-Meier (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 07.05.2013).

¹⁴¹ Flüssigkeitskühlsätze werden zum größten Teil in der Klimatisierung eingesetzt.

Die WWF Studie (2009), die auch als Basis für den Bericht Energieziel 2050 des UBA (2010) diente, bezieht sich auf den Energieverbrauch und nicht direkt auf den Bestand. Der Bestand kann jedoch vom Energieverbrauch abgeleitet werden. Hierzu wird die jährliche Laufzeit in Stunden benutzt und angenommen, dass sich die Wirkungsgrade nicht wesentlich ändern. Bei einer Verbesserung des Wirkungsgrades würden die Bestände noch stärker wachsen als hier angenommen (denn dann würden mit der im WWF-Bericht berechneten Energiemenge noch mehr Anlagen laufen). Aufgrund der projizierten starken Zunahme der Bestände erscheint dies jedoch unwahrscheinlich.

Eine Ausnahme bezüglich der Wachstumsraten bilden die mobilen Raumklimageräte, für die angenommen wird, dass die Neuinstallationen und somit auch die Bestände stagnieren und ein maximaler Bestand von 800.000 nicht überschritten wird. Der im Rahmen von EcoDesign (2008) berechnete Wert von 1.100.000 weicht davon nur wenig ab.

Nach EcoDesign (2008) liegt die Sättigung des Bestandes aller Split-Geräte bis 12 kW Kälteleistung in Deutschland bei ca. 2.080.000. In diesem Leistungsbereich handelt es sich größtenteils um Einfach-Split-Geräte. Unsere projizierten Bestände von Einfach-Split stagnieren ab dem Jahr 2040 bei 2.800.000. In Anbetracht des Projektionszeitraumes von fast 40 Jahren sind die Unterschiede zwischen diesen Werten als eher gering einzuschätzen.

II.4 Annahmen für Transportkälte-Lkw

Die Kompressoren der Kälteanlage von Kühlfahrzeugen (Lkw und Anhänger) werden entweder direkt über einen Dieselmotor angetrieben, oder aber der Diesel wird über einen Generator zur Stromerzeugung genutzt, womit der Kompressor angetrieben wird (RTOC 2010, S. 95).¹⁴² Lkw mit Elektromotor können im Stillstand über Kabel an das Stromnetz angeschlossen werden (RTOC 2010). An dieser Stelle werden nur Lkw bzw. ihre Anhänger betrachtet (Größenklassen N2 von 3,5 t bis 12 t und N3 über 12 t Gesamtgewicht). Diese Antriebsenergie aus dem Stromnetz wird aufgrund des geringen Anteils bei diesen Lkw mit Anhänger am Gesamtverbrauch nicht weiter berücksichtigt. Auch Eutektik-Fahrzeuge werden als Sonderfall mit geringer Verbreitung nicht in die Berechnungen aufgenommen.

Wie bereits im allgemeinen Teil des Methodenskapitels beschrieben, muss die Berechnung der indirekten Emissionen bei Lkw-Kälteanlagen anders erfolgen als bei den bisher betrachteten Systemen, die an das Stromnetz angeschlossen sind. Der Strompreis ergibt sich aus dem Preis pro Liter Diesel und der Menge an Strom, die daraus gewonnen wird (0,45 €/kWh).

Die meisten technischen Daten für Transportkälte-Lkw stammen aus Schwarz *et al.* (2011, Annexes) und wurden im Rahmen des Vorhabens „Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006“ (FKZ 3711 43 324) auf den aktuellen Stand gebracht.

¹⁴² Manfred Burke (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 23.04.2012).

In Tabelle 38 sind die technischen Daten und Kostendaten für die Referenztechnologie (RefTech) und der KW-Kühlaufbauten von Lkw, bzw. Anhängern gelistet.

Tabelle 38: Technische Daten und Kostendaten für Kühlaufbauten bei Lkw

		RefTech R404A: 80 % R410A: 12 % R134a: 8 %	KW-Alternative R1270 direkt
Install. Kälteleistung	kW	8	8
El. Aufnahme	kW	5,4	5,1
EER		1,5	1,6
Laufzeit pro Jahr	h/y	5.500	5.500
Investitionskosten Anlage	€	20.000	22.400
Kältemittelfüllmenge	kg	5	2,5
GWP des generierten Kältemittels		3.503	3
Lebensdauer	Jahre	10	10
Kosten für Instandhaltung und Wartung (Art. 3+4 für RefTech)	€/a	67,7	67,7
Leckrate	%	10,5	10,5
Betriebsemissionen (Kältemittel)	kg/a	0,53	0,26
Kältemittlemissionen GWP	tCO ₂ -Äq./a	2,30	0,0
Energieverbrauch	kWh/a	29.000	28.000
Kosten Diesel (Generator) I	€	1,5	1,5
Preis kWh el	€	0,45	0,45
Energiekosten	€/a	11.200	10.600
Jährliche Gesamtkosten	€/a	13.700	13.400
techn. mögl. Marktdurchdringung 2015	%	-	20
techn. mögl. Marktdurchdringung 2020	%	-	60
techn. mögl. Marktdurchdringung 2030	%	-	100
techn. mögl. Marktdurchdringung 2050	%	-	100

Kälteleistung und elektrische Antriebsleistung: Es ist üblich, die Kälteleistung entsprechend der internationalen ATP-Vereinbarung zu bestimmen (ATP-Vereinbarung¹⁴³) (RTOC 2010). Die beiden Messpunkte liegen bei -20 °C und 0 °C im Kühlkoffer bei jeweils 30 °C Außentemperatur. Die ATP-Vereinbarung bezieht sich lediglich auf Langstreckentransporte, sogenannte „Verteiler“-Transporte werden nicht berücksichtigt.¹⁴⁴ Es ist zu beachten, dass dadurch der wirkliche Verbrauch von Treibstoff nicht wiedergegeben wird (Repice und Stumpf 2007). Bei jeder Öffnung des Kühlkoffers, um Ware ein- oder auszuladen, wird Energie gebraucht, um die eindringende

¹⁴³ Accord relatif aux transports internationaux de denrées périssables et aux engins spéciaux à utiliser pour ces transports; ATP-Abkommen auf der Internetseite des International Institute for Refrigeration: http://www.iifir.org/userfiles/file/webfiles/regulation_files/ATP_EN.pdf

¹⁴⁴ Informationsblatt des TÜV Süd: <http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1139221651472619300056/ATP-Info.pdf>. Als Verteiler wird ein Lkw bezeichnet, der Ware über relativ kurze Strecken an mehrere Empfänger verteilt.

Wärme zu kompensieren und die Ware kühl oder kalt zu halten. Hinzu kommt der zusätzliche Energieverbrauch, um die Kälteanlage abzutauen (Repice und Stumpf 2007). Bei Verteilern ist gegenüber Langstreckentransportern 16 % mehr Energieverbrauch zu veranschlagen (Repice und Stumpf 2007), da der Kühlkoffer häufiger geöffnet wird. Burke und Großkopf (2011) nennen im Tiefkühlbereich COPs von 0,8 bis 1,2 für HFKW Aggregate. Für höhere Temperaturen sind die COPs besser, deshalb veranschlagen wir einen mittleren Wert von 1,5 für HFKW. Wir gehen von einer Kälteleistung von 8 kW (Burke und Großkopf 2011) und einem elektrischen Anschlusswert von 5,4 kW bei der Referenztechnologie aus. Die Effizienz von Propenanlagen wird ca. 3,5 % (1 bis 6 %) besser sein als die von R410A und sogar 28 % besser als R404A (Burke und Großkopf 2011). Andere Experten geben die bessere Effizienz von propenbasierten Geräten mit ca. 5 bis 15 % an¹⁴⁵. Wir treffen eine konservative Schätzung von 5 % höherer Effizienz.

Investitionskosten: Aufgrund von Lüftern und Gasdetektoren als Explosionsschutzvorrichtungen ist ein Aufpreis von ca. 10 % anzunehmen.¹⁴⁶ Es gibt bisher für Transportkälte-Lkw nur Pilotanlagen mit KW, weshalb keine Marktpreise für solche Anlagen verfügbar sind.

Füllmengen: Die Füllmengen entsprechen bei der Referenztechnologie den Werten wie sie im RTOC (2010) gegeben sind. Die Propenfüllmenge macht ca. die Hälfte davon aus. Die Füllmengen sind bei Lkw generell relativ hoch angesetzt, um im Falle von Leckagen ein Funktionieren der Anlage zu garantieren. Eine Reparatur ist bei mobilen Anwendungen je nach Aufenthaltsort schwieriger durchzuführen als bei stationären Anlagen.¹⁴⁷

Technisch mögliche Marktdurchdringungsraten: Eine vollständige Umstellung der Produktion ist innerhalb weniger Jahre möglich.¹⁴⁸ Der Einsatz von KW in den Aggregaten ist nur bei Verwendung eines hermetischen Kompressors möglich. Bisher ist der Kompressor gewöhnlich direkt über eine Kupplung an einen Verbrennungsmotor angeschlossen, also von offener Bauart¹⁴⁹.

Projektionen: Im Bericht des WWF 2009 wird eine stetige Zunahme von Lkw-Transporten (Straßengüterverkehr) von 2010 bis 2050 um fast 150 % projiziert. Es wird davon ausgegangen, dass diese Zunahme einer Bestandszunahme entspricht. Diese Annahme kann getroffen werden, da Logistikunternehmen immer versuchen, ihre Lkw maximal auszulasten¹⁵⁰. Im Rahmen der Berichterstattung (Schwarz *et al.* 2012) konnte gezeigt werden, dass die Bestandsentwicklung von Lkw mit Kühl Aufbau mit der aller Lkw korreliert. Dadurch ist es plausibel, die prozentuale Zunahme des Straßengüterverkehrs auf die des Bestandes von Kühl-Lkw zu übertragen.

¹⁴⁵ Nach Michael Kauffeld ergeben sich 10 bis 15 % bessere Effizienz schon aus grundsätzlichen Eigenschaften dieses Kältemittels. Besonders wichtig hierbei sind besserer Wärmeübergang und Öllöslichkeit. (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 23.04.13); Nach Holger König, ref-tech Engineering, liegt der zu erwartende Wert zwischen 5 und 15 % (Email 23.04.13).

¹⁴⁶ Michael Kauffeld (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 23.04.13).

¹⁴⁷ Michael Kauffeld (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 15.02.13).

¹⁴⁸ Manfred Burke, Frigoblock (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 13.05.13).

¹⁴⁹ Hr. Seibold, Thermoking (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche, 07.05.13).

¹⁵⁰ Herr Peterknecht, Transthermos (telefonische Mitteilung an Öko-Recherche 07.05.2013).

III. Mögliche Auswirkungen zusätzlicher Elemente der neuen F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014)

In Tabelle 39 ist qualitativ beschrieben, wie sich die zusätzlichen Elemente der neuen F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) auf das Referenzszenario und das KW-Szenario auswirken können, bzw. welche Überlegungen angestellt werden müssten, um eine neues Referenzszenario und KW-Szenario zu entwickeln.

Tabelle 39: Abschätzung der Auswirkungen von zusätzlichen Elementen der neuen F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) auf das Referenzszenario und das Kohlenwasserstoff-Szenario

	Elemente der neuen F-Gas Verordnung	Implikationen für ein neues Referenzszenario 2	Implikationen für ein neues KW-Szenario 2
Raumklimageräte (Mobile & Split-Geräte) RefTech: R410A	<p>Allgemeine Preissteigerung aufgrund der europäischen Mengenbeschränkungen für HFKW (Art. 13, Annex V) und des damit verbundenen Preissignals, vor allem für F-Gase mit hohem GWP (hier R410A). Für HFKW-Mengen, die in importierten vorbefüllten Geräten enthalten sind, muss ab 2017 nachgewiesen werden, dass die im Quotensystem erfasst worden sind (Art. 12).</p> <p>Mobile Raumklimageräte (Art. 9, Annex III): Inverkehrbringungsverbot neuer Geräte (hermetisch geschlossen) mit HFKW-Kältemitteln mit GWP ≥ 150 ab 2020</p> <p>Split-Geräte (Art. 9, Annex III):: Inverkehrbringungsverbot neuer Geräte mit HFKW-Kältemitteln mit GWP ≥ 750 ab 2025.</p>	<p>Geänderte Annahmen sind zu erarbeiten:</p> <p>Ab 2020/2025: Neue Referenztechnologie einzusetzen, wobei folgende Fragen zu klären sind:</p> <p>Soll nur R32 oder sollen auch andere Kältemittel wie R1234yf, HFO-Gemische, CO₂, Propan angenommen werden? Ist von geringeren Füllmengen auszugehen?</p> <p>Wie werden sich Preise für neue Kältemittel wie R32 entwickeln?</p> <p>Von welcher Effizienz der Geräte ist auszugehen?</p>	<p>Direkte Emissionen sind deutlich niedriger, weil Emissionen der neuen Referenztechnologie im Vergleich zu R410A geringer sein werden, spätestens nach 2025 (Verbot bei Split-Geräten).</p> <p>Dadurch sinkt auch die mögliche Emissionsreduktion durch den Einsatz von KW.</p>

<p>Wärmepumpen</p> <p>RefTech:</p> <p>R410A: 93%</p> <p>R134a: 5%</p> <p>R407C: 2%</p>	<p>Allgemeine Preissteigerung aufgrund der europäischen Mengenbeschränkungen für HFKW ab 2015 (Art. 13, Annex V) und des damit verbundenen Preissignals, vor allem für F-Gase mit hohem GWP, hier besonders R410A.</p>	<p>Geänderte Annahmen zur Verschiebung der Aufteilung verwendeter Kältemittel in der Referenztechnologie sind einzusetzen:</p> <p>Dabei könnte ein allmählicher Einsatz von vorwiegend R134, eventuell weiterer Kältemittel wie z. B. R32, an Stelle von R410A angenommen werden.</p>	<p>Direkte Emissionen sinken etwas weil Emissionen der neuen Referenztechnologie im Vergleich zu der mit hohem Anteil an R410A geringer sein werden. Dadurch fällt auch die mögliche Emissionsreduktion durch den Einsatz von KW etwas niedriger aus.</p>
<p>Flüssigkeitskühlsätze</p> <p>RefTech:</p> <p>Bis 100 kW: R410A</p> <p>über 100kW: R134a</p>	<p>Allgemeine Preissteigerung aufgrund der europäischen Mengenbeschränkungen für HFKW ab 2015 (Art. 13, Annex V) und des damit verbundenen Preissignals, vor allem für F-Gase mit hohem GWP, hier besonders R410A.</p> <p>Bei importierten vorbefüllten Geräten muss ab 2017 nachgewiesen werden, dass die enthaltenen HFKW-Mengen im Quotensystem erfasst worden sind (Art. 12).</p>	<p>Geänderte Annahmen sind zu erarbeiten: Dabei könnte eine allmähliche Verschiebung der Referenztechnologie für kleinere Anlagen hin zu Kältemitteln/Gemischen mit niedrigerem GWP angenommen werden, eventuell auch unter Einbezug von HFO-Gemische. Geringere Füllmengen könnten ebenfalls in die Annahme einfließen. Unter Umständen könnte auch die Aufteilung der Einsatzbereiche für NH₃ und KW geändert werden. Folgende weitere Fragen sind zu klären:</p> <p>Wie werden sich Preise für neue Kältemittel wie HFO-Gemische entwickeln?</p> <p>Von welcher Effizienz der Geräte ist auszugehen?</p>	<p>Direkte Emissionen sinken etwas weil Emissionen der neuen Referenztechnologie im Vergleich zu der mit hohem Anteil an R410A geringer sein werden. Dadurch fällt auch die mögliche Emissionsreduktion durch den Einsatz von KW etwas niedriger aus.</p>
<p>Transportkälte</p> <p>RefTech:</p> <p>R404A: 80 %</p> <p>R410A: 12%</p> <p>R134a: 8%</p>	<p>Allgemeine Preissteigerung aufgrund der europäischen Mengenbeschränkungen für HFKW ab 2015 (Art. 13, Annex V) und des damit verbundenen Preissignals, vor allem für F-Gase mit hohem GWP, hier besonders R404A.</p> <p>Dichtheitsprüfungen (Art. 3), die auch für Transportkälteanlagen erforderlich sind, werden nur in geringem Maße zu Kostenerhöhungen beitragen, da sie in Deutschland bereits heute gemäß</p>	<p>Geänderte Annahmen sind zu erarbeiten: Dabei könnte eine allmähliche Verschiebung der Referenztechnologie hin zu Kältemitteln/Gemischen mit niedrigerem GWP und/oder geringeren Füllmengen angenommen werden. Zunächst wird vermutlich R134a eine Rolle spielen, eventuell auch Propan, CO₂, HFO-Gemische.</p> <p>Folgende weitere Fragen sind zu klären:</p>	<p>Emissionen der neuen Referenztechnologie werden im Vergleich zu der mit hohem Anteil an R404A deutlich geringer sein. Dadurch fällt auch die mögliche Emissionsreduktion durch den Einsatz von Kohlenwasserstoffen niedriger aus.</p>

Kohlenwasserstoffe sicher als Kältemittel einsetzen

	Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung regelmäßig durchgeführt werden.	Wie werden sich Preise für neue Kältemittel wie HFO-Gemische entwickeln? Von welcher Effizienz der Geräte ist auszugehen?	
--	--	--	--

IV. Relevanz der Maßnahmen für die Hauptanwendungen

Tabelle 40: Bewertung der Relevanz verschiedener Maßnahmen für die Hauptanwendungen. + signalisiert hohe, und - niedrige Relevanz. Ein leeres Feld bedeutet keine Relevanz.

Abkürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeitskühlsätze	Erläuterung
M1	MAP Neuinstallation					<p>Raumklimageräte: Keine Relevanz, da KW-Geräte derzeit nicht auf dem deutschen Markt erhältlich sind. Allerdings können, gemäß der überarbeiteten Förderrichtlinie für gewerbliche Kälteanlagen, zukünftig auch Kompressions-Klimaanlagen mit einer elektrischen Antriebsleistung des Verdichters von 10 kW bis 150 kW gefördert werden, damit sind auch Multi-Split- und VRF-Geräte förderfähig.</p> <p>Haushaltswärmepumpen: Keine Relevanz, da es bereits ein MAP für Wärmepumpen gibt. Eine Anpassung des bestehenden Programms wird als Maßnahme vorgeschlagen, s. M3</p> <p>Transportkühlung: Keine Relevanz, da KW-Geräte derzeit nicht auf dem deutschen Markt erhältlich sind.</p> <p>Flüssigkeitskühlsätze: Keine Relevanz, da Förderung im Rahmen des Förderprogramms für gewerbliche Anlagen auch bereits erfolgt. Dies unterliegt derzeit einer Anpassung.</p>
M2	MAP Altbestand					Siehe M1

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
M3	Kältemittelbonus (Wärmepumpe)		+			<p>Raumklimageräte: Keine Relevanz, da es kein existierendes Förderprogramm gibt, siehe allerdings M1.</p> <p>Haushaltswärmepumpen: Hohe Relevanz für bestehendes MAP. Die existierenden Boni werden im Rahmen des MAPs „Heizen mit Erneuerbaren Energien“ im Allgemeinen gut angenommen¹⁵¹. Es ist daher anzunehmen, dass auch ein Kältemittel-Bonus von den Endverbrauchern angenommen würde.</p> <p>Transportkühlung: Keine Relevanz, da es kein existierendes Förderprogramm gibt.</p> <p>Flüssigkeitskühlsätze: Das existierende Förderprogramm für gewerbliche Klima- und Kälteanlagen berücksichtigt bereits die Verwendung natürlicher Kältemittel. Im Rahmen der Basisförderung werden Altanlagen mit 15% der Nettoinvestitionskosten gefördert und mit 25 %, wenn natürliche KM verwendet werden. Gemäß der überarbeiteten Förderrichtlinie, können nur noch Altanlagen gefördert werden, deren KM einem GWP-Wert < 2500 aufweist. Bei Neuinstallationen ist der Einsatz natürlicher KM für eine Basisförderung verpflichtend. Im Rahmen der Bonusförderung steigt der Fördersatz von 25 % auf 35 %, wenn natürliche KM verwendet werden.</p>

¹⁵¹ S.Stahl (BMU), 26.09.2013, mündl. Mitteilung.

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
M4	Deklaration des Kältemittels in der BAFA-Liste (Wärmepumpe)		+			Haushaltswärmepumpen: Diese Maßnahme bezieht sich nur auf Wärmepumpen, wo hohe Relevanz besteht, um die Transparenz zu erhöhen, welches Kältemittel in welcher Wärmepumpe verwendet wird.
M5	Umweltfreundliche Beschaffung		+		+	<p>Raumklimageräte: Keine Relevanz, da Geräte derzeit nicht auf dem deutschen Markt erhältlich sind.</p> <p>Haushaltswärmepumpen: Hohe Relevanz, da es auch Bundesbauten in der Größenordnung von Mehrfamilienhäusern gibt , und Wärmepumpen oft in Bundesbauten eingesetzt werden¹⁵².</p> <p>Transportkühlung: Keine Relevanz, da KW-Geräte derzeit nicht auf dem deutschen Markt erhältlich sind.</p> <p>Flüssigkeitskühlsätze: Hohe Relevanz, insbesondere bei größeren Gebäudekomplexen. Im Leitfaden für Nachhaltiges Bauen ist zwar das Ziel definiert grundsätzlich auf maschinelle Kühlung zu verzichten, es ist allerdings fragwürdig, ob dies in Zukunft realisierbar ist, v. a. wenn größere Serverräume mit Klimatisierungsbedarf vorhanden sind. Größere Hersteller (z. B. Trane, McQuay, Carrier) zeigen derzeit kein Interesse an KW- Kältemitteln¹⁵³ und könnten über derartige</p>

¹⁵² N. Kerz (Geschäftsstelle Nachhaltiges Bauen), 08.10.2013, mündl. Mitteilung.

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
						Mechanismen zu einem Umdenken angeregt werden.
M6	Vergünstigte Kredite					s.M1
M7	Selbstverpflichtung		-	-	+	<p>Diese Maßnahme zielt auf den Abschluss einer Selbstverpflichtung von Herstellern oder großen Anwendern zum vermehrten oder ausschließlichen Einsatz von KW-Kältemitteln oder natürlichen Kältemitteln ab. Der Fokus liegt in diesem Projekt auf Herstellern. Die Erfolgsaussichten dieser Maßnahme steigen, je geringer die Anzahl der Beteiligten ist (s. Erfahrungen aus der Halbleiterindustrie).</p> <p>Raumklimageräte: Nicht relevant für Hersteller, da die meisten Hersteller im asiatischen Raum angesiedelt sind.</p> <p>Haushaltswärmepumpen: Wenig relevant, da es zu viele Hersteller für eine erfolgreiche Umsetzung einer Selbstverpflichtung gibt. Denkbar wäre u. U. eine Selbstverpflichtung mit dem Bundesverband Wärmepumpe e. V. auszuhandeln oder die Selbstverpflichtung eines großen Herstellers, jährlich einen bestimmten Anteil seines Verkaufsvolumens mit KW-Geräten abzudecken. Das wäre ein deutliches Signal an den Markt, hängt jedoch stark von der</p>

¹⁵³ D. Colbourne, 10.09.2013, email

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
						<p>Bereitschaft der relevanten Hersteller ab.</p> <p>Transportkühlung: Wenig relevant. Die überschaubare Anzahl an Herstellern spricht zwar für eine mögliche erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme, die Interessen sind allerdings zu unterschiedlich¹⁵⁴. Während die FRIGOBLOCK Grosskopf GmbH derzeit in der Testphase mit KW-Anlagen ist, favorisieren Carrier und Thermoking CO₂-basierte Anlagen, u. a. kryogene Kältetechnik. Eine Einigung auf ein einziges Kältemittel wird von Branchenexperten als unwahrscheinlich erachtet.</p> <p>Flüssigkeitskühlsätze: Sehr relevant, da eine begrenzte Anzahl an Herstellern auch im deutschen Raum zu finden ist. Andere relevante Hersteller sind in Frankreich und Italien angesiedelt, was einer erfolgreichen Umsetzung allerdings nicht im Wege steht, solange die Unternehmen den deutschen Markt beliefern. Eine gemeinsame Absprache wäre v. a. bei Flüssigkeitskühlsätzen kleinerer Leistungsbereiche denkbar (<500kW), wo NH₃ als Kältemittel keine Rolle spielt.</p>
M8	Anpassung von Normen	+	-	+	-	<p>Raumklimageräte: Sehr relevant, s. hierzu Ausführung in Kapitel 4.</p> <p>Haushaltswärmepumpen: Weniger relevant, s. auch Ausführung in Kapitel 4. Bei</p>

¹⁵⁴ H. König, 13.09.2013, mündl. Mitteilung.

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
						<p>Wärmepumpen sind Füllmengen von bis zu 5 kg erlaubt, bei entsprechender Ventilation¹⁵⁵. Dies entspricht einer Kälteleistung von ca. 50 kW und liegt damit über den Leistungsbereich einer Standard-Haushaltswärmepumpe. Mit Einhausung, Außenaufstellung und Ventilationsmaßnahmen sind KW-Wärmepumpen auch nach den derzeit gültigen Normen problemlos einzusetzen, auch wenn dies häufig nicht bekannt ist.</p> <p>Transportkühlung: Sehr relevant. Derzeit wird die DIN EN 378 zur Beurteilung des Stands der Technik herangezogen, auch wenn diese ursprünglich für stationäre Kälteanlagen entwickelt wurde. Eine Anpassung/Erweiterung ist daher notwendig, alternativ kann eine Produktnorm entwickelt werden (s. M9).</p> <p>Flüssigkeitskühlsätze: Wenig relevant, s. auch Ausführung in Kapitel 4. Es besteht zwar Anpassungsbedarf in existierenden Normen, allerdings werden Flüssigkeitskühlsätze mit KW-Kältemittel problemlos und im Einklang mit den derzeit gültigen Normen konzipiert und betrieben bei Berücksichtigung entsprechender Sicherheitsvorkehrungen (z. B. Ventilation, Gasdetektoren). Mit Ausnahme kleinerer Flüssigkeitskühlsätze (< 16kW) sind Einzelabnahmen üblich, wo der Stand der Sicherheitstechnik für jede Anlage geprüft wird.</p>

¹⁵⁵ D. Colbourne, 11.09.2013, mündl. Mitteilung.

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
M9	Produkt- normentwicklung	-	-	+	-	<p>Denkbar wäre ein produktübergreifender Standard für KW-Kältemittel. Die Vor- und Nachteile wurden bereits in Kapitel 4 erläutert. Der größte Nachteil liegt in der Gefahr, produktspezifischen Aspekten nicht gerecht werden zu können, wenn alle Produktgruppen durch einen Standard abgedeckt werden.</p> <p>Transportkühlung: Sehr relevant, da es bisher keinen Standard für Transportkälte gibt.</p> <p>Die Entwicklung einer Produktnorm für die restlichen Anwendungen wird als wenig relevant eingestuft, da es hier bereits Standards und Normen gibt, die teils Überarbeitungsbedarf aufweisen (s. M8).</p>
M10	Förderung von Qualitäts- und Umweltprüfung zur Kennzeichnung von KW- Geräten	+	-	-	-	<p>Raumklimageräte: Sehr relevant, da der Bedarf an Raumklimageräten in Zukunft stark steigen wird und bisher wenige Umwelt- und Qualitätsprüfungen für KW-Geräte vorliegen bzw. ihren Eingang in die Produktkennzeichnung gefunden haben.</p> <p>Haushaltswärmepumpen: Weniger relevant, da es bereits das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Wärmepumpen (RAL-UZ 118) gibt, das jedoch keine Anforderungen an das Kältemittel stellt. Eine Überarbeitung der Vergabegrundlage hinsichtlich KW-Kältemittel ist denkbar, aber nur sinnvoll wenn sich ein Hersteller findet der den Prozess aktiv mitgestaltet. Die Einstufung „wenig relevant“ wurde vorgenommen,</p>

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
						<p>da dieses Umweltzeichen bisher keine breite Akzeptanz unter den Herstellern findet¹⁵⁶ und es bereits andere konkurrierende Label gibt, wie beispielsweise die verpflichtende Ökodesign-Kennzeichnung, sowie das EHPA-Gütesiegel.</p> <p>Transportkühlung und Flüssigkeitskühlsätze: Wenig relevant. Auch wenn die Vergabe von Qualitäts- und Umweltkennzeichnung grundsätzlich möglich ist (vgl. Blauer Engel für Baumaschinen), ist eine Vergabe bei großen Anlagen nicht unbedingt für eine breite Öffentlichkeit wirksam, sondern eher für gewerbliche und industrielle Endkunden.</p>
M11	Informations- broschüren für Klima- und Kältetechniker	-	+	-	+	<p>Raumklimageräte Geringe Relevanz, da KW-Raumklimageräte derzeit nicht auf dem deutschen Markt erhältlich sind und die Wartung von Wärmepumpen in der Regel nicht von Klima- und Kältetechnikern übernommen wird, sondern von Heizungstechnikern.</p> <p>Wärmepumpen: Hohe Relevanz, da KW-Wärmepumpen bereits zum Einsatz kommen, bisher allerdings in einem geringen Umfang. Durch die Verbreitung von Informationsbroschüren für Heizungsbauer, die die Installation und Wartung von Wärmepumpen übernehmen, kann der Einsatz von KW-Kältemitteln gefördert werden.</p> <p>Transportkühlung: Geringe Relevanz, da der Service von Kälteaggregaten meist nicht</p>

¹⁵⁶ S. Stahl (BMU), 26.09.2013, mündl. Mitteilung

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
						<p>von den nach der F-Gas Verordnung bzw. Chemikalienklimaschutz-Verordnung zertifizierten Klima-und Kältetechnikern durchgeführt wird, sondern in der Regel von KFZ-Mechanikern mit einer Zusatzausbildung.</p> <p>Flüssigkeitskühlsätze: Hohe Relevanz, da der Einsatz von KW-Kältemitteln bei Flüssigkeitskühlsätzen unter den Klima-und Kältetechnikern zwar bekannt, aber nicht weit verbreitet ist.</p>
M12	Rechtsauffassung über ProdHaftG	+	+	+	+	Produkthaftungsfragen sind für alle Anwendungen sehr relevant, siehe auch Kapitel 5.
M13	Wanderausstellung	-	-	-	-	<p>Geringe Relevanz für alle Anwendungen. Informations-und Interessensausaustausch stehen zwar im Vordergrund von Wanderausstellungen. Fachexperten (Zielgruppe) sind allerdings ohnehin über neuartige Entwicklungen informiert.</p> <p>Für die breite Allgemeinheit, gibt es alternative und effizientere bildungs- und informationsfördernde Maßnahmen.</p>

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
M14	Abstimmung von Ausbildungsinhalten	-	-	-	-	Geringe Relevanz für alle Anwendungen. Mit Ausnahme der Innung Thüringen-Baden Württemberg-Hessen gibt es einen bundesweiten Austausch der Landesinnungen, die allerdings im Rahmen der Ausbildungsverordnung eigene Ausbildungsakzente setzen können. ¹⁵⁷ Auch eine Anpassung der Ausbildungsinhalte und stärkere Berücksichtigung von KW muss nicht gezielt vorgenommen werden. Dieser Prozess findet derzeit auch ohne externe Intervention statt, da das Interesse an KW-Kältemitteln in den letzten Jahren stark gestiegen ist. Ausbildungsinhalte werden, forciert durch den Bundesinnungsverband, entsprechend angepasst.
M15	Kompetenz - und Beratungsstelle	+	+	-	+	Hohe Relevanz für alle Anwendungen bis auf Transportkälte, da es bisher kein unabhängiges, objektives Beratungsangebot für den Einsatz von KW-Kältemitteln gibt. Transportkühlung: Geringe Relevanz, da sich das Angebot in erster Linie an Endanwender richtet, wohingegen Abnehmer von Kühlaggregaten gewerbliche und industrielle Kunden (z. B. Bofrost, REWE) sind.
M16	Workshops Förder- möglichkeiten	+	+		+	Raumklimageräte, Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze: Hohe Relevanz, da es für diese Anwendungen Förderprogramme wie Marktanreizprogramme und vergünstigte Darlehen gibt, der Bekanntheitsgrad allerdings eher gering eingestuft wird. Diese Angebote sollten stärker publik gemacht werden ¹⁵⁸ .

¹⁵⁷ P.Bachmann (BIV), 02.09.13, mündl. Mitteilung.

¹⁵⁸ S.Stahl (BMU), 26.09.13, mündl. Mitteilung.

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
						Transportkühlung: Keine Relevanz, da es keine entsprechenden Förderprogramme gibt und deren Einführung auch nicht als Maßnahme vorgeschlagen wird.
M17	KW-Forum	-	-	-	-	Wenig relevant für alle Anwendungen, da kein tiefgreifender Austausch von Informationen zu erwarten ist, der die Teilnehmer zu einem Umdenken und damit Handeln bewegen würde. Erfahrungen aus der Vergangenheit haben gezeigt, dass es schwierig sein kann, die KW-Thematik adäquat in diesem Rahmen zu diskutieren ¹⁵⁹
M18	Finanzierung von Fortbildungsseminaren		+		+	Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze: Hohe Relevanz, da Sicherheitsaspekte beim Umgang mit brennbaren Kältemitteln immer im Vordergrund stehen. Dies betrifft v. a. Kältetechniker, die vor längerer Zeit ihre Ausbildung absolviert haben, zu einer Zeit in der KW eine untergeordnete Rolle spielte. Fortbildungsseminare im Bereich natürliche Kältemittel werden derzeit sehr gut angenommen ¹⁶⁰ . Die hohen Kosten sind allerdings ein Hindernis gerade für kleinere Betriebe ¹⁶¹ . Raumklimageräte und Transportkühlung: Nicht relevant, da diese Anwendungen derzeit nicht auf dem deutschen Markt verfügbar sind.

¹⁵⁹ K. Becken (UBA), 13.06.13, mündl. Mitteilung.

¹⁶⁰ P. Bachmann (BIV), 02.09.13, mündl. Mitteilung.

¹⁶¹ R. Hühren, 03.05.13, mündl. Mitteilung.

Ab- kürzung	Kurzbeschreibung der Maßnahme	Relevanz für Raumklimageräte	Relevanz für Wärmepumpen	Relevanz für Kühl-Lkw	Relevanz für Flüssigkeits- kühlsätze	Erläuterung
M19	Vergleichende Studien: RefTech- und KW- Technologie und Publikation der Ergebnisse	+	+	+	+	<p>Raumklimageräte und Transportkühlung: Hohe Relevanz, da die KW-Technologie noch nicht auf dem deutschen Markt etabliert ist, u.a. aufgrund eines Mangels wissenschaftlich fundierter Ergebnisse. Diese wären ebenfalls eine wichtige Voraussetzung für die Normenarbeit (s. M8, M9). Im Vordergrund der Untersuchungen sollten das Entstehen explosiver Atmosphären, Kältemittelverluste bei Defekten, assoziierte Risikoabschätzungen und Energieeffizienz stehen.</p> <p>Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze: Sehr relevant. KW-Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze werden zwar bereits verwendet, weitere wissenschaftliche Untersuchungen zur Energieeffizienz und Sicherheitsrisiken, Leckagen könnten eine weitere Verbreitung allerdings stark fördern.</p>
M20	Handlungsleitfaden zum Einsatz von KW- Kältemitteln und bisher nicht zertifizierter Komponenten	-	+	-	-	<p>Wärmepumpen Sehr relevant. Aus Kapitel 4 ging hervor, dass Hersteller diverse Gründe aufführen, warum KW-Wärmepumpen nicht optimal eingesetzt werden könnten. Der Handlungsleitfaden soll klare Handlungsoptionen aufzeigen, aus denen hervorgeht, dass der Einsatz von KW-Kältemitteln in Wärmepumpen gut realisierbar ist.</p> <p>Raumklimageräte, Transportkühlung: Geringe Relevanz, da KW- Kältemitteln aufgrund bestehender Standards und Normen oder fehlender Standards (Transportkühlung) tatsächlich nicht optimal eingesetzt werden können.</p> <p>Flüssigkeitskühlsätze: Geringe Relevanz, da KW-Flüssigkeitskühlsätze bereits mit Erfolg in der Praxis eingesetzt werden.</p>

Kohlenwasserstoffe sicher als Kältemittel einsetzen